

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Чигілейчика Сергія Леонидовича

на тему «**Забезпечення механічних властивостей об'ємних виробів із жароміцних нікелевих сплавів, отриманих адитивним мікроплазмовим наплавленням для виробництва деталей авіаційних двигунів**»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора

філософії в галузі знань **13 Механічна інженерія**

за спеціальністю **132 Матеріалознавство**

Актуальність теми дисертації.

Вирощування методом мікроплазмового наплавлення є одним із видів адитивних технологій, які є новими технологіями при виготовленні та ремонті деталей із металу, які можуть у ряду випадків замінити класичні способи, такі як лиття, штампування та поковку. Серед основних переваг даної технології можна виділити, що завдяки автоматизованому комп'ютерному управлінню з'являється можливість пошарового виготовлення нового виробу або відновлення пошкодженої частини виробу після експлуатації за її тривимірною 3D-моделлю. При цьому значно скорочуються час і витрати на отримання нового виробу за рахунок виключення проміжних стадій виготовлення оснащення і пресформ. Це дасть можливість дослідної реалізації конструкторського проекту (при проектуванні нових виробів або доопрацювання з метою покращення характеристик наявних) з мінімальними витратами через 2–3 тижні.

В основі процесу адитивного мікроплазмового наплавлення є фізичні, металургійні та технологічні елементи зварювання та наплавлення. Тому процес адитивного мікроплазмового наплавлення має теж самі труднощі, що при зварюванні жароміцних нікелевих сплавів. Зварювання жароміцних нікелевих сплавів досі є складним завданням і тому перебуває в центрі значної уваги дослідницького інтересу. Однак, це ще ускладнюється, по-перше, через схильність матеріалу до утворення тріщин, що виникають у результаті високої напруги й зміни структури при багаторазовому повторному нагріванні та переплавленні наступних шарів. Дисертаційна робота Чигілейчика Сергія Леонидовича розкриває важливе та актуальне питання розроблення конструктивних, металургійних та технологічних підходів, спрямованих на підвищення механічних властивостей об'ємних виробів із жароміцних нікелевих сплавів, отриманих адитивним мікроплазмовим наплавленням для виробництва деталей авіаційних двигунів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Новизна цієї роботи полягає в тому, що уперше встановлено що застосування порошків, отриманих відцентровою плазмовою атомізацією, дозволяє уникнути внутрішньої аргонової пористості та суттєво підвищити фізико-механічні

властивості наплавлених виробів порівняно з порошками, отриманими газовим розпиленням. Також, уперше встановлено критерій максимального вмісту азоту та кисню у порошках нікелевих сплавів для адитивного наплавлення, з погляду забезпечення необхідних вимог до механічних властивостей деталей авіаційних двигунів, а саме: $[N] \leq 0,03$ ваг. %, або кисню у $[O] \leq 0,02$ ваг. %. Уперше запропонована оптимальна технологічна схема вирощування об'ємних зразків за траєкторією «змійка», яка за рахунок рівномірного розподілу температур по всіх шарах забезпечує гарантоване сплавлення між валиками по всьому перерізу вирощеної заготовки. Уперше для аналізу напружено-деформованого стану в процесі багатошарового мікроплазмового наплавлення створено скінченно-елементну модель, що забезпечує високу точність прогнозування деформацій та напружень, що дозволяє оптимізувати технологічні режими і суттєво зменшити кількість дефектів готових виробів.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Представлена дисертаційна робота Чигілейчика Сергія Леонідовича за своїм змістом відповідає стандарту освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство галузі знань 13 Механічна інженерія, а в предметній області, що визначена освітньо-науковою програмою підготовки докторів філософії з Матеріалознавство. Дисертаційна робота базується на поєднанні експериментальних досліджень, сучасного комп'ютерного моделювання та виробничої апробації запропонованих підходів. Зміст дослідження охоплює повний цикл вивчення процесу отримання об'ємних заготовок із жароміцних нікелевих сплавів методом адитивного мікроплазмового наплавлення — від аналізу вихідної сировини до оптимізації параметрів технологічного процесу та впровадження результатів у виробництво. Дисертаційна робота виконана на високому науково-технічному рівні, характеризується системним підходом, глибоким аналізом та комплексністю вирішення поставлених завдань на всіх етапах дослідницького процесу — від постановки наукового завдання до впровадження отриманих результатів у виробництво. Робота є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну важливу проблему, пов'язану із забезпеченням високих механічних властивостей деталей авіаційних двигунів, отриманих методом адитивного мікроплазмового наплавлення. Це дослідження має безпосередній зв'язок із потребами сучасного авіаційного двигунобудування, особливо у сфері серійного виробництва та ремонту деталей гарячого тракту двигунів, які зазнають значних навантажень і працюють у жорстких умовах експлуатації.

