10 02 23 885

# ВІДГУК

на дисертаційну роботу ***Олександра Войтенка***

«Мікроплазмове адитивне наплавлення просторових виробів з металевих матеріалів»,

що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії по галузі знань 13 механічна інженерія за спеціальністю 131 Матеріалознавство.

Дисертаційна робота Олександра Войтенка присвячена актуальній темі – 3D друку методами адитивного мікроплазмового наплавлення просторових об'єктів із використанням сталевих дротових і порошкових присаджувальних матеріалів. В роботі дослідженню формування мікроструктури і напружено-деформованого стану (НДС) 3D об'єкту, який друкується наплавленням. На основі виконаних досліджень створено інтелектуальні апаратурно-програмні засоби для автоматичного 3D друку об'ємних металевих виробів із заданою структурою і прогнозованим напруженим станом.

Автор запропонував використовувати адитивне мікроплазмове наплавлення для дрібносерійного виготовлення об'ємних деталей різних типорозмірів, зокрема крильчаток, елементів жорсткості, унікальних заготовок (наприклад, заготовок ендопротезів) тощо. Обраний автором підхід дозволяє досягти технічного сполучення точності виготовлення деталей, можливості усунення або зменшення частки механічної обробки, а також задовільної продуктивності виробництва. Застосування мікроплазмового наплавлення дозволяє використовувати порошкові та дротів металеві присаджувальні матеріали для створення виробів із заданим рівнем фізико-механічних властивостей.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 135 найменувань і додатків, до яких входять дві довідки про впровадження результатів. Загальний обсяг роботи становить понад 197 аркушів без списку літератури і додатків. Результати роботи викладено у 17 наукових працях, із яких 10 – статті у наукових фахових виданнях України і періодичних виданнях іноземних держав, 3 з яких включених до міжнародної наукометричної бази даних SCOPUS, 2 патенти України на винахід та 5 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій.

В роботі проаналізовано сучасний стан 3D-технологій виготовлення об'ємних металевих виробів. Показано, що для виготовлення точних деталей малих розмірів є доцільним застосування лазерних технологій (наприклад, SLM), для великогабаритних деталей – застосування зварювальних технологій (наприклад, WAAM, PTA). Встановлено, що застосування адитивного плазмово-дугового друку дозволяє підвищувати точність виготовлення та якість поверхні об'ємних металевих виробів у порівнянні з іншими електродуговими способами наплавлення. Розроблено базові технологічні прийоми процесу адитивного мікроплазмового наплавлення і підходи до автоматичного моніторингу та керування цим процесом, що дозволило зменшити до 0,22–0,28 мм залишкові радіальні зміщення і до 400-500 МПа напруження шарів, які наплавляються з нержавіючої сталі, досягти відхилення від лінійних розмірів до 1 мм стінок наплавлених тривимірних об'єктів (як припуск під фінішну механічну обробку) і продуктивності 0,3-0,6 кг/год їх створення.

Встановлено, що в результаті адитивного мікроплазмового наплавлення порошку нержавіючої сталі (розмір частинок 40-60 мкм) формується шарувата структура металу з висотою наплавленого шару порядку 650 мкм і товщиною стінки 3 мм. Розподіл металу за висотою зразка рівномірний. Внаслідок адитивного формування зразка шляхом наплавлення порошку утворюються колонії великих і дрібних дендритів з різними розмірами й орієнтацію залежно від висоти ділянки, на якій проводилося дослідження. Розмір субзерен становить 15…25 мкм, а їхній склад близький до складу вихідного порошку. Наплавлений метал забезпечує високу міцність, що становить понад 600 МПа.

