ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук Петрика І.А.
на дисертаційну роботу Матвійчука Владислава Анатолійовича
«Адитивні електронно-променеві технології виготовлення металевих виробів методом пошарового наплавлення із застосуванням порошкових матеріалів»,
яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології»

Дисертаційна робота присвячена створенню обладнання та процесів виробництва металевих виробів із порошкових матеріалів за адитивною електронно-променевою технологією. Така постановка проблеми передбачає вивчення особливостей адитивних технологічних процесів, створення дослідного устаткування та систем управління обладнанням, дослідження застосування сировини, придатної до адитивного виробництва, вивчення впливу технологічних параметрів друку на властивості виробів, розробці способів проектування та виготовлення адитивним методом деталей з прогнозованими властивостями. Автор роботи виконав поставлене завдання, а представлені результати дозволяють сформулювати загальні характеристики проведеного дослідження щодо актуальності, наукової новизни, ступеню обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, практичного значення, а також повноти викладення результатів дослідження в наукових публікаціях.

Ступінь актуальності дисертаційної роботи.

Останнє десятиліття ознаменувалося широким впровадженням адитивних технологій у промисловості. Вітчизняне серійне виробництво такого адитивного обладнання відсутнє, тоді як закордонні компанії пропонують комплексні рішення, що мають обмежені параметри міцності та складності із застосуванням необхідної виробнику сировини. Це не дозволяє повною мірою інтегрувати адитивні методи у промислові процеси на вітчизняних підприємствах. Крім того, технологічні режими часто залишаються невідомими, оскільки вони закладені в програмному забезпеченні, що ускладнює використання альтернативної сировини.

Таким чином, перед вітчизняною промисловістю постає завдання імпортозаміщення обладнанняя і технологій адитивного виробництва, а також забезпечення власною сировиною. Важливим напрямом є створення установок на основі електронно-променевих процесів із використанням сертифікованих вітчизняних порошкових матеріалів.

Оскільки в Україні немає власних електронно-променевих установок для 3D-друку, актуальним є розроблення вітчизняного обладнання та програмного забезпечення для адитивного електронно-променевого виробництва. Це дозволить зменшити залежність від імпортної сировини та сприятиме його впровадженню на підприємствах.

У цих умовах розвиток унікального досвіду українських вчених в сфері адитивних електронно-променевих технологій є безумовно актуальним.

Отже, можна дійти висновку, що тема дисертаційної роботи, яка обрана здобувачем, є актуальною та має значну важливість для розв'язання поставленої науково-технічної задачі у галузі матеріалознавства та технологій, повністю відповідаючи спеціальності 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології».

Структура роботи.

Дисертаційна робота має традиційну структуру і складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків та переліку посилань.

Вступ до дисертаційної роботи вміщує самооцінку актуальності тематичного напряму роботи, її новизну, зв'язок роботи з діючими науковими програмами та темами. Сформульована загальна мета, основні вирішувані завдання, охарактеризовані об'єкт, предмет та методи дослідження, визначені основні параметри, що свідчать про новизну отриманих результатів та їх практичне значення, обгрунтовано особистий внесок автора та наведені дані про апробацію роботи.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану адитивних технологій. Автор, грунтуючись на літературних джерелах, висвітлює сучасний стан адитивного виробництва, визначає вплив цифрових технолгій в галузях проєктування і моделювання на розвиток адитивного виробництва, що дозволяє створювати нові типи об'єктів з унікальними властивостями. Автором розлянуті переваги адитивних методів виробництва, зазначено термінологію та класифікацію адитивних технологій. Здійснено аналіз існуючих технологій виготовлення виробів із металу адитивним методом. Визначено особливості технологій пошарового виготовлення металевих виробів із застосуванням в якості джерела енергії лазерного та електронного променя. Зазначені переваги електронно-променевих технологій адитивного виробництва та здіснено обгрунтування вибору напрямку досліджень. Висвітлена проблема імпортозаміщення обладнання і технологій адитивного виробництва у вітчизняній промисловості та його забезпечення сировиною.

Наведений огляд виступає методичним підгрунтям проведення автором експериментів і дає можливість стверджувати, що актуальним завданням є розробка установок на базі електронно-променевих процесів із

застосуванням саме вітчизняних порошкових матеріалів, які будуть сертифіковані та орієнтовані для впровадження на вітчизняних підприємствах.

