

27 02 2023 130

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора Рябцева Ігора Олександровича,
на дисертаційну роботу Войтенко Олександра Миколайовича
на тему: «Мікроплазмове адитивне наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів», подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» галузі знань 13 «Механічна інженерія»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Аналіз показує, що однією з проблем сучасного машинобудування, металургії та інших галузей промисловості залишаються великі відходи у вигляді стружки, які утворюються під час виготовлення різних деталей та вузлів машин та механізмів. В останні десятиліття у світі і, зокрема, в Україні активно розвиваються різні технології виготовлення деталей із мінімальними відходами і навіть так звані безвідходні технології. Зокрема, до таких технологій належать адитивні технології. За загальноприйнятим визначенням адитивні технології – це технології виробництва деталей складної форми за тривимірною комп'ютерною моделлю послідовним пошаровим нанесенням матеріалу.

В силу вищезазначеного дисертаційна робота О.М.Войтенка, яка спрямована на розробку процесів адитивного наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів є актуальною.

В адитивних технологіях можуть використовуватись широкий спектр витратних (присаджувальних) металевих матеріалів у вигляді порошків та дротів, а з іншого боку – можуть оптимально поєднуватись показники продуктивності, точності формоутворення, заданого рівня фізико-механічних властивостей та залишкових напружень.

Зокрема, розробка ефективних адитивних технологій та матеріалів для виготовлення деталей шляхом послідовного нанесення диференційованих зносостійких шарів буде актуальною для деталей, що працюють в умовах навантажень, нерівномірно розподілених за площею поверхні контакту.

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

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

Вірогідність наукових положень та практичних рекомендацій, що викладені у дисертації, підтверджено сучасними методиками фізичного і математичне моделювання процесів адитивного мікроплазмowego наплавлення металевих матеріалів, чисельним

прогнозуванням напружено-деформованого стану одержуваних металевих тривимірних об'єктів; моделюванням газових потоків для покращення конструкцій плазмотронів.

Отже, сучасний методичний рівень роботи, висока інформативність використаних методів дослідження дозволяють вважати результати дослідження, наукові положення, висновки і рекомендації достовірними та науково обґрунтованими.

3. Достовірність та наукова новизна здобутих результатів.

Достовірність одержаних результатів підтверджується їх успішним застосуванням в ході дослідно-промислової перевірки.

До найвагоміших результатів дисертаційного дослідження, які відповідають ознакам **наукової новизни**, можна віднести наступне:

1. Встановлено, що в процесі пошарового мікроплазмового наплавлення об'ємних виробів із металевих матеріалів типу «паралелепіпед», «циліндр», «трикутна призма», «квадратна призма», «розширений конус», «звужений конус» з максимальними габаритами до 65 мм і товщиною стінки від 2,5 мм в інтервалі струмів 20-30 А залишкові напруження у кожному наступному наплавленому валику зменшуються на 7-20%, а максимальні значення радіальних деформацій (переміщень) не перевищують 0,22-0,28 мм.

2. Запропоновано оптимальні діапазони значень погонної енергії мікроплазмового адитивного наплавлення (80-90 Дж/мм та 160-200 Дж/мм, відповідно, при використанні в якості присаджувального матеріалу порошку з розміром частинок до 150 мкм і дроту Ø 0,8-1,2 мм), в межах яких досягається зменшення розміру зони сплавлення шарів (до 0,1-0,3 мм), розміру зерен (на 15-30 %), розміру стінки (до 2,5-3,0 мм), збільшення твердості шарів (до 500-600 МПа) та досягнення більшої однорідності мікроструктури.

3. Встановлено, що адитивне мікроплазмове наплавлення присаджувальним дротом із низьковуглецевої сталі в порівнянні із процесом WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) забезпечує зменшення розміру зерен по висоті стінки в об'ємі наплавленого металу, в середньому в 2-3 рази, покращення рівновісності структури (наближення коефіцієнту форми зерна до 1), уникнення дефектів у вигляді трансшарової пористості, досягнення пониження залишкових напружень по висоті просторового виробу в середньому на 50-150 МПа.