За результатами розгляду звіту подібності та перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння можна зробити висновок, що дисертаційна робота Чигілейчика Сергія Леонідовича є результатом самостійних наукових досліджень здобувача. Робота не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату, запозичень або несанкціонованого використання здобувачем результатів інших авторів. Використані здобувачем ідеї, результати та тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Суть дисертаційної роботи подана послідовно та зрозуміло. Автором використано загальноновживану термінологію наукового напрямку, що сприяє повному розумінню представлених результатів досліджень.

Дисертація складається зі вступу, п'ятих розділів, загальних висновків, списку літератури і трьох додатків (Актів упровадження науково-дослідних робіт). Загальний обсяг дисертації 204 сторінки машинописного тексту. Робота містить 93 рисунка, 28 таблиць, список літератури із 129 найменувань.

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, сформульовано основні задачі дослідження, надано методи дослідження, виділено наукову новизну результатів дослідження і їх практичне значення, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі роботи були наведені результати аналітичного огляду сучасних уявлень про процес адитивного вирощування заготовок із жароміцних нікелевих сплавів. Наведено основні типи дефектів, які притаманні процесу плазмового наплавлення жароміцних нікелевих сплавів, аналіз їх причин утворення та їх вплив на механічні властивості вирощених заготовок. Розглянуто ступінь впливу на мікроструктуру наплавленого металу та механічні властивості вирощених заготовок якості присадного порошку та параметрів адитивного процесу. На основі проведеного аналізу сформовано мету та завдання роботи.

У другому розділі представлена методика проведення дослідження якості порошку, вирощування зразків та їх дослідження, а також методика моделювання напружено-деформованого стану при мікроплазмовому порошковому наплавленні (МПН).

У третьому розділі були наведені результати аналітичного дослідження порошків, що виготовлений трьома різними способами з точки зору доцільності використання при МПН. Показано обмеженість застосування порошку, отриманого газовою атомізацією холодним струменем інертного газу із-за значного падіння властивостей міцності та пластичності. Показана можливість «заліковування» внутрішніх тріщин після МПН при застосуванні технологічного процесу ГП. Доведено, що застосування порошків, отриманих атомізацією холодним струменем інертного газу при вирощуванні заготовок обмежено обов'язковим використанням ГП для забезпечення щільності металу та необхідних механічних властивостей. Також наведені результати дослідження впливу активних газів на механічні властивості отриманих заготовок проведено дослідження на порошках різних плавлень. Доведено, що вміст у порошку активних газів має суттєвий вплив на тріщиностійкість і як наслідок на механічні властивості отриманих заготовок методом плазмового адитивного вирощування.

