

Рецензія

на дисертаційну роботу Царика Б. Р.

«Механічні властивості і напружено-деформований стан зварних з'єднань із алюмінієвих сплавів, виконаних зварюванням тертям з перемішуванням»

на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 – Механічна інженерія
за спеціальністю 132 – Матеріалознавство

Актуальність теми дисертації.

Зварювання тертям з перемішуванням (ЗТП) – це новий процес зварювання в твердій фазі, який вже отримав досить широке застосування для виконання з'єднань конструкцій відповідального призначення з легких алюмінієвих і магнієвих сплавів в різних галузях промисловості, в тому числі в авіакосмічній галузі, транспортному та судно-будуванні. ЗТП в порівнянні з традиційними дуговими процесами зварювання більш безпечний для навколишнього середовища, оскільки не потребує використання захисних газів, а також він забезпечує суттєве зниження рівня залишкових напружень і деформацій. При проектуванні нових зварних конструкцій, виготовлених за допомогою ЗТП, необхідна інформація стосовно залишкових напружень і деформацій, а також механічних властивостей матеріалу в зоні зварних з'єднань. Але існуюча інформація щодо рівня залишкових напружень і деформацій при ЗТП алюмінієвих сплавів є дуже суперечливою, а методи розрахункового визначення температурних розподілів, механічних властивостей, залишкового напружено-деформованого стану зварених ЗТП конструкцій є недостатньо розвинутими.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Царика Б.Р., пов'язана з визначенням механічних властивостей та напружено-деформованого стану зварних з'єднань і конструкцій із алюмінієвих сплавів, виготовлених за технологією ЗТП, а також розвитком методів розрахункового прогнозування службових характеристик таких зварних конструкцій, є, дійсно, актуальною проблемою сучасного зварювального виробництва.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Здобувачем визначені фактори, які впливають на точність розрахункового визначення залишкових напружень і деформацій при ЗТП. Результатами розрахункових і експериментальних досліджень доведено, що ефект знеміцнення матеріалу алюмінієвого сплаву 2219-T81 внаслідок впливу термічного циклу зварювання суттєво впливає на розподіл залишкових напружень. Не врахування знеміцнення матеріалу призводить до суттєвого збільшення (більш ніж на 30%) розрахункових максимальних повздовжніх

залишкових напружень.

2. Отримані за допомогою розробленої математичної моделі розрахункові результати при зварюванні пластин товщиною 8 мм зі сплаву АМг6 і 2219-T81 показали, що при ЗТП алюмінієвих сплавів утворюються досить високі залишкові напруження, до межі текучості матеріалу у відпаленому стані, а залишкові деформації можуть мати нижчий рівень, ніж при традиційних дугових способах зварювання. А саме, поздовжня компонента залишкових пластичних деформацій при ЗТП за величиною в 1,5-2 рази нижче і розподілена в більш вузькій зоні, ніж при дуговому зварюванні. Поперечна компонента залишкових пластичних деформацій при ЗТП за величиною також в 2-3 рази нижче, ніж при дуговому зварюванні.

3. Проведене порівняння результатів математичного моделювання зварювальних деформацій великогабаритної циліндричної ємності із алюмінієвого сплаву 2219-T81 при використанні процесу ЗТП і більш традиційного дугового зварювання показало, що використання ЗТП при монтажному зварюванні великогабаритної циліндричної ємності із алюмінієвого сплаву дозволяє значно (в 2-3 рази) знизити рівень залишкових деформацій.

Таким чином, поставлені в дисертаційній роботі Царика Б.Р. наукові завдання виконані повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Царика Б. Р. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 132 – Матеріалознавство та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Матеріалознавство.

Дисертаційна робота є завершеною оригінальною науковою працею і безумовно свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям дослідження актуальних новітніх проблем механіки суцільного середовища і теорії зварювальних напружень і деформацій.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Царика Богдана Романовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, всі інформаційні матеріали і результати досліджень викладені в логічній послідовності, форма викладення доступна для спеціалістів за даною тематикою, використана термінологія відповідає загальноприйнятій в галузі механіки суцільного середовища і теорії зварювальних напружень і деформацій.