У другому розділі дисертації наведено результати розроблення дослідного адитивного електронно-променевого устаткування. Розглянуто метод пошарової побудови виробів, надана схема адитивного електронно-променевого процесу. Наведено описання створеного устаткування та системи управління обладнанням. Розглянута створена автором система відеоспостереження ОПК, яка, використовуючи сигнал вторинної електронної емісії, дозволяє здійснювати візуальний контроль за процесом наплавлення в режимі реального часу та зберігати отриману інформацію для подальшого контроля якості виробів.

Автором досліджено вплив магнітного поля землі на позиціювання електронного променя, розроблені методи і пристрій для юстування електронно-променевої гармати та калібрування розгорток електронного променя.

За результатами досліджень автором розроблена концепція та створена спільно з компанією Materialise (Бельгія) програмно-апаратна платформа управління адитивним виробничим процесом, яка складається з апаратних та програмних засобів.

Основним результатом цього розділу слід вважати створення макету промислового устаткування з програмним забезпеченням для відтворення адитивного електронно-променевого виробничого процесу.

Третій розділ дисертації висвітлює результати досліджень із застосування для адитивного виробництва сировини - металевих порошкових матеріалів із сплавів титану.

Автором досліджені інноваційні порошки вітчизняного виробництва з гранулами довільної (несферичної) форми, які виготовлені методом гідрування-дегідрування (HDH) з титану губчастого або інших титановмісних матеріалів.

Із порошків сплавів титану ВТ1-0 та ВТ20 надруковані та випробувані дослідні зразки. Проведено їх мікростуктурний аналіз, визначені механічні властивості.

Основним результатом цього розділу слід вважати результати досліджень, які дозволяють зробити висновок про відповідність властивостей отриманих зразків згідно з вимогами до сплавів титану. Слід відзначити безсумнівне технологічне досягнення автора, якому вдалося винайти технологічні прийоми, що дозволяють отримувати об'ємні вироби з литою та бездефектною структурою металу.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений дослідженню адитивних електронно-променевих процесів. Автором визначено послідовність технологічних операцій, проведено аналіз технологічних параметрів друку, визначено етапи адитивного виробництва.

У цьому ж розділі наведений великий матеріал із дослідження впливу параметрів технологічного процесу електронно-променевого наплавлення на якісні показники виробів з титанового сплаву Ti-6Al-4V. Досліджено вплив технологічних параметрів на структуру поверхонь, мікроструктуру та мікротвердість виробів із сплаву Ti-6Al-4V. Визначені режими друку, що забезпечують формування найкращого структурного стану та морфології поверхні, параметрів твердості.

Для сплаву титану ТА15 із системою легування Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V, визначені технологічні параметри друку, які забезпечують отримання методом електронно-променевого 3D друку заготовок з підвищеними механічними характеристиками. У цьому ж розділі наведений великий матеріал з описом механічних випробувань, визначення хімічного складу та металографічних досліджень отриманих зразків. Комплекс цих досліджень свідчить, що розроблена адитивна технологія дозволяє отримувати вироби із сплавів титану з властивостями міцності, які значно перевищують властивості литого та деформованого металу виготовленого за традиційною технологією електронно-променевої плавки.

П'ятий розділ присвячено створенню підходів до проєктування цифрових моделей, виготовленню експериментальних виробів та дослідженню їх властивостей.

Автором здійснено аналіз матеріалів для авіадвигунобудування, на прикладі лопатки ГТД розроблено підхід до комп'ютерного проектування тривимірних оптимізованих моделей деталей авіадвигуна з урахуванням можливих деформацій форми виробу, які виникають в процесі друку. Адитивним методом на створеному устаткуванні виготовлено зразки роторних лопаток ГТД та контрольні зразки, властивості яких досліджено.

Автором досліджено застосування створеної технології для виробництва індивідуальних медичних імплантатів. Здійснено аналіз матеріалів медичного призначення, створено підхід до проєктування та створено оптимізовані цифрові моделі індивідуальних медичних імплантатів. Технологічні можливості розробленого обладнання дозволили автору виготовити експериментальні зразки індивідуального імплантату кульшового суглобу та щелепо-лицьовий імплантат, а також інші вироби біомедичного призначення.

Висновки по роботі узагальнюють основні отримані в дисертаційному дослідженні результати. Дисертація в цілому є структурно та змістовно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень є логічною і такою, що побудована у відповідності з науковим методом.

Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків та їх достовірність не викликає сумнівів, оскільки вона забезпечується:

- коректністю та ефективністю обраної методології дослідження;
- аналізом сучасного стану досліджень в заявленій предметній області;
- комплексним застосуванням теоретичних та експериментальних методів дослідження;
- експериментальним доведенням ефективності запропонованої методики.

