

ВІДГУК

Офіційного опонента

на дисертаційну роботу *Ілляшенка Євгенія Володимировича*

«Гібридне зварювання сталей з використанням плазмової дуги та випромінювання волоконного лазера»,

що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань

13 Механічна інженерія за спеціальністю 131 Матеріалознавство.

1. Актуальність роботи.

Дисертаційна робота Є. Ілляшенка присвячена розширенню уявлень про особливості лазерно-плазмового зварювання та поглибленню наукових основ лазерно-плазмового зварювання з використанням волоконного лазерного випромінювання. В останні десятиріччя для покращення якості одержуваних зварних з'єднань та підвищення продуктивності почали застосовувати гібридні лазерно-дугові процеси. Однак процеси зварювання з поєднанням лазерного випромінювання та дуги неплавкого електроду (у т.ч. лазерно-плазмові) поки-що не отримали значного застосування, внаслідок обмеженої кількості результатів досліджень процесу. Спостерігається недостатня кількість або відсутність результатів досліджень процесів лазерно-плазмових зварювання сталей із використанням волоконного лазера, щодо: виявлення можливості та ступеню взаємодії випромінювання волоконного лазера із стисненою дуговою плазмою і порівняння такої взаємодії для інших типів лазерного випромінювання; встановлення особливостей структуроутворення зварних з'єднань в результаті спільної дії лазерного випромінювання і плазмової дуги; дослідження особливостей протікання термодеоформаційних процесів, формування рівня і розподілу залишкових напружень та визначення фізико-механічних властивостей одержуваних з'єднань.

В силу вищезазначеного дисертаційна робота Ілляшенка Є.В. є своєчасною та актуальною.

2. Оцінка змісту та завершеності дисертації.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертації, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію щодо особистого внеску здобувача та кількості публікацій, апробацій результатів та наведено відомості щодо структури та обсягу дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено критичний аналіз сучасного стану лазерних, плазмових та гібридних технологій. За результатами огляду поточного стану об'єму дослідження лазерно-плазмових процесів сформульована мета і завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі приведено опис обраних методик для дослідження процесів зварювання та ефективності передачі енергії при поєднанні лазерного випромінювання з плазмовою дугою. Вказані матеріали, що застосовувалися під час досліджень. Приведено опис обраного лабораторного зварювального обладнання; методик для дослідження мікроструктури, механічних властивостей, термічних циклів при зварюванні, методики прогнозування напружено-деформованого стану та верифікації отриманих результатів.

У третьому розділі проведено експериментальну оцінку ефективності процесу лазерно-плазмового зварювання з використанням волоконного джерела випромінювання, з точки зору ефективності передачі енергії від джерела нагріву. На основі чого, отримано подальший розвиток уявлень про механізм протікання гібридного процесу при використанні волоконного лазерного випромінювання. Висвітлено головні відмінності у проявленні синергетичного ефекту при зварюванні нержавіючих сталей різних товщин з використанням волоконного лазера. А також, розглянуто ефективність

застосування різних типів джерел лазерного випромінювання в процесі гібридного лазерно-плазмового зварювання.

Четвертий розділ присвячено дослідженню впливу умов лазерно-плазмового зварювання на структуру і властивості зварних з'єднань зі сталей. Визначено особливості формування мікроструктури та субструктури зварних швів їх вплив на розподіли мікротвердості та характер руйнування і показники механічних характеристик зварних з'єднань. Проведено порівняльний аналіз для трьох технологій: гібридного, лазерного та плазмового зварювання. Виконано моделювання методом скінченних елементів показників залишкового напружено-деформованого стану та порівняно розрахункові результати з даними отримані експериментальним методом вимірювання.

У п'ятому розділі, приведено опис технологічних особливостей лазерно-плазмового зварювання та розробленої технології двостороннього гібридного зварювання нержавіючої сталі товщиною 10 мм, та виявлені закономірності під час виконання технологічних експериментів. Оцінено можливість застосування лазерно-плазмового процесу в режимі різання, та висвітлено основні складнощі для його реалізації. Наведено базові технологічні прийоми лазерно-плазмового зварювання та розробки дослідно промислового обладнання для лазерно-плазмового зварювання з використанням різних потужностей лазерних та плазмових джерел.

3. Ступінь обґрунтованості наукових досліджень та висновків, їх наукова новизна та достовірність.

Основні результати дисертації є достовірними та обґрунтованими. Положення наукової новизни та висновки, сформульовані в дисертаційній роботі, відповідають всім вимогам МОН України щодо дисертаційних робіт.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі, висновків та практичних рекомендацій є досить

високим. Наукові положення та висновки, зроблені по результатам роботи не суперечать сучасним уявленням про лазерно-плазмові процеси.

4. Положення наукової новизни та практичне значення результатів роботи.

До положень наукової новизни, що були отримані за результатами виконання дисертації відноситься наступне:

- Вперше встановлено, що в процесі зварювання нелегованих і легованих (нержавіючих) сталей при використанні плазмової дуги і випромінювання волоконного лазера, в порівнянні із плазмовим зварюванням, має місце зростання напруги на дузі на величину 1-3 В, а також збільшення поглинутої металом енергії на 6% відносно суми окремої дії складових, при цьому спостерігається збільшення в 2,06-2,25 рази площі поперечного перерізу провару порівняно із сумою площ перерізів лазерного і плазмового проварів, а також підвищення глибини проплавлення на 20-30% відносно лазерного зварювання.