У четвертому розділі були наведені результати аналізу термдеформаційних процесів при адитивному МПН жароміцних сплавів для двох різних технологічних схем при наплавленні 10 шарів для траєкторій «змійка» і «зигзаг». На початку приведені основні поняття про напружено-деформований стан та методика моделювання напружено-деформованого стану з використанням математичного апарату методу

скінченних елементів для розв'язання задач про напружено-деформований стан зварних з'єднань. Під час моделювання процесу наплавлення враховували, як хімічний склад матеріалів основи (сталь класу С235) та наплавлених шарів (INCONEL 718) так і зміну теплофізичних і механічних властивостей цих матеріалів під час нагрівання та охолодження. Визначено закономірності керування формою наплавленого валика, обґрунтовано технологічні критерії вибору режимів адитивного багат шарового мікроплазмового порошкового наплавлення для адитивних технологій 3D-вирощування.

Для апробації одержаних результатів моделювання виростили 2 зразки з застосуванням коливальних рухів плазмотрона за 2-ма траєкторіями – «змійка» і «зигзаг» із сплаву ЕП 648 ИВ, що є аналогом сплаву IN718.

На основі результатів моделювання запропонована оптимальна схема технологічного процесу мікроплазмово-порошкового наплавлення по траєкторії «змійка».

У п'ятому розділі, враховуючи закономірності впливу характеристик порошків жаростійких нікелевих сплавів та способів їх виготовлення на структуру і властивості отриманих зразків, що отримані в розділі 3 та закономірності керування формою наплавленого валика, що отримані в розділі 4, були наведені результати впровадження у виробництво адитивного вирощування методом мікроплазмового порошкового наплавлення на підприємствах АТ «Мотор Січ» та АТ «Івченко-Прогрес». Була розроблена та втілена у виробництво технологія адитивного вирощування ремонту кожуха соплового апарата (СА) двигуна Д18Т, виготовлення заготовок кільця зовнішнього жарової труби зі сплаву ХН60ВТ-ВИ у складі двигуна АІ-450 та кільця зі сплаву ХН50ВМТЮБ-ВИ, що входить до складу турбіни двигуна АІ-222. Акти впровадження наведені у додатках А, Б та В.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 14 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 1 стаття у виданні, віднесеному до третього квартилю (Q3) і 1 стаття у виданні, віднесеному до четвертого квартилю (Q4) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports та 6 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

При підготовці дисертації автор неухильно дотримувався принципів академічної доброчесності. Публікації здобувача мають достовірну наукову базу та є результатом самостійних досліджень. Наукові положення та висновки дисертації, що виносяться на захист, належать здобувачу. Наукові результати досліджень, які описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В розділі 2, стор.66. «Зразки після вирощування піддавали термообробці за двома режимами (для деформованого стану)...». Що маєтсья на увазі для деформованого стану?

2. На рис.3.8., стор. 82 не вказано направлення виготовлення шліфа, але візуально це можна зрозуміти, що а,г, поперечний, б,в повздовжній.
3. В розділі.4. п.4.1-4.3. говориться про моделювання режимів зигзаг і змійка для IN718. Доцільно було б відмітити, що цей сплав є аналогом ЭП 648 ВИ, на якому здійснювалось випробування моделі.
4. На сторінці 142 іде мова про тріщини по межах зерен, а також про несплавлення, які ідентифіковані за допомогою фактографічного аналізу. Не зовсім ясно, чи є тріщини продовженням і наслідком цього несплавлення?

Однак, наведені зауваження не є визначальними та не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів роботи, не впливають на позитивну оцінку представленої дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вище наведене дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Чигілейчика Сергія Леонідовича на тему «Забезпечення механічних властивостей об'ємних виробів із жароміцних нікелевих сплавів, отриманих адитивним мікроплазмовим наплавленням для виробництва деталей авіаційних двигунів» виконана на високому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, а сукупність її теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Механічна інженерія. За своєю актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною представлена дисертаційна робота повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Здобувач Чигілейчик Сергій Леонідович повною мірою заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 – Матеріалознавство.

Рецензент:

канд. техн. наук, доцент кафедри
фізичного матеріалознавства
Національного університету
«Запорізька політехніка»

Олександр ГЛЮТКА
Підпис _____
ЗАСВІДЧУЮ
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



18.06.25