До спеціалізованої ради ДФ 17.052.001
В Національному університеті «Запорізька політехніка»
вулиця Жуковського, 64, Запоріжжя, Запорізька область, 69063

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Гнатенка Михайла Олеговича
«Удосконалення мікрометалургійних методів при отриманні авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 - «Металургія»,
галузь знань 13 – «Механічна інженерія».

1.Актуальність теми дисертації

Створення нових модифікацій авіаційних двигунів та ремонту вже відпрацьованих потребує розробки і використання разової технологічної ливарної оснастки, що в подальшій роботі з виробом не застосовується.

Виготовлення нових деталей традиційними методами, такими як лиття та обробка металів тиском мають ряд недоліків. Основні з них трудомісткість і вартість виробів. Крім того, досить часто реалізація конструкторського проекту потребує отримання деталі у найкоротші терміни. Одним із способів вирішення даної задачі є застосування технологій пошарового наплавлення, що дозволяє значно скоротити виробничі витрати на етапі створення нових деталей чи при ремонті, коли необхідно замінити певні деталі вузлів, за рахунок виключення з технологічного процесу низки технологічних операцій, наприклад, виготовлення прес форм та ливарної оснастки.

Тому робота, що спрямована на вдосконалення технології мікрометалургійного методу отримання авіаційних деталей з конструкційних алюмінієвих сплавів при одиничному виробництві та забезпечення їх нормативно-експлуатаційних властивостей на етапі конструкторсько-дослідницьких робіт, є актуальною.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі «Машини і технологія ливарного виробництва» НУ «Запорізька політехніка» в рамках науково-дослідної роботи «Розробка та дослідження імпортозамінних та ресурсозаощаджувальних технологій виробництва високоякісного литва з кольорових сплавів для авіадвигунів подвійного призначення (від 13.02.2019, державний реєстраційний номер 0119U100527), в якій автор був виконавцем.

2.Ступень обґрунтованості наукових положень висновків і рекомендацій

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатку. Робота викладена на 164 сторінках, включаючи 20 таблиці, 79 рисунків, список використаних джерел зі 141 найменування, а також двох додатків у вигляді акту дослідно-промислового опробування отриманих науково-технічних результатів у виробництві та у навчальній програмі.

Дисертаційну роботу написано грамотно, застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує достатній рівень доступності їх сприйняття та використання. Розроблені автором і викладені у дисертації наукові положення забезпечуються тим, що дисертантом було опрацьовано значну кількість сучасних літературних джерел результатів досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Експериментальну частину було виконано з використанням сучасного перевіреного обладнання у промислових умовах. Для математичної обробки отриманих в ході досліджень даних використовували методи аналізу із застосуванням сучасної техніки і програмного забезпечення. Статистичну обробку експериментальних даних виконували відповідно до стандартних методів.

Висновки і рекомендації автора є логічними і витікають з проведених досліджень структури, результатів механічних випробувань, кінцево-елементного моделювання.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження підтверджена їх апробацією у виробничих умовах АТ «Мотор Січ», що підтверджено актом випробування та на міжнародних науково-практичних конференціях.

У першому розділі дисертації представлений аналіз сучасних металургійних технологій отримання виробів відповідального призначення з алюмінієвих сплавів. Показана техніко-економічна недоцільність використання більшості традиційних технологій лиття при одиничному виробництві деталей промислових зразків. Зазначено, що скорочення часу виготовлення оснастки при запуску нового виробництва деталей з алюмінієвих сплавів, а також мінімізації впливу негативних чинників на якість заготовок при експериментальному і дослідному виробництві можна досягти використанням адитивних технологій, зокрема застосуванням технології пошарового наплавлення. Приведений аналіз сировини порошкової металургії, економічних тенденцій розвитку технології пошарового наплавлення у металургійній промисловості, порівняльний аналіз металургійних процесів наплавлення з алюмінієвих порошків і дротів. Сформульовані задачі роботи.

У другому розділі дисертації представлений опис використовуваних в роботі методів досліджень та обладнання. Для виконання поставлених завдань автор застосовував відомі методи досліджень хімічного складу, структури та властивостей сплавів. Для мікроплазмового наплавлення використовували напівавтомат PMI 500 TL та п'яти координатний верстат SWD 3000 (SBI, Австрія), для електродугового наплавлення - напівавтомат MagicWave 1700 з використанням робота FANUC, для CMT (Cold metal transfer) наплавлення - напівавтомат Trans Plus Synergic 2700 CMT з використанням робота MOTOMAN. Для математичної обробки отриманих експериментальних даних автор використовував методи кореляційного аналізу із застосуванням сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

В третьому розділі дисертації представлені результати досліджень різних методів металургійного вирощування: мікроплазмового наплавлення, CMT

процесу і методу електродугового наплавлення. Дослідження методів наплавлення проводили на прикладі двох сплавів у вигляді дроту – алюмо-магнієвого сплаву AlMg5, та алюмо-кремнієвого сплаву AlSi5, за такими властивостями як: хімічний склад, механічні властивості, структура наплавлених зразків. За результатами досліджень автором зроблений висновок, зокрема, про те, що серед розглянутих технологічних методів саме електродугове наплавлення є найбільш прийнятним методом наплавлення заготовок деталей у виробничих умовах.

