

14 02 86 23

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Войтенка Олександра Миколайовича

«Мікроплазмове адитивне наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів»

представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії по галузі знань

13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Актуальність теми дисертації

Аддитивні технології виготовлення металевих виробів є одним із шляхів вирішення проблеми створення безвідходних технологій із можливістю швидкої зміни типорозмірів деталей та переходу від одиничних екземплярів до великих серій виробів. У свою чергу, мікроплазмове наплавлення просторових 3D об'єктів із використанням сталевих дротових і порошкових присаджувальних матеріалів, займаючи проміжне місце між високопродуктивним, але недостатньо точним традиційним наплавленням, і доволі точним, але низькопродуктивним лазерним наплавленням, вдало поєднує можливість застосування широкого спектру витратних металевих матеріалів із високими показниками продуктивності, точності формоутворення, заданим рівнем фізико-механічних властивостей та залишкових напружень. Тому тема дисертаційної роботи Войтенка О. М., яка присвячена дослідженню процесів формування мікроструктури і напружено-деформованого стану (НДС) одержуваних об'єктів розробці інтелектуальних засобів моніторингу і управлінню процесом автоматичного 3D друку заданих об'ємних металевих виробів, вдосконаленню основного обладнання є актуальною.

Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертаційна робота Войтенка О. М. має загальний обсяг 217 сторінок, складається з анотації, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 135 найменувань, додатків з 2 довідками щодо впровадження обладнання.

У вступі обґрунтовано актуальність вибраної теми дослідження, показаний зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Сформульована мета та задачі дослідження. Вказано про практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, про апробацію і публікації результатів досліджень, визначена наукова новизна.

У першому розділі представлені результати аналітичного огляду літературних джерел з питань дисертаційної роботи. Розглянуті альтернативні способи отримання тривимірних об'єктів адитивними технологіями. Показано, що для виготовлення металевих виробів 3D-друком з позицій якості/вартість доцільно використовувати адитивне мікроплазмове (робочий струм до 50 А) наплавлення з використанням

порошків та дрових присаджувальних матеріалів. Сформульовані задачі та мета дослідження

У другому розділі досліджені хімічний склад і основні структурні складові присаджувальних матеріалів, що застосовуються в експериментах, розроблено методику проведення експериментів, обрано відповідне технологічне обладнання і на його основі створено лабораторний стенд для проведення дослідів. Використовувалися наступні методи дослідження: фізичне і математичне моделювання процесів адитивного мікроплазмового наплавлення металевих матеріалів; чисельне прогнозування напружено-деформованого стану (НДС) одержуваних металевих тривимірних об'єктів; моделювання газових потоків для покращення конструкцій плазмотронів; технологічні дослідження особливостей поширеного формування металевих об'єктів та їх впливу на структуроутворення стінки; візуальні та хронографічні методи контролю; оптичне і механічне вимірювання геометричних параметрів наплавлених зразків; металографічні дослідження одержаних структур із застосуванням оптичної та електронної мікроскопії; мікродюрOMETричний аналіз твердості; випробування на статичне розтягування

У третьому розділі наведені результати розрахункових досліджень процесів газодинаміки в контурах стандартного плазмотрону. З використанням мікроплазмотрона покращеної конструкції проведено порівняльні експерименти з адитивного наплавлення металевих просторових примитивів трьома адитивними методами: електродугове МАГ наплавлення електродним струмопровідним дротом, мікроплазмове наплавлення присаджувальним дротом і порошком. Визначені базові особливості процесів, їх взаємні недоліки та переваги. Обрано оптимальні параметри режимів адитивного наплавлення за критеріями якісного з'єднання і утворення рівноважної структури наплавлених шарів

У четвертому розділі розроблено п'ять скінчено-елементних моделей складної просторової форми («циліндр», «трикутна призма», «квадратна призма», «розширений конус», «звужений конус») для визначення залишкових напружень і деформацій (переміщень), які враховують технологічну послідовність виконання наплавлених валиків на підкладці з урахуванням хімічного складу і механічних властивостей матеріалів підкладки і присаджувального дроту. Розрахунковим способом із наступною дослідною перевіркою встановлено рівень залишкових еквівалентних напружень і деформацій.

У п'ятому розділі розроблені базові технологічні прийоми адитивного порошкового мікроплазмового наплавлення і описано створення технологічного комплексу обладнання, який дозволяє виконувати адитивне мікроплазмове наплавлення об'єктів довільної форми у просторі $X:Y:Z=500 \times 400 \times 400$ мм із продуктивністю до 0,8 кг / год. Створено дві лінійки обладнання, укомплектованих 3D принтерами та зварювальними роботами. Описано дослідно-промислове впровадження розроблених комплексів обладнання.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Під час виконання теоретичних досліджень напружено-деформованого стану одержуваних металевих тривимірних об'єктів та моделювання газових потоків у конструкції плазмотронів використані сучасні методи чисельного моделювання. Експериментальні дослідження виконані за методиками, що забезпечують високу достовірність отриманих результатів. Наукові положення та висновки, які зроблені за результатами дисертаційної роботи досить обґрунтовані та не суперечать сучасним уявленням щодо фізики процесів, що супроводжують пошарове формування структури та фізико-механічних властивостей виробів, отриманих за допомогою адитивних технологій.