У першому розділі робота містить результати проведеного аналітичного огляду стану проблеми математичного моделювання визначення температурних

полів і формування зварних з'єднань при зварюванні тертям з перемішуванням. Був зроблений огляд математичних моделей та визначення основних їх особливостей та параметрів для отримання напружено-деформованого стану при ЗТП алюмінієвих сплавів, а також проаналізовано експериментальні данні вимірювання залишкових напружень і деформацій.

У другому розділі описано технологію зварювання тертям з перемішуванням дослідних зразків з алюмінієвого сплаву 2219-T81, визначення механічних і теплофізичних властивостей матеріалу та отримання результатів вимірювання залишкових напружень зварного з'єднання з алюмінієвого сплаву 2219-T81.

У третьому розділі була розроблена математична модель визначення зварювальних напружень і деформацій в з'єднаннях, виконаних зварюванням тертям за перемішуванням, на основі методу термопластичності. Зроблено порівняння результатів математичного моделювання залишкового напружено-деформованого стану з'єднань з алюмінієвого сплаву АМг6 при ЗТП з дуговими процесами зварювання. Впроваджено модель знеміцнення алюмінієвого сплаву 2219-T81 при зварювальному нагріві, що суттєво впливає на визначення залишкових напружень і деформацій. Отримано результати математичного моделювання зварювального напружено-деформованого стану з'єднань з алюмінієвого сплаву 2219-T81, виконаних ЗТП.

У четвертому розділі розроблена методологія моделювання зварних залишкових напружень і деформацій великогабаритних циліндричних ємностей. Отримана математична модель прогнозування залишкових зварювальних напружень і деформацій за методом функції усадки. Виконано дослідження можливості отримання параметрів функції усадки та розподілів залишкових напружень для зварних з'єднань великогабаритної циліндричної оболонки на спрощених моделях обмеженого розміру методами термопластичності. Проведено верифікацію і валідацію математичної моделі визначення зварювальних деформацій для великогабаритних циліндричних ємностей із алюмінієвого сплаву при застосуванні ЗТП. Зроблено порівняння результатів математичного моделювання загальних деформацій великогабаритних циліндричних ємностей із алюмінієвого сплаву при використанні ЗТП і дугового зварювання.

Представлені в кінці роботи загальні висновки повністю відповідають найбільш вагомим результатам, які отримані при виконанні досліджень, а також узгоджуються з формулюванням наукової новизни і практичної цінності дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of

Science Core Collection та/або Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

В списку публікацій здобувача на тему дисертації є посилання на всі зазначені вище праці. В тексті дисертації робились відповідні посилання. У більшості публікацій особистим внеском автора зазначені проведення чисельних розрахунків та аналіз результатів. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У Вступі (стор.7) автор говорить про безпечність ЗТП для навколишнього середовища в порівнянні з традиційними дуговими процесами зварювання, оскільки останнє не потребує використання захисних газів. Але доречно додати, що при дугових процесах також мають місце (і відсутні при ЗТП) електромагнітне та ультрафіолетове випромінювання, розповсюдження різних типів пилу та аерозолів, а також при деяких видах дугових процесів застосовується струм високої частоти. Ці фактори негативно впливають на здоров'я виробничого персоналу.
2. Рис.1.36 (стор.44) треба було пояснити в тексті більш детально, а саме, асиметрію залишкових напружень відносно лінії зварювання (рис.1.38 на стор.45) на базі наявності наступаючої і відступаючої сторони в ЗТП.
3. Доцільно було навести (на стор.62) параметри режиму Т81 термообробки сплаву 2219-Т81 та режиму Т852 термообробки сплаву 2219-Т852 або привести номер стандарту.
4. Більш детально описати, як дисперсія випадкової величини корелює із математичним сподіванням у Табл.2.5 (стор. 69).
5. Текст на сторінці 74 «Вимірювання методом голографічної спеклінтерферометрії (із застосуванням свердління отворів діаметром 1 мм) проводили у двох поперечних перерізах: переріз 1 - на відстані 130 мм від початку зварного шва і переріз 2 - на відстані 350 мм. У перерізі 1 вимірювання проведено на верхній і нижній поверхнях зразка, а в перерізі 2 - тільки на нижній поверхні». Треба було пояснити, чому у перерізі 2 - тільки на нижній поверхні?
6. Пояснити (або навести посилання), на базі яких даних зроблено висновок, що метод голографічної спеклінтерферометрії в ділянці високих напружень, близьких до межі текучості матеріалу, може мати підвищену похибку вимірювання у порівнянні із методом розрізання (стор.75).
7. У висновку 1 Розділу 2 пояснення механізму впливу на фактичні властивості металу зварних з'єднань процесу взаємодії легуючих елементів між собою при підвищених температурах базується на дослідженнях інших авторів (стор. 77). Але Розділ 2 є дослідницьким і повинен містити результати власних досліджень дисертанта.
8. Якщо відмінністю моделі визначення напружень і деформацій при ЗТП від моделі при дуговому зварюванні (ДЗ) є умова жорсткого закріплення елементів в процесі зварювання і наступного охолодження, то доцільно