В четвертому розділі дисертації приведені результати досліджень щодо розробки режимів і складу суміші захисних газів для отримання якісних виробів з алюмінієвих сплавів AlMg5 і AlSi5 з використанням електродугового методу вирощування. Досліджений вплив значень погонної енергії на механічні властивості алюмінієвих сплавів AlSi5 та AlMg5. Показано, що з підвищенням вмісту гелію у складі суміші зменшується значення максимальної допустимої погонної енергії, що, в свою чергу, дозволяє знизити вольт-амперні характеристики при наплавленні. Досліджено вплив значень погонної енергії на структурну складову алюмінієвих сплавів, зокрема: для сплаву AlSi5 підвищення значень погонної енергії до 80 Дж/мм забезпечує більш округлу і дрібну структуру і дозволяє зменшити відстань між гілками α-дендритів кремнію до 5 – 15 мкм; для сплаву AlMg5 збільшення погонної енергії дозволяє отримувати рівномірно розподілену структуру з підвищеною кількістю зміцнюючих фаз магнію. Автором встановлено, що при мінімальних значеннях погонної енергії вдається забезпечити механічні властивості алюмінієвих сплавів у межах вимог відповідних стандартів.

У п'ятому розділі дисертації представлені результати випробування запропонованої технології вирощування в умовах АТ «Мотор Січ» на прикладі авіаційної деталі «кришка редуктора». Приведені результати розрахунку напружено-деформованого стану деталі, що виготовлена з використанням методів адитивного виробництва з двох варіантів матеріалів дроту – алюмінієвого сплаву AlSi5 і сплаву алюмінію з магнієм AlMg5 у якості

присадкового матеріалу. Встановлено, що коефіцієнт запасу міцності сплаву AlMg5 достатній, щоб використовувати його замість МЛ10, маса заготовки може бути зменшена з 7,5 до 2,5 кг, витрати часу на виготовлення нової деталі зменшені у 2,5 рази.

Загальні висновки по дисертації відображують одержані автором результати, розкривають наукові та практичні досягнення.

3. Наукова новизна результатів досліджень

Найбільш вагомі наукові результати, що розкривають особистий внесок дисертанта у вирішення поставленої задачі та характеризують новизну дослідження полягають у наступному.

– Встановлені закономірності впливу трьох методів пошарового наплавлення, таких як CMT, плазмове наплавлення, та електро-дугове наплавлення на значущі властивості металу при отриманні деталей з алюмо-магнієвих та алюмо-кремнієвих сплавів. Найвищі механічні властивості сплаву AlMg5 дозволяє отримувати мікроплазмовий метод наплавлення ($\sigma_в$ = 275±5 МПа; $\sigma_{0,2}$ = 80±5, МПа; δ = 40±5 %). Для сплаву AlSi5 найвищі значення міцності та плинності досягаються методом CMT ($\sigma_в$ = 190±5 МПа; $\sigma_{0,2}$ = 120±5 МПа, δ = 30±5 %).

– Визначений ступінь впливу технологічних факторів на властивості алюмінієвих сплавів AlSi5, AlMg5, що дозволяють при мінімальних значеннях погонної енергії (35 кг/Дж) методом електродугового наплавлення забезпечити механічні властивості алюмінієвих сплавів у межах вимог встановлених відповідними стандартами, в тому числі, у сформованих тонких (до 3мм) стінках деталей.

– Визначений вплив складу захисної суміші на технологічну ефективність процесу електродугового наплавлення. Встановлено, що підвищення кількості гелію у складі суміші дозволяє знизити мінімально необхідне для розплавлення та отримання якісної структури металу значення погонної енергії, яке досягається при співвідношенні 70/30% захисного середовища суміші аргон-гелій.

4.Практична цінність результатів дослідження

Отримані в процесі дослідження висновки та результати є особистим внеском автора у впровадження технологій пошарового наплавлення та адитивного виробництва в авіаційну промисловість України.

Наукові положення, висновки та рекомендації автора були використані підприємством АТ «Мотор Січ» при створенні та впровадженні в роботу дільниці «Адитивного вирощування і плазмового наплавлення» в управлінні головного металурга.

5. Повнота відображення в опублікованих роботах наукових положень, висновків та результатів

Основні результати дисертації автора представлені в 10 наукових працях: 4 статті опубліковано у наукових фахових виданнях України, з них 1 стаття у виданні, що індексується у науково-метричній базі даних Scopus та 1 стаття – в іноземному виданні.

Апробацію результатів дисертації проведено на 5 міжнародних науково-практичних конференціях.

Вказані публікації, в цілому, відображають основний зміст дисертації, об'єм та характер проведених теоретичних та експериментальних досліджень.

6.Оцінка академічної доброчесності

Дисертаційна робота була написана автором самостійно, експериментальна частина роботи була проведена з залученням технічної бази підприємства АТ «Мотор Січ». На всі літературні джерела, якими користувався автор під час написання роботи, були проставлені посилання.

Наявність плагіату не виявлена.

7. Загальні зауваження по роботі

1. У літературному огляді автор наводить приклади проблем при виготовленні деталей з алюмінієвих сплавів традиційними способами лиття, до яких відносить, зокрема, вартість оснастки (кокілів, стрижнів, моделей, тощо) і наголошує, що метод пошарового наплавлення є менш затратним для виробництва даних деталей. Однак, автор порівнює ливарні технології для

серійного виробництва (лиття під тиском, кокільне лиття) з досліджуваним методом пошарового наплавлення, що може використовуватись лише для одиничного виробництва, тому дане порівняння є не зовсім коректним.

2. Автор наголошує на зменшенні кількості технологічних операцій при використанні методу пошарового наплавлення, однак у більшості випадків деталі виготовлені методом пошарового наплавлення мають досить грубу поверхню і потребують додаткової операції – обдирання.

3. Не зовсім зрозуміло, чому в Розділі 3, у якому автор порівнював три методи наплавлення: CMT, електро-дуговий та плазмовий, сам він обрав електро-дуговий метод, як більш придатний для застосування у промислових умовах, зважаючи на те, що методи плазмового наплавлення та CMT мають вищі значення отримуваних механічних властивостей металу.

4. Пропозиції автора використовувати сплав AlMg5, замість сплаву МЛ10 при виготовленні деталі «Кришка» є недостатньо аргументованими, зважаючи на відсутність в тексті роботи порівняння з конкретними вимогами до характеристик цієї деталі (властивості матеріалу, відповідність геометрії, шорсткість необроблюваної поверхні та ін.), що висуваються замовником. Окрім того, бажано було б привести оцінку впливу можливої фізико-хімічної неоднорідності сплаву виробу на його експлуатаційні характеристики.

5. В роботі не приведено розрахунків щодо економічної ефективності запропонованих варіантів технологічних процесів (наприклад, використовувана при пошаровому наплавленні сировина - дріт є значно дорожчою, ніж сировина у вигляді відходів алюмінієвих сплавів, що використовується при традиційних методах лиття).

6. Не зрозуміло, яким чином оцінювали рівень шпаристості у шарах наплавленого металу та розподіл шпаристості по об'єму отриманої деталі.

7. У тексті роботи присутні певні стилістичні помилки та вади оформлення: на стор. 4 «…дослідження хімічного складу визначалися рентген-флуоресцентним та рентгеноспектральним методами…», «…дослідження фізико-механічних властивостей встановлювали за допомогою розривних машин...»; в назві розділу 1

словосполучення «відповідальних виробів» треба було б замінити на «виробів відповідального призначення»; на рис. 4.11, 4.12, лист 2 вісь абсцис підписана російською, текст в полі рис. 5.18, 5.19 оформлений російською; зустрічаються помилки при розстановці знаків пунктуації.

8. Висновок

В цілому дисертаційна робота Гнатенка Михайла Олеговича «Удосконалення мікрометалургійних методів при отриманні авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів» становить собою самостійну завершену наукову розробку, має теоретичне і прикладне значення. Дисертаційна робота містить одержані автором науково обгрунтовані результати, що в сукупності дозволяють вирішити важливу задачу удосконалення технології пошарового наплавлення авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів при одиничному виробництві з забезпеченням необхідного рівня механічних властивостей та структурної стабільності.

Відмічені недоліки роботи не мають вирішального значення щодо формулювання наукової новизни.

Дисертація рекомендована до захисту у відповідності до постанови Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167 (Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії).

Виконана робота повною мірою відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 № 40 щодо дисертаційних робіт, а її автор, Гнатенко Михайло Олегович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 - «Металургія».

Офіційний опонент
Декан електрометалургійного факультету
Національної металургійної академії України,
доктор технічних наук, професор Вадим Селівьорстов

Підпис В.Ю. Селівьорстова засвідчую.

Секретар Вченої Ради Олег Потап