

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Завертанного Мирослава Сергійовича «Технології стикового зварювання тиском жароміцних сплавів у різномірному сполученні»**, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Завертанного М.С. присвячена вирішенню проблеми зварювання жароміцних сплавів, зокрема для потреб виробництва елементів авіаційних двигунів. Заміна механічних кріплень елементів турбін зварними з'єднаннями дозволить знизити не лише їхню масу вцілому, а й мінімізувати витрати на механічну обробку деталей із сплавів, чутливих до термомеханічних циклів.

Основна складність отримання зварних з'єднань жароміцних сплавів, зокрема на нікелевій основі, пов'язана із високою їхньою схильністю до утворення тріщин, як при зварюванні так і при термічній обробці. Схильність до утворення тріщин жароміцних нікелевих сплавів зростає зі збільшенням в них об'ємної частки зміцнюючої фази. Це, в свою чергу, обмежує можливість використання способів зварювання плавленням.

Додатково при зварюванні жароміцних сплавів у різномірному сполученні постає проблема обґрунтування вибору термічної обробки, яка б забезпечила відповідність показників тривалої міцності з'єднань вимогам ТУ для основного металу. Тривала міцність є основним експлуатаційним показником таких матеріалів та залежить від мікроструктури, розподілу карбідів і морфології зміцнюючої γ' -фази, що обумовлює необхідність проведення ретельних металографічних досліджень зварних з'єднань.

У роботі Завертанного М.С. вирішено комплекс завдань, спрямованих на дослідження температурних умов формування зварних з'єднань жароміцних сплавів, їх мікроструктури та морфології зміцнюючих фаз, впливу термічної обробки на структуру та механічні властивості.

Дослідження були проведені в рамках кількох державних науково-технічних програм: «Дослідження термодетонаційних і металургійних процесів при формуванні з'єднань сучасних конструкційних матеріалів в умовах об'ємного стиснення та знакозмінного навантаження, що відбуваються при пресовому зварюванні; розробка технологій і устаткування для їх реалізації», № реєстрації 0113U000347; «Розробка наукових засад отримання методом електронно-променевого осадження присадкових матеріалів у вигляді тонких фольг з неоднорідною наночастинковою структурою та їх застосування для з'єднання різномірних матеріалів. Розробка фундаментальних основ технології зварювання дискретним плавленням ODS (oxide dispersion strengthening) – сплавів», № реєстрації 0115U004266; «Дослідження і розробка технологій, устаткування, систем

автоматичного керування для способів зварювання тиском заевтектоїдних рейкових сталей, високоміцних мікролегованих трубних сталей, високолегованих алюмінієвих та нікелевих сплавів у однорідному та різнорідному сполученнях», № реєстрації 0115U006759; «Розробка фундаментальних та технологічних основ твердофазного з'єднання перспективних конструкційних матеріалів у одно- та різнорідному сполученнях», № реєстрації 0117U001187. Це також підтверджує актуальність роботи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що в роботі вперше встановлено досягнення у зоні контакту жароміцних сплавів ЕП741НП та ВЖЛ12У при зварюванні третям температури солідус одного із сплавів з утворенням в зоні з'єднання прошарку у твердо-рідкому стані.

Визначено мінімальні значення тиску при терті, які забезпечують осадку (деформацію у макрооб'ємах) заготовок для різнойменних зварних з'єднань сплавів, а саме: ЕП741НП у сполученні із ЕІ698ВД та ЕП741НП у сполученні із ВЖЛ12У. Так, для діапазону окружної швидкості обертання від 1 до 1,5 м/с ці значення становлять 80 МПа для поєднання сплавів ЕП741НП і ЕІ698ВД та 300 МПа для поєднання сплавів ЕП741НП і ВЖЛ12У.

Уперше виявлено аномальний ступінчастий характер осадки при зварюванні третям з'єднань із ЕП741НП у сполученні із ВЖЛ12У при перевищенні певного критичного значення тиску при терті. Для окружної швидкості обертання 1 м/с встановлено, що його значення 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 третям різнойменних жароміцних нікелевих сплавів: гранульного сплаву ЕП741НП із деформованим сплавом ЕІ698ВД та ливарним сплавом ВЖЛ12У, в якому забезпечується відсутність аномальних явищ при осадці заготовок. На основі цього удосконалено технологію зварювання третям із програмованим зниженням швидкості обертання, яка за рахунок прикладення підвищеного зусилля проковування забезпечує отримання з'єднань із задовільними показниками якості.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що розроблені у роботі технології зварювання тиском пройшли апробацію стосовно отримання різнорідних з'єднань жароміцного нікелевого сплаву Іп713С зі сталлю 40Х при виготовленні валів роторів турбокомпресорів автомобільних двигунів додатково розширює можливості подальшого

впровадження розроблених технологій на підприємствах автомобільної промисловості.

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях

Основний зміст дисертаційної роботи Завертанного Мирослава Сергійовича відображено у 21 науковій праці, із яких 5 статей опубліковано у фахових виданнях України, 1 статтю - у науковому періодичному виданні іншої держави, 15 праць - у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій.

Висунуті у дисертаційній роботі наукові і практичні положення, зроблені висновки та рекомендації обґрунтовані достатньо переконливо. Достовірність проведених комплексних досліджень підтверджується використанням широкого спектру сучасних методів досліджень, сучасного устаткування, значним обсягом експериментальних даних. Опубліковані роботи повною мірою відображають зміст дисертації.

Результати роботи доповідались і обговорювались на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях, зокрема «Теоретические и прикладные проблемы создания авиационных двигателей и энергетических установок» (2014 р.), «Зварювання та споріднені процеси» (2015, 2018 рр.), «Титан 2016: виробництво та використання в авіабудуванні», «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте» (2017 р.), «9th international conference of young scientists on welding and related technologies» (2017 р.), «Space technologies: present and future» (2017 р.), «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (2019 р.), «Проблеми зварювання та споріднених технологій» (2019 р.).

Автореферат за змістом відповідає дисертаційній роботі та відображає її актуальність, мету та завдання, основні наукові положення, практичну значущість і висновки.

Структура та обсяг дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Завертанного М.С. складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, 5-ти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та 2-х додатків.

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

У **першому розділі** подано загальну характеристику досліджуваних жароміцних сплавів, особливості їхньої структури та фазового складу. Проведено огляд літературних джерел зі зварювання тиском та плавленням промислових та перспективних жароміцних сплавів, розглянуто технологічні особливості процесів зварювання тертям та контактного стикового

зварювання. Установлено основні фактори, що впливають на формування дефектів зварних з'єднань високолегованих жароміцних нікелевих сплавів. Визначено мету роботи та сформульовано задачі досліджень.

У **другому розділі** наведено методику досліджень та технічні характеристики зварювального устаткування, описано особливості сплавів стосовно розподілу та вмісту структурних складових, визначено відмінності у зміні їхніх механічних характеристик у результаті термічної обробки.

У **третьому розділі** приведено результати досліджень процесу зварювання тертям гранульного сплаву ЕП741НП із деформованим сплавом ЕІ698ВД та ливарним сплавом ВЖЛ12У. Досліджено температурні умови формування зварних з'єднань за емпіричними залежностями. Визначено розподіл залишкових напружень у зоні з'єднань та проведено дослідження впливу термічної обробки на їхній рівень. Встановлено особливості деформації заготовок зі сплавів ЕП741НП, ВЖЛ12У та ЕІ698ВД при зварюванні тертям, визначено мінімальні тиски зварювання, які забезпечують осадку заготовок та формування зварних з'єднань. Виявлено аномальний характер осадки при зварюванні тертям жароміцних сплавів ЕП741НП із ВЖЛ12У, який виражений у наявності ділянок із різними швидкостями осадки. Представлено результати дослідження мікроструктури та розподілу зміцнюючих фаз у зоні з'єднання сплавів ЕП741НП із ВЖЛ12У. Установлено утворення проміжного прошарку по лінії з'єднання та сформульовано припущення щодо механізму формування з'єднань.

