

25 09 23 689

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата технічних наук *Завдовесєва Анатолія Вікторовича* на дисертаційну роботу *Ілляшенка Євгенія Володимировича* за темою: «Гібридне зварювання сталей з використанням плазмової дуги та випромінювання волоконного лазера» подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» галузі знань 13 «Механічна інженерія»

Актуальність теми дисертаційної роботи

Вуглецеві і нержавіючі сталі мають широкий спектр застосувань у різних галузях сучасної промисловості. Наприклад, вуглецеві сталі використовуються для виробництва автомобілів, вагонів, приладів та побутової техніки. Нержавіючі сталі використовуються для виготовлення продуктів хімічної та харчової промисловості. Останнім часом, для поліпшення якості зварних з'єднань і підвищення продуктивності, стали використовувати гібридні процеси зварювання, які комбінують лазерне випромінювання з дуговим методом. Проте варто зауважити, що процеси зварювання, які об'єднують лазерну та дугову технології з неплавким електродом (включаючи лазерно-плазмові методи), поки що не отримали широкого поширення.

Лазерно-плазмове зварювання, використовуючи волоконні лазерні джерела випромінювання, поступово витісняє з ринку технології, які використовують CO₂ та Nd: YAG лазери в зварюванні. Це пов'язано зі зниженою вартістю і підвищеною ефективністю цих систем. Проте, існують деякі проблеми, які стосуються лазерно-плазмового зварювання сталей із використанням волоконного лазера, і до цього часу ці питання не отримали вичерпного вивчення: можливості і ступеня взаємодії випромінювання волоконного лазера зі стисненою дуговою плазмою; порівняння такої взаємодії для різних типів лазерного випромінювання; особливостей

формування структури зварних з'єднань внаслідок спільної дії лазерного випромінювання і плазмової дуги; особливостей термодеоформаційних процесів, формування рівня і розподілу залишкових напружень тощо. Досягнення в цих областях досліджень допоможе вдосконалити і оптимізувати процес лазерно-плазмового зварювання сталей з використанням волоконних лазерів і сприятиме розвитку цієї технології.

Дисертаційна робота Є.В. Ілляшенка спрямована на розширення наукових уявлень щодо лазерно-плазмового зварювання, зокрема застосування волоконних лазерів. Її ціль полягає у вдосконаленні та поглибленні наукових основ цієї технології, а також у створенні промислових прототипів зварювального обладнання. З огляду на вищезазначені об'єктивні потреби та відсутність вичерпного дослідження у цій галузі, виконання даної дисертаційної роботи є надзвичайно важливим і актуальним.\

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Основні результати дисертації є достовірними та обґрунтованими, що підтверджується великим обсягом проведених досліджень. Наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, відповідають всім вимогам МОН України щодо дисертаційних робіт.

Автором доцільно визначено об'єкт та предмет дослідження, його мету, точно сформульовано завдання дослідження. В роботі виконано ґрунтовний літературний огляд із залученням широкого спектру літературних джерел. Ступінь обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі, висновків та практичних рекомендацій є достатньо високим.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено використанням у роботі праць визнаних вчених і фахівців у галузі лазерного, плазмового та гібридного зварювання; застосуванню добре

апробованих методів та методик дослідження та розробці власних. У роботі використано методи оптичної та електронної мікроскопії, рентгеноструктурного та мікрорентгеноспектрального аналізу, методів комп'ютерного моделювання, методів статистичної обробки та аналізу експериментальних результатів.

Достовірність та наукова новизна здобутих результатів

Достовірність наукових положень, висновків і результатів доведено збіжністю результатів аналітично-розрахункових та експериментальних досліджень, використанням в експериментальних дослідженнях сучасних методів і методик, трактуванням одержаних результатів, які не суперечать загальноприйнятим науковим положенням, а також досвідом їх практичного використання. Достовірність одержаних результатів підтверджується їх успішним застосуванням в ході дослідно-промислової перевірки.

До найвагоміших результатів дисертаційної роботи, які відповідають ознакам **наукової новизни**, можна віднести наступне:

1. 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.

2. 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%.

3. 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 ~1,7 раз) та підвищення мікротвердості (на 20...40%) порівняно із лазерним зварюванням.

4. 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.

5. 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 в зоні термічного впливу і в більшій мірі залежать від погонних енергій зварювання, ніж від максимальної температури нагріву зварювальної ванни.

Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання

Дослідження, проведені в ході даної роботи, вирішили важливе науково-технічне завдання у галузі гібридного зварювання, зокрема лазерно-плазмового зварювання з використанням волоконного лазера. Визначені особливості та закономірності цього процесу дозволили розширити наші знання і розробити практичні рекомендації для проектування зварювальних головок і плазмотронів для лазерно-плазмових процесів, а також зварювального обладнання. Були розроблені та оптимізовані технологічні параметри для лазерно-плазмового зварювання сталей. Ці результати мають важливе значення для розвитку цієї технології та її практичного застосування.

Практична цінність роботи полягає у наступному:

1. За результатами роботи оптимізовано технології лазерно-плазмового зварювання низьковуглецевих низьколегованих та нержавіючих сталей товщиною 2-6 мм за критерієм якісного формування швів при мінімальному вкладанні погонної енергії.
2. Було розроблено технологічні прийоми гібридного лазерно-плазмового зварювання, які дозволяють отримувати зварні з'єднання з нержавіючих сталей в діапазоні 2...6 мм, з міцністю до 97% від міцності основного металу.
3. Розроблено технологію двостороннього лазерно-плазмового зварювання сталі AISI 304 товщиною 10 мм в інтервалі потужності лазерного випромінювання до 2 кВт.
4. Модернізовано та розроблено нові дослідно-промислові конструкції плазмотронів для гібридного-лазерно плазмового зварювання сталей.
5. Розроблено два зразка дослідно-промислових установок блочно-модульного типу для автоматичного гібридного лазерно-плазмового зварювання, які в залежності від потреб виробництва, можуть базуватися на зварювальних маніпуляторах та антропоморфних роботах.

Повнота вкладу результатів дисертаційного дослідження та наукових положень в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 32 роботи, з них 4 статті у науково періодичних виданнях, що входять до науко метричної 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.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, зазначена у дисертації.

Апробація роботи: основні наукові положення та результати досліджень доповідалися на 15 науково-технічних конференціях.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 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.

Структура, оцінка мови, стилю та оформлення

Дисертація Ілляшенка Є.В. складається із анотації двома мовами, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 219 сторінок, 134 рисунки, 29 таблиць, список використаних джерел з 115 найменувань, 1 додатка про впровадження розробленого обладнання.

Автором дисертації усі наукові результати одержано самостійно.

Дисертацію виконано на високому науково-технічному рівні, вона містить достатній обсяг виконаних досліджень та оформлена згідно з вимогами до змісту і об'єму дисертаційних робіт. Структура кваліфікаційної роботи погоджується з метою та завданнями дослідження.

Дисертаційна робота містить наукові положення, які раніше не були захищені, і нові науково-обґрунтовані результати досліджень та задовольняє паспорт спеціальності 132 «Матеріалознавство», галузь знань 13 «Механічна інженерія».

Текст дисертації написаний українською мовою з використанням загальноприйнятої термінології. Анотація та текст дисертації оформлено згідно вимог діючого «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167.

Академічна доброчесність

Здобувач дотримується вимог академічної доброчесності, дисертація не містить елементів плагіату та запозичень, має посилання на відповідні джерела інформації у випадку використання ідей, результатів та текстів інших авторів. Автор дотримується норм законодавства про авторське право, надає повну та достовірну інформацію про результати наукової діяльності, а також використання методики досліджень.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. У преамбулі до значення отриманих результатів:

«Виявлені в роботі особливості та закономірності лазерно-плазмового зварювання дозволили розширити уявлення про процес гібридного зварювання і на основі цього розробити рекомендації по проектуванню зварювальних головок та плазмотронів для лазерно-плазмових процесів та передового зварювального обладнання, розробити та оптимізувати технологічні параметри лазерно-плазмового зварювання сталей.»

Доцільно стисло вказати у чому саме полягає оптимізація технологічних параметрів ЛПЗ.

2. На рис.1.4 англійськи роз'яснення структурних особливостей доцільно розшифрувати українською. Або додати відповідні роз'яснення у підписунок підпис.
3. На рис.1.6 англійськи роз'яснення елементів устаткування доцільно розшифрувати українською. Або додати відповідні роз'яснення у підписунок підпис.
4. На рис.1.7 англійськи роз'яснення доцільно розшифрувати українською. Або виокремити у окрему таблицю.
5. На рис. 1.8 масштабна мітка нерозбірлива.
6. На рис. 1.9 масштабна мітка нерозбірлива
7. На рис.1.12 англійськи роз'яснення елементів устаткування доцільно розшифрувати українською. Або додати відповідні роз'яснення у підписунок підпис.
8. На рис.1.13 німецькі роз'яснення елементів устаткування доцільно розшифрувати українською. Або додати відповідні роз'яснення у підписунок підпис.
9. На рис.1.14 німецькі роз'яснення елементів устаткування доцільно розшифрувати українською. Або додати відповідні роз'яснення у підписунок підпис.
10. На рис.1.15 німецькі роз'яснення на графіку доцільно розшифрувати українською. Також зробити розбірливо масштабну мітку на макроструктурах.
11. На рис.1.17 німецькі роз'яснення елементів устаткування доцільно розшифрувати українською. Або додати відповідні роз'яснення у підписунок підпис
12. У підрозділі 2.3 у таблиці 2.1 доцільно вказати стосовно хімічного складу використаних у роботі сталей спосіб визначення, або додати посилання «згідно сертифікату якості на сталь».
13. У розділі 2.6, у реченні «При дослідженні використовувались детектор пружнєвідбитих електронів (позначення BSE на електронному

знімку)» доцільно зазначити, що цей детектор дозволяє оцінювати фазовий контраст досліджуваних зразків.

14. На рис.3.1 англійськи роз'яснення елементів графіку доцільно розшифрувати українською. Або додати відповідні роз'яснення у підписуноківий підпис.
15. Розділ 4. У роз'ясненні до таблиці 4.1. «* - в шві ↓ HV; ** - в ЗТВ ↓ HV; *** - в шві ↑↑ HV; **** - крупнокристалічна структура. » доцільно додати у тексті речення з коментарі стосовно того, що у шві твердість знижується для лазерного способу, в ЗТВ твердість знижується для плазмового та інш.
16. У розділі 4.1.2. відмічається суттєвий ріст показників твердості у металі шву при лазерно-плазмовому зварюванні зразків товщиною 6мм. Враховуючи, що розміри структурних елементів близькі до показників металу шву зразків товщиною 2мм зварених лазерно-плазмовим способом, доцільно у тексті роботи вказати можливу причину цієї відмінності. За рахунок збільшення тепловкладення при збільшенні товщини зразку, можливо виділення сполуки типу Cr₂₃C₆, які відіграють роль дисперсійного зміцнення.
17. На рисунках 4.52, 4.53, 4.54 у підпису слід вказати місце, у цьому конкретно для цього експерименту проводились заміри термічного циклу зварювання.
18. У розділі 4.4 дублюється опис методики механічних випробувань. «Випробування проводили на універсальному серво-гідравлічному випробувальному комплексі MTS 318.25 з максимальним зусиллям 250 кН. Контроль параметрів при випробуваннях здійснювався за допомогою стандартного програмного забезпечення TestWorks 4 системи MTS 318.25.»

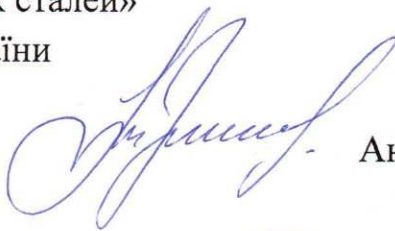
Висновок по дисертації

Відмічені недоліки та зауваження, які були висловлені щодо окремих аспектів роботи, не впливають на загальний науковий рівень та важливість досліджень, представлених у дисертації. Дисертаційна робота Є.В. Ілляшенко на тему: *«Гібридне зварювання сталей з використанням плазмової дуги та випромінювання волоконного лазера»* є самостійним та завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона має великий потенціал для подальших досліджень, спрямованих на поліпшення технології та експлуатаційних властивостей металу, отриманого шляхом гібридного лазерно-плазмового зварювання з використанням волоконного лазера.

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».

Рецензент:

старший науковий співробітник
відділу «Зварювання легованих сталей»
ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України
кандидат технічних наук,
старший науковий дослідник



Анатолій ЗАВДОВСЄВ

Підпис Анатолія ЗАВДОВСЄВА засвідчую
Вчений секретар ІЕЗ ім. Є.О. Патона
кандидат технічних наук



Ілля КЛОЧКОВ