додати, які граничні умови характерні для ДЗ (для більш якісного сприйняття тексту) і пояснити їх відмінності (стор.82). Це є базою в розумінні моделювання ЗТП.

9. Правильно буде напруження «розтягу», а не «розтягування» (стор.80, 85, 95, 97, 113, 119).
10. Чи не може бути загального поздовжнього прогину (вздовж центральної поздовжньої вісі z на рис.4.3) ємності, зображеної на Рис. 4.1? Прогин може бути наслідком неодночасного виконання поперечних (в першу чергу) і поздовжніх зварних швів. Чи можна за допомогою функції усадки можна спрогнозувати таку загальну деформацію? Вона є важливою для характеристик (можливо аеродинамічних?) таких ємностей.
11. Чим пояснити флуктуації поздовжніх пластичних деформацій в зоні зварного шва на рис.4.5 і рис.4.16,г?
12. Чим пояснити, що залишкові поздовжні напруження при ЗТП за максимальною величиною напружень розтягу (до 150 МПа) можна порівняти із залишковими поздовжніми напруженнями при дуговому зварюванні TIG, попри той факт, що температури при ЗТП не досягають плавлення матеріалу (стор.119)?
13. Чим «верифікація» відрізняється від «валідації» (стор.131)? Тобто в роботі описані результати і верифікації і валідації?
14. Чим пояснити нерівномірність розподілу залишкових пластичних деформацій в поперечному перерізі кільцевих з'єднань на Рис.4.19,д (стор.137)
15. Перший пункт загальних висновків доцільно починати з загального позитивного твердження, наприклад, «Розроблено наукові засади математичного моделювання...» або «На базі розробленої мат. моделі досліджено механічні властивості і напружено-деформований стан зварних з'єднань із ...». Загальні висновки доцільно починати зі слів «Встановлено, доведено, розроблено...»

Висновок про дисертаційну роботу

Представлена до захисту дисертація Царика Богдана Романовича на тему «Механічні властивості і напружено-деформований стан зварних з'єднань із алюмінієвих сплавів, виконаних зварюванням тертям з перемішуванням» є закінченою науково-дослідною роботою, яка створює теоретичне підґрунтя і надає практичні рекомендації для вирішення актуальної і важливої для промисловості і зварювального виробництва задачі з визначення залишкових напружень і деформацій зварних конструкцій із алюмінієвих сплавів, виготовлених зварюванням тертям з перемішуванням. Одержані результати і висновки мають як наукову новизну, так і практичну цінність. Наведені вище зауваження в цілому не впливають на якість дисертаційної роботи.

За науковим рівнем, об'ємом виконаних досліджень і їх завершеністю, за науковою, практичною значимістю і актуальністю представлена дисертація у повній мірі відповідає вимогам чинного

законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а здобувач Царик Богдан Романович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Рецензент:

Провідний науковий співробітник
відділу № 8 «Оптимізація зварних
конструкцій нової техніки»,
Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України,
д.т.н., с.н.с.

Микола ПАЩІН

Підпис оф. рецензента д.т.н., п.н.с. М.О. Пащіна
Засвідчую
Учений секретар
Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України,
к.т.н.



Ілля КЛОЧКОВ

М.П.

« ____ » _____ 2025 року