У **четвертому розділі** представлено дослідження шляхів інтенсифікації пластичної деформації при контактних макрооб'ємах металу при зварюванні тертям та контактному стиковому зварюванні опором. Установлено технологічні параметри процесу зварювання тертям сплавів ЕП741НП із ВЖЛ12У через проміжний елемент зі сплавом ЕІ698ВД, які забезпечують формування з'єднань із заданими показниками в умовах інтенсифікації пластичної деформації на заключній стадії процесу зварювання. Проведено дослідження впливу термічної обробки на структуру та мікротвердість одержаних з'єднань. Представлено результати випробувань зварних з'єднань на тривалу міцність та приведено рекомендації щодо проведення термічної обробки з'єднань для сплавів ЕП741НП та ЕІ698ВД. Досліджено вплив наношаруватих фольг на інтенсифікацію деформації при контактних об'ємах металу при контактному стиковому зварюванні опором жароміцного сплаву γ -TiAl та сплаву ВТ5. Встановлено можливість формування з'єднань при застосуванні фольг евтектичного типу систем систем Cu-Ti/Ni-Cu і Cu/Ti при значеннях температури нагрівання, нижчих за температуру ліквідус у системі Ti-Al.

У **п'ятому розділі** проведено узагальнення отриманих при виконанні роботи результатів, надано рекомендовані режими зварювання тертям та контактного стикового зварювання опором жароміцних нікелевих сплавів та алюмінідів титану. Представлено дані щодо апробації результатів досліджень стосовно зварювання тертям різнорідних з'єднань жароміцного сплаву

In713C зі сталлю 40X для виготовлення роторів турбокомпресорів автомобільних двигунів.

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

Основні зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі проведено та описано ряд досліджень із контактного стикового зварювання опором жароміцного сплаву γ -TiAl у сполученні з VT5, у тому числі із використанням наношаруватих фольг (розділи 2.2.5, 4.2, 5.3), які, на мою думку, доречно було б відобразити в описі наукової новизни.

2. Дослідження зі зварювання тертям жароміцних нікелевих сплавів у різномірному сполученні виконано на циліндричних зразках частково із використанням емпіричних залежностей. У той же час, з'єднання, описані в розділі 1.1, мають іншу конфігурацію, але із тексту роботи не зовсім зрозуміло, як саме можливо перенести на них результати та залежності, отримані у ході досліджень. При цьому, наприклад, апробація результатів роботи для зварювання In713C зі сталлю 40X для виготовлення роторів турбокомпресорів автомобільних двигунів (розділ 5.4) доводить, що це було зроблено на практиці.

3. У розділі 4.1.3 доцільно було б обґрунтувати вибір зразків для випробування на розтяг.

4. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються терміни “якісне зварне з'єднання” (наприклад, розділи 1.2, 2.2, 3.3, 5.2), “бездефектне з'єднання” (розділ 3, 4, 5.3), “стандартна термічна обробка” (наприклад, розділ 4.13), “стандартна методика” (розділ 2.1) і т.п., стосовно яких доцільно було б навести посилання на певні критерії та нормативні документи.

5. На деяких зображеннях мікроструктур відсутній масштабний відрізок (рис. 2.9, 2.12, 3.24, 3.33, 4.23, 4.30, 4.32, 4.33) та позначення матеріалів у різномірному з'єднанні (рис. 4.6, 4.8, 4.25, 4.32).

Загальний висновок

Наведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та значення дисертаційної роботи і рівня достовірності основних результатів, мають здебільшого рекомендаційний характер.

Можна зробити висновок, що дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому одержано нові наукові результати, що мають наукову та практичну цінність. За актуальністю і новизною отриманих результатів, їх достовірністю, обґрунтованістю та практичною цінністю робота Завертанного Мирослава Сергійовича «Технології стикового зварювання тиском жароміцних сплавів у різномірному сполученні» повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових

ступенів”, затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології».

Доцент кафедри смарт технологій
з'єднань та інженерії поверхонь
Національного технічного університету
України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського"
канд. техн. наук, доцент



Євгенія ЧВЕРТКО

Підпис доцента Є.П. Чвертко засвідчую
Учений секретар
КПІ ім. Ігоря Сікорського



Валерія ХОЛЯВКО