4. Запропоновано новий підхід до розробки апаратно-програмного забезпечення технології адитивного мікроплазмового наплавлення металевих матеріалів, який включає поєднання самонавчальних нейронних мереж, системи збору і формування бази даних, системи автоматичного керування джерелом живлення, що забезпечує можливість генерувати керуючі програми для коригування режимів наплавлення металевих виробів із

заданими геометричними параметрами, розмірами зерен та прогнозованим рівнем залишкових напружень.

Елементи наукової новизни повною мірою відображені у дисертації і підтверджені ґрунтовними висновками дисертанта.

4. Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання.

У результаті виконання досліджень вирішено важливе науково-технічне завдання з розробки технологій адитивного мікроплазмового наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів. Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані експериментальні результати, які пов'язані із отриманням деталей з використанням 3D друку.

Зокрема, розроблено базові технологічні прийоми адитивного порошкового мікроплазмового наплавлення деталей. Для стабілізації погонної енергії і довжини дуги застосовано систему автоматичного регулювання напруги дуги (АРНД). Створено технологічний комплекс обладнання, який дозволяє виконувати адитивне мікроплазмове наплавлення об'єктів довільної форми у просторі $X:Y:Z=500\times400\times400$ мм із продуктивністю до 0,8 кг/год. Комплекс оснащений автоматичною системою моніторингу і керування власної розробки, які базуються на одержанні за допомогою системи датчиків інформації про процес наплавлення, обробки одержаних даних і співставленні їх із накопиченими у базі і розрахунковими даними за допомогою нейронних мереж, автоматичній генерації відповідних керуючих команд і їх відпрацювання завдяки наявним зворотним зв'язкам.

Дослідно-промислове випробування дає підставу рекомендувати розроблені технології адитивного мікроплазмового наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів у машинобудуванні та металургії.

Таким чином, зазначені результати мають суттєве значення для механічної інженерії та матеріалознавства.

5. Повнота вкладу результатів дисертаційного дослідження та наукових положень в опублікованих працях.

Основний зміст дисертації та найважливіші висновки викладені у 10 статтях, опублікованих у фахових журналах, що входять до переліку видань, рекомендованих МОН України для публікації праць здобувачів наукового ступеня, в тому числі 3 статті в журналах, які входять до науково метричної бази «SCOPUS». Отримано 2 патенти України на винахід. Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, зазначена у дисертації.

Апробация роботи: основні наукові положення та результати досліджень доповідалися на 8 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.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертація складається із анотації двома мовами, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 197 сторінок, 97 рисунків, 29 таблиць, список використаних джерел з 135 найменувань, 2 додатки 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.

Зміст та результати дисертації відповідають паспорту спеціальності 132 – «Матеріалознавство», галузь знань 13 «Механічна інженерія».

7. Академічна доброчесність.

Ознак порушення дисертантом вимог академічної доброчесності в представленій роботі та публікаціях, у яких висвітлені основні її наукові результати, не виявлено.

8. По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. У дисертації не зазначено, у рамках яких програм та тем науково-дослідних робіт ІЕЗ ім. Є.О.Патона вона виконувалася.

2. У першому пункті наукової новизни стверджується, що в процесі пошарового наплавлення залишкові напруження у кожному наступному наплавленому валику зменшуються на 7–20 %. Слід було уточнити, який був основний матеріал та які матеріали наплавлялися, їхній хімічний склад, структурні перетворення (термокінетичні діаграми). Саме від цього залежатимуть залишкові напруги в наплавлених шарах і не обов'язково вони будуть зменшуватимуться. Тим більше, що в практиці наплавлення є випадки розтріскування наплавлених деталей і навіть їх руйнування при великій товщині наплавлених шарів.

3. У третьому пункті наукової новизни вказується: «Підтверджено, що адитивне мікроплазмове наплавлення присаджувальним дротом із низьковуглецевої сталі в порівнянні із процесом WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing – дугою з плавким електродом) забезпечує зменшення розміру зерен по висоті стінки в об'ємі наплавленого металу...». Якщо щось підтверджується - це не наукова новизна.

4. У табл. 1.1 автор наводить "Основні методи адитивного виробництва". І серед цих методів немає методів наплавлення. Якщо автор збирається використовувати металеві матеріали та вироби, то чому не згадуються методи наплавлення – дугові, електрошлакові, плазмові?