При мікроплазмовому наплавленні дротом низьковуглецевої сталі діаметром 0,8-1,2 мм формуються просторові зразки з товщиною стінки порядку 2,7-3,0 мм з гладкою поверхнею близькою до литої. Міжшарова або трансшарова пористість у зразках не виявлена. Наплавлені шари мають якісне з'єднання та характеризуються рівновісною дендритною структурою металу достатньої щільності без пор і несплавлень. Розмір зерен поблизу підкладки становить 15…20 мкм, ближче до вільної поверхні зростає до 150…200 мкм. Встановлено, що тенденція незначного підвищення твердості в напрямку від нижніх наплавлених шарів (HV 1626…1705 МПа) до вільної поверхні (HV

1893…1936 МПа) пов'язана зі структурними перетвореннями через більший питомий об'єм перлітної складової в міру підвищення висоти тонкої стінки.

Розроблено базові технологічні прийоми адитивного порошкового мікроплазмового наплавлення. Створено низку технологічних комплексів обладнання для адитивного мікроплазмового наплавлення об'єктів довільної форми. Для цих комплексів розроблено автоматичну систему 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. Кілька створених комплексів обладнання впроваджено в Україні та Китаї.

Однак, не дивлячись на достатньо високий рівень і повноту досліджень, можна зробити наступні зауваження:

1. Робота має дещо надлишковий обсяг. Частина наведеної в ній інформації не є обов'язковою. Наприклад, при розробці нового плазмотрону автор провів досить широкий аналіз прототипів, який наводити було необов'язково.

2. В роботі проведено дослідження двох процесів адитивного мікроплазмового наплавлення – з присаджувальним порошком і дротом. Останній процес зіставлено з дуговим адитивним наплавленням плавким електродом. Якщо процес адитивного мікроплазмового наплавлення з присаджувальним порошком досліджено достатньо всебічно, то особливості інших двох процесів досліджені стисло. Наприклад, цікавим було б порівняння формування залишкового НДС тривимірних об'єктів, отриманих мікроплазмовим і дуговим наплавленням з використанням дротових матеріалів.

3. Аналіз структур, які утворюються при адитивному мікроплазмовому наплавленні металевими матеріалами, був би більш повним, якщо б автор виконав дослідження перерозподілу легуючих елементів залежно від кількості наплавлених шарів. Це дозволило би більш обгрунтовано пояснити зміну твердості шарів по висоті наплавленої стінки.

4. В роботі досить стисло надано інформацію щодо формування характерних дефектів обраного способу адитивного наплавлення. Зокрема, мало уваги приділено питанню утворення тріщин (мікротріщин) у наплавлених шарах. Було

б доцільно збільшити дану частку досліджень, наприклад, навести структури поперечного перетину стінок надрукованих просторових примітивів з відповідними характерними дефектами і пояснити умови їх утворення.

5. Для опису теплових процесів автор застосував «…об'ємне джерело нагріву за J.Goldak з нормальним (Гаусовим) розподілом питомої теплової потужності вздовж всіх координатних осей в обсязі тіла, що має форму еліпсоїда» (рис.4.1). Проте, такий підхід є прийнятним для дії зварювального джерела у напівнескінченому тілі. У разі адитивного наплавлення тонкої (2,5-5,0 мм) стінки просторового виробу нормальний (Гаусовий) розподіл питомої теплової потужності може мати місце лише за координатою Z. У площині координат XY діятиме джерело нагріву, наближене до лінійного.

Не дивлячись на зроблені зауваження, роботу можна вважати такою, що відповідає вимогам, які висуваються до робіт рівня наукового ступеня доктора філософії. Не викликає сумнівів, що кваліфікація автора відповідає цьому рівню. Вважаю, що дисертація Олександра Войтенка є закінченою науковою працею, яка заслуговує позитивної оцінки. Автор роботи заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 15 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

ОПОНЕНТ
Завідувач відділу теплофізики енергоефективних теплотехнологій
Інституту технічної теплофізики НАН України,
чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.,
Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки — Наталія ФІАЛКО

Підпис, зав. відділу теплофізики енергоефективних теплотехнологій,
Інституту технічної теплофізики НАН України, чл.-кор. НАН України, д.т.н.,
проф., Наталії ФІАЛКО засвідчую:

т.в.о. ученого секретаря
Інституту технічної теплофізики НАН України,
доктор філософії — Олег СТУПАК