Основні наукові результати та їх наукова новизна

Серед результатів, які отримані під час виконання дисертаційної роботи і мають наукову новизну, слід відзначити наступні:

- вперше встановлено, що у ході безперервного пошарового мікроплазмового наплавлення із металевих матеріалів об'ємних виробів типу «паралелепіпед», «циліндр», «трикутна призма», «квадратна призма», «розширений конус», «звужений конус» із 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;
- вперше на основі експериментальних досліджень встановлено, що у разі безперервного пошарового мікроплазмового наплавлення дроту із низьковуглецевої сталі у напрямку від першого шару спостерігається збільшення розміру зерна наплавленого металу від (15...20) мкм до (150...200) мкм по висоті наплавленої стінки до 10 розмірів її ширини, а у подальшому розмір зерна практично не зростає;
- вперше визначені діапазони оптимальних значень погонної енергії як критерію оптимізації режимів мікроплазмового адитивного наплавлення: (80...90) Дж / мм та (160...200) Дж / мм, відповідно, за умови використання порошку із розміром частинок до 150 мкм і дроту $\varnothing(0,8...1,2)$ мм, в межах яких досягається зменшення розміру зони сплавлення шарів до (0,1...0,3) мм, розміру зерна на (15...30) %, розміру стінки до (2,5...3) мм, а також збільшення твердості металу до (500...600) МПа із одночасним досягненням більшої однорідності мікроструктури.

Повнота викладу результатів дисертації в публікаціях

Основний зміст дисертаційної роботи Войтенка О. М. викладений у 18 наукових працях, із яких 10 статей у наукових фахових виданнях України та періодичних виданнях іноземних держав, 3 з яких включені до міжнародної наукометричної бази

SCOPUS, 3 патенти України на винахід та 5 публікації у матеріалах міжнародних конференцій. На підставі аналізу опублікованих автором праць можна стверджувати, що матеріали дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені та апробовані.

Зауваження по дисертації

- суттєво завищений загальний об'єм роботи (217 стор.) порівняно із рекомендованими (4,5...7) авторськими аркушами (до 150 стор.)
 - в аналітичному огляді не акцентоване аналітично-критичне ставлення автора до наукових результатів, отриманих іншими дослідниками з питань, які задекларовані у дисертації як задачі та мета даного дослідження
 - у формулюваннях наукової новизни не показана відмінність одержаних результатів від відомих раніше та не описаний ступінь новизни (вперше одержано, удосконалено, дістало подальший розвиток і т. ін.)
 - висновки за розділом 2, за розділом 3 (поз. 1, 2, 7), розділом 4 (поз. 1, 2, 7), розділом 5, загальні висновки (поз. 6, 10) носять анотаційний характер
 - суттєвий об'єм роботи займають результати моделювання процесів у плазмотроні, але неврахування наявності електричної дуги ставить під сумнів коректність отриманих результатів, бо відомо, що дуга суттєво перебудовує структуру потоку газу, який її омиває, та змінює його фізичні параметри
 - результати моделювання процесів у плазмотроні носять в основному якісно-ілюстративний характер і практично не використані у ході вдосконалення конструкції плазмотрона. Зокрема застосування двох шляхів вводу вихідного матеріалу для створення більш симетричного газопорошкового потоку є очевидним рішенням, яке не потребує попереднього моделювання
 - матеріал нерівномірно розподілений в межах тексту дисертації: розділ 3 займає майже 35% фактичного об'єму дисертації, причому круг питань, розглянутих в цьому розділі по суті охоплює всі фактичні дослідження, які проведені в роботі.
- Наведені зауваження, втім, не применшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи та не знижують рівня її наукової цінності.

Загальні висновки по дисертаційній роботі

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Войтенка О. М. «Мікроплазмове адитивне наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів» є завершеною науковою працею, містить одержані автором нові наукові та прикладні результати в галузі матеріалознавства, які розв'язують актуальне наукове завдання підвищення продуктивності, точності та економічності технологій мікроплазмового наплавлення 3D-об'єктів із металевих матеріалів.

Дисертаційна робота за обсягом виконаних досліджень, новизною та науковою значимістю отриманих результатів та їх рівнем повністю відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження Вимог

до оформлення дисертації», та вимогам, передбаченим пунктом 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167, а її автор – Войтенко Олександр Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 - Матеріалознавство.

Офіційний опонент,

д.т.н., професор кафедри зварювального виробництва,
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



В.М. Пащенко

Підпис В.М. Пащенко засвідчую:
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського»



В.В. Холявко