5. Автор постійно плутає терміни: адитивне зварювання та адитивне наплавлення. *За загальноприйнятим визначенням адитивні технології – це технології виробництва деталей складної форми за тривимірною комп'ютерною моделлю послідовним пошаровим нанесенням матеріалу.* Тобто цей процес може бути наплавним, а не зварювальним. Інакше до адитивних виробництв можна віднести виготовлення США цільнозварних судів типу «Ліберті» під час Другої світової війни, виготовлення цільнозварних мостів і т.д. Це зауваження стосується і висновків по розділу 1. У всіх висновках автор використовує терміни: "...застосування зварювальних технологій; застосування адитивних зварювальних технологій..." тощо. Було б правильніше використовувати термін: наплавні технології.

6. Назву розділу 2 звужено: «Експериментальний стенд і методика дослідження процесів пошарового плазмового і мікроплазмового наплавлення просторових металевих конструкцій». Правильніше, на наш погляд, було б назвати розділ так: «Обладнання та методики досліджень процесів пошарового плазмового і мікроплазмового наплавлення просторових металевих конструкцій».

7. *Таблиця 3.1.* Технологічні параметри процесу наплавлення, використані при моделюванні газодинаміки допрацьованого плазмотрона марки PD-174M. Однак у табл. 3.1 наводяться лише дані щодо витрат плазмоутворюючого газу та витрати захисного газу. Немає даних щодо струму, напруги, витрати порошку, швидкості наплавлення, які також характеризують режим наплавлення.

8. У розділі 4 наводяться результати розрахунків напружено-деформованого стану одержуваних металевих тривимірних об'єктів. На жаль, у розрахунках не враховується напруження та деформації внаслідок структурних перетворень у наплавленому та основному металі. Для цих розрахунків необхідно мати термодинамічні діаграми структурних перетворень у різних типах наплавленого металу.

9. Деякі публікації автора не належать до тих, у яких викладено основні положення дисертації:

7. Analysis of features of technological schemes of processes of laser-plasma cutting and welding / V. Khaskin, V. Korzhyk, A. Bernatsky, I. Gos, S. Kostash, O. Voitenko // *Austria-science*, №20, 2018. – P. 34-43.

8. Особенности лазерной сварки титановых сплавов стыковыми и прорезными швами /В.Ю.Хаскин, В.М.Коржик, В.П.Лихошва, В.И.Ткачук, С.И.Пелешенко, А.А.Бабич, А.Н.Войтенко // *Sciences of Europe*, № 4, 2016. – С. 13-20.

9. Резка листовых углеродистых сталей лазерным излучением / В.Ю.Хаскин, В.М.Коржик, В.Е.Шевченко, В.И.Ткачук, С.И.Пелешенко, А.А.Бабич, А.Н.Войтенко, Т.В.Олейниченко // Scientia. Техника, №1, 2016. – С. 13-18.

10. У списку літератури під номерами 82, 101, 112 вказано одне й те саме джерело:

82. Гладкий, П.В. Плазменная наплавка / П.В. Гладкий, Е.Ф. Переpletчиков, И.А. Рябцев. – Киев: Экотехнология, 2007. – 292 с.

101. Гладкий П. В. Плазменная наплавка / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переpletчиков, И. А. Рябцев. – К.: «Экотехнология», 2007. – 292 с.

112. Gladky P.V., Pereplyotchikov E.F., Ryabtsev I.A. Plasma surfacing. – Kiev: Ecotechnology, 2007. – 292 p.

ВИСНОВОК

Відмічені недоліки та зауваження, зроблені до окремих положень дисертації, не стосуються кваліфікаційних ознак роботи в цілому і не знижують її загального наукового рівня. Дисертаційна робота О.М. Войтенко на тему: «Мікроплазмове адитивне наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів» є самостійним та завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Вона виконана на достатньо високому теоретичному та методичному рівні, має перспективи подальших досліджень, які стосуються підвищення якості та експлуатаційних властивостей металу, наплавленого за пропонованою технологією.

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 – Войтенко Олександр Миколайович – заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Рецензент:

Зав. відділу «Фізико-металургійних процесів
наплавлення зносостійких і жароміцних сталей»
ІЕЗ ім. Є.О. Патона, д.т.н., проф.

Ігор РЯБЦЕВ

Підпис Ігора РЯБЦЕВА засвідчую,
заст. директора ІЕЗ ім. Є.О. Патона,
чл.-кор. НАН України



Сергій МАКСИМОВ