Наукова новизна отриманих результатів. В результаті проведеного дослідження отримано низку нових результатів, серед яких найважливішими слід вважати наступні:

- Розширено уявлення щодо застосовності електронного променю для 3Д друку виробів з порошкових матеріалів титанових сплавів. Встановлено, що для титанових сплавів ТА15 і Ti-6Al-4V раціональним є режим наплавлення з густиною енергії від 40 до 45 Дж/мм^3 з кроком зміщення траєкторії 0,2 мм, який забезпечує мінімальні параметри мікрорельєфу поверхонь, однорідну, бездефектну, двофазну структуру металу з розміром голчастих кристалів α'- фази до 1,8 мкм.
- Вперше встановлено, що адитивне наплавлення з титанового сплаву ТА15 за розробленою технологією забезпечує механічні властивості вищі ніж у деформованого металу, а саме: границю міцності на рівні 1139 МПа, що на 27% вище; значення відносного видовження 16,5%, що на 77% вище; обмежену границю витривалості на базі 2 мільйонів циклів на рівні 508 МПа, що на 11% вище.
- Вперше показано, що адитивне наплавлення з новітніх HDH порошків титанових сплавів ВТ20 дозволяє отримати вироби складної форми з безпористою, дрібнодисперсною, двофазною структурою металу із твердістю HV 4000 МПа та рівномірним розподілом легуючих елементів.

Практичне значення отриманих результатів. В результаті проведеного дослідження дисертантом отримано значну кількість практично важливих результатів, серед яких найважливішими слід вважати наступні:

- Створено промисловий зразок вітчизняного адитивного електронно-променевого устаткування з використанням металевих порошкових матеріалів сферичної та довільної форми.

- Розроблена універсальна програмно-апаратна платформа управління адитивними виробничими процесами.
- Розроблені та експериментально перевірені технології пошарового електронно-променевого 3Д друку металевих виробів.

Повнота викладу результатів дослідження в наукових публікаціях. За темою дисертаційної роботи опубліковано 30 наукових праць: 2 розділи у книзі; 16 статей у наукових журналах (14 – у журналах, що входять до переліку наукових фахових видань МОН України, 2 – в іноземному виданні), з яких 4 статті входять до наукометричної бази даних Scopus; 12 публікацій у матеріалах науково-технічних конференцій. Особистий внесок здобувача у цих публікаціях є суттєвим, що наведено у тексті дисертації. Наукові результати, що отримані у дисертаційній роботі, також були представлені і обговорювались на 11-ти міжнародних наукових конференціях. Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації. Автореферат достатньою мірою висвітлює основні наукові і практичні положення дисертаційної роботи.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

Загалом, позитивно оцінюючи наукове і практичне значення отриманих дисертантом результатів, варто відзначити наступні дискусійні положення і зауваження до змісту дисертаційної роботи.

1. У першому розділі варто чіткіше вибудувати структуру та сформулювати основні положення роботи.
2. У другому розділі бажано обґрунтувати вибір матеріалу та запропонувати методи оцінки характеристик дослідних порошкових матеріалів.
3. Основний матеріал дисертації, викладений у третьому розділі, заслуговує високої оцінки. Водночас не можна не висловити зауваження, яке за сутністю є побажанням. Автор розглядає різні технологічні особливості створеного устаткування, які дуже бажано було б доповнити особливостями застосування обладнання в умовах виробничих приміщень відповідно до вимог безпеки застосування устаткування.
4. У четвертому розділі бажано дослідити вплив фракційного складу та морфології гранул порошкового матеріалу на властивості отриманих виробів.
5. Багатий і високоякісний експериментальний матеріал п'ятого розділу має віддалений зв'язок із спеціальністю 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології».
6. Бажано перенести аналітичну інформацію літературних джерел з розділів 3 та 4 до розділу 1.

Загальний висновок.

Зазначені зауваження та рекомендації не впливають на загальну позитивну оцінку представленого наукового дослідження. Вважаю, що дисертація на тему «Адитивні електронно-променеві технології виготовлення металевих виробів методом пошарового наплавлення із застосуванням порошкових матеріалів», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології» є завершеною самостійною науковою роботою, яка містить нові обґрунтовані результати, що мають істотне значення для розвитку адитивного виробництва у світі, і за актуальністю, змістом, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, достовірністю і значущістю в повній мірі відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» МОН України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 щодо дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор Матвійчук Владислав Анатолійович заслуговує присудження ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06. «Зварювання та споріднені процеси і технології».

ОФЦІЙНИЙ ОППОНЕНТ:
кандидат технічних наук,
головний зварник АТ «Мотор Січ» Ігор ПЕТРИК