- Отримало подальший розвиток уявлення про вплив типу лазерного випромінювання на ефективність процесу гібридного лазерно-плазмового зварювання, а саме показано, що використання випромінювання волоконного лазера при потужності лазера і плазми по ~2 кВт глибина провару нержавіючої сталі збільшується, порівняно із застосуванням діодного лазера – на 60%, Nd:YAG-лазера – на 30%, CO₂-лазера – на 40%.

- Отримало подальший розвиток уявлення про особливості формування структури зварних з'єднань, отриманих з використанням волоконного лазера, а саме – на прикладі нержавіючої сталі показано, що при гібридному лазерно-плазмовому зварюванні в металі шва, по лінії сплавлення і в зоні термічного впливу формується зеренна структура, близька до лазерного зварювання із розмірами в 2-3 рази меншими, ніж при плазмовому зварюванні, при цьому для гібридного процесу в зварному шві

спостерігається видовження зерен (в $\sim 1,7$ раз) та підвищення мікротвердості (на 20...40%) порівняно із лазерним зварюванням.

- Одержало подальший розвиток уявлення про структуроутворення при гібридному лазерно-плазмовому зварюванні нержавіючої сталі, зокрема виявлено формування субзеренної структури в зварному шві з розмірами субзерен меншими порівняно із лазерним (в 1,6 разів) та плазмовим (в 2 рази) зварюванням, при цьому у всіх зонах зварного з'єднання, отриманого лазерно-плазмовим способом, спостерігається формування безградієнтних комірчастих структур переважно рівноосної форми, а при лазерному зварюванні в металі шва формуються субструктури подовженої форми.

- Отримало подальший розвиток уявлення про особливості протікання термодеоформаційних процесів при формуванні зварних швів із використанням концентрованих джерел енергії, а саме встановлено, що в стикових з'єднаннях із нержавіючої сталі товщиною 2 мм характер розподілу напружень при лазерно-плазмовому зварюванні близький до розподілу при лазерному зварюванні, при цьому пікові значення напружень сконцентровані зоні термічного впливу і в більшій мірі залежать від погонних енергій зварювання, ніж від максимальної температури нагріву зварювальної ванни.

5. Повнота викладу результатів дисертаційної роботи в публікаціях.

Основні положення та дисертаційної роботи Ілляшенка Є.В. викладені у 32 роботах, з них 4 статті у науково періодичних виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, 6 статей у фахових виданнях України, 5 статей у науково періодичних виданнях інших держав, 15 публікації у збірниках наукових праць і матеріалах конференцій, отримано 1 патент України на корисну модель та 1 патент України на винахід.

6. Зауваження по дисертації.

6.1. При дослідженнях синергетичного ефекту недостатньо уваги приділено впливу розподілу концентрації енергії на поверхні. Зокрема якщо в

умовах плазмового джерела можливий лише Гаусовський розподіл енергії, то при лазерному можливо використовувати і другі розподіли.

6.2. На мій погляд недостатньо систематично розглянуто вплив особливостей фокусування лазерного променя у гібридному зварному процесі, зокрема взаємодія лазерного променя з поверхнею зразка в дофокусної, фокусної та зафокусної областях дії.

6.3. Дослідження впливу довжини хвилі на прояву синергетичного ефекту та різні технологічні фактори розглянуто в достатньо вузькому діапазоні (0,808...0,97 - 1,07 мкм), що розкриває тики частину явища.

6.4. На базі практичних досліджень отримано загальний результат застосування випромінювання волоконного лазера по зрівнянню з використанням випромінювання діодного та Nd:YAG лазерів у лазерно-плазмовому зварюванні як найбільш ефективний з позицій глибини проплавлення і підвищення ефективності процесу, однак причини цих переваг не з'ясовані.

6.5. По тексту дисертації спостерігаються ненаукові порівняльні вирази. Наприклад, ... в металі зварних швів утворюється приблизно однакова за розмірами кристалітів структура (сторінка 180). Відсутні чисельні показники.

6.6. Ряд рисунків представлено на іноземній мові (англійської).

6.7. На рис. 3.9, 3.10, 3.11 не вистачає позначень видів проварів в пластині зі сталі AISI304 (лазерних, плазмових або лазерно-плазмових).

6.8. При більшій кількості висновків по главам ряд з них носить деклараційний характер. Наприклад, висновки до розділу 4: пункти 1 і 2; висновки до розділу 5: пункти 1 і 2.

7. Загальні висновки по дисертаційній роботі.

Робота відповідає вимогам пунктів 6, 8 та 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 № 44 від 12 січня 2022 року, а її автор - **Ілляшенко Євгеній Володимирович** - заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор, завідувач відділу

«Концентрованих енергетичних впливів»

Фізико-технологічного інституту металів та сплавів

НАН України



Валерій ЛИХОШВА

Підпис Валерія ЛИХОШВИ засвідчую:

кандидат технічних наук,

Вчений секретар

Фізико-технологічного інституту металів та сплавів

НАН України



Володимир ЛАХНЕНКО