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

ВІДГУК

Офіційного опонента Михайла Михайловича Ворона, кандидата технічних наук Фізико технологічного інституту металів та сплавів НАН України на дисертаційне дослідження Гнатенка Михайла Олеговича на тему: «Удосконалення мікрометалургійних методів при отриманні авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів» представлене на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 «Металургія», галузь знань 13 – Механічна інженерія.

На розгляд офіційному опоненту були надані наступні матеріали:

-дисертація загальним об'ємом 164 сторінок машинописного тексту, що включає 147 сторінки основного тексту включаючи 20 таблиць, 79 ілюстрацій, список використаних джерел зі 141 найменування, а також додаток на 2 сторінках.

Актуальність теми дисертації. На сьогодні існують передумови створення нових модифікацій авіаційних двигунів з підвищеною надійністю та меншою масою. При виготовлені нових деталей традиційними методами литва постає проблема, пов'язана з недоцільністю створення разової оснастки, що є необхідною для відпрацювання технології, але в подальшій роботі з виробом не застосовується. Додаткові задачі, пов'язані зі створенням моделей, кокілів та прес-форм підвищують загальну трудомісткість, тривалість і вартість проектно-конструкторських та виробничих робіт. Тому актуальним є питання, пов'язане зі зменшенням частки оснастки, що є необхідною для відпрацювання технологій та одержання одиничних виробів. Розв'язати дану задачу можна за допомогою

впровадження мікрометалургійних технологій пошарового наплавлення металів та сплавів.

Механічні властивості сплавів, одержаних за допомогою таких методів, не поступаються, а у більшості випадків навіть перевищують на 10%, литі аналоги. При виготовленні деталей з алюмінієвих сплавів пошарове наплавлення дозволяє виключити з технологічного процесу етапи виготовлення моделей і прес-форм і, таким чином – реалізувати конструкторський проєкт в найкоротший час.

Загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатку.

У першому розділі автор розкрив техніко-економічні проблеми експериментального виробництва виливків, що виражається у внесенні змін до конструкції на етапі дослідно-проектних робіт, одиничному виробництві та недоцільності створення разового технологічного оснащення.

На підставі аналізу літературних джерел, для вирішення даної задачі, автор пропонує використовувати адитивні технології. Серед існуючих методів адитивного виробництва дисертант пропонує більш детально розглянути три методи пошарового наплавлення дротом: метод плазмового наплавлення, електродугового наплавлення, та CMT-методу (різновиду електродугового наплавлення з мікроконтролем над подачею дроту та імпульсом дуги).

У другому розділі автор описує матеріали та обладнання, що були використані в ході проведення експериментів, а також методики та методи аналізу, які застосовувались для дослідження властивостей і структури одержаних зразків.

У третьому розділі автор проводить аналіз трьох методів пошарового наплавлення дротом: плазмового, електродугового та CMT процесу. При цьому аналізуються такі показники, як продуктивність процесу, якість поверхні зразка, його хімічний склад, структурні параметри, значення

механічних властивостей. Дослідження відбувається шляхом виготовлення партій зразків з двох сплавів AlSi5 та AlMg5 (АК5 та АМг5).

За результатами досліджень у розділі 3 дисертантом було встановлено, що для плазмового методу наплавлення продувність складає 0,8 кг/год, для CMT-методу – 1,2 кг/год, а для електродугового методу – 3 кг/год.

Більш якісна поверхня забезпечується електродуговим методом наплавлення. На що вказує мінімальний виступ наплавлених шарів до 0,5 мм.

Кожний з досліджуваних методів дозволив отримати хімічний склад і механічні властивості у межах ISO 18273 для обох сплавів.

Найвищі показники механічних властивостей для сплаву AlMg5 мали зразки, одержані методом мікроплазмового наплавлення ($\sigma_в$ = 274МПа; $\sigma_{0,2}$ = 154 МПа; δ = 30,4%), значення яких відповідають показникам деформованих плит зі сплаву АМг5.

Для сплаву AlSi5 найвищі значення межі міцності та плинності мають зразки, вирощені методом CMT $\sigma_в$ = 190 МПа; $\sigma_{0,2}$ = 120; МПа; Найвищі значення відносного подовження мають зразки вирощені електродуговим наплавленням δ = 30,4 %.

Враховуючи дані попереднього аналізу технологічних процесів, дисертантом було обрано метод електродугового наплавлення як найбільш оптимальний для подальшого вдосконалення.

У четвертому розділі автор провів дослідження спрямоване на підвищення стабільності електричної дуги та підвищення властивостей сплавів AlSi5 та AlMg5 за рахунок підбору складу захисного газу – суміші аргону та гелію в співвідношенні від 10% до 50% з кроком 10%.

Дисертантом встановлено, що з підвищенням вмісту гелію у складі суміші від 10% до 50%, зменшується значення максимальної допустимої погонної енергії з 95 Дж/мм до 80 Дж/мм, що дозволяє знизити вольт-амперні характеристики при наплавленні металу. Досліджено вплив значень погонної енергії на структурну складову алюмінієвих сплавів: для сплаву AlSi5 підвищення значень погонної енергії до 80 Дж/мм забезпечує більш

дрібнозернисту структуру із зернами округлої форми та дозволяє зменшити відстань між гілками α-дендритів і частинками кремнію до 5 – 15 мкм; для сплаву AlMg5 збільшення погонної енергії дозволяє отримувати рівномірну структуру зразків з одночасним підвищенням зміцнюю чого ефекту від магнію.

У п'ятому розділі було проведено випробування удосконаленого процесу пошарового наплавлення, на прикладі виготовлення деталі «Кришка редуктора».

Також було виконано розрахунок напружено-деформованого стану виготовленої деталі, завдяки чому встановлено, що коефіцієнт запасу міцності сплаву AlMg5 дорівнює 3,4 та є достатнім, щоб використовувати його замість МЛ10 (4) при виготовленні «Кришки Редуктора», оскільки навантаження, що діє на деталь не перевищує 1200 Н.

Шляхом можливості отримувати заготовку меншого розміру, (розмір припуску зменшився у середньому з 5 до 3 мм) та завдяки відсутності відходів на литниково-живильну систему, маса заготовки була зменшена втричі – з 7,5 до 2,5 кг.

У висновках викладені найбільш важливі наукові та практичні результати, одержані в дисертаційному дослідженні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна в теоретичному та науковому аспектах підтверджується використанням методів системного аналізу, застосуванням сучасного обладнання для проведення мікроструктурного аналізу, рентгеноспектрального аналізу, холодних та короткочасних жароміцних механічних випробувань, фрактографічного аналізу та методів математичного моделювання напружено-деформованого стану отриманих деталей.

В практичному значенні важливість роботи підтверджується актом випробування у виробництві та тим фактом, що результати досліджень лягли

в основу створення дослідно-експеременталної дільниці «Адитивного вирощування та плазмового наплавлення» на базі АТ «Мотор Січ».

Наукова новизна роботи полягає у синтезі нових підходів пов'язаних з удосконаленням технології процесу пошарового електродугового наплавлення алюмінієвих сплавів, які включають:

Вперше проведений порівняльний аналіз та встановлені закономірності впливу технологічних параметрів мікрометалургійних методів пошарового наплавлення дротом з використанням мікроплазмового, електродугового, CMT методів нагріву, на хімічний склад, структуру і механічні властивості сплавів AlSi5, AlMg5. 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 %). Однак, кожен з трьох методів дозволяє отримувати хімічний склад і механічні властивості матеріалу в межах ТУ для даних сплавів.

Отримали подальший розвиток зображення механізмів впливу технологічних факторів на властивості алюмінієвих сплавів AlSi5, AlMg5, які дозволяють при мінімальних значеннях погонної енергії (35 кг/Дж), методом електродугового наплавлення забезпечити механічні властивості алюмінієвих сплавів у межах вимог встановлених відповідними стандартами, що дає можливість формувати тонкі стінки (до 3 мм) сегментів деталей, без витрат коефіцієнту міцності.

Вперше показано вплив захисної суміші на технологічний процес електродугового наплавлення. Встановлено, що підвищення кількості гелію у складі аргону дозволяє знизити мінімальне значення погонної енергії, необхідне для розплавлення металу та отримання якісної структури металу, яке досягається при співвідношенні 70/30% захисного середовища суміші аргон-гелій.

Отримані нові уявлення про розвиток мікрометалургійних процесів наплавлення силумінів й складову алюмінієвих сплавів. Підвищення значень

погонної енергії до 80 Дж/мм дозволяє отримувати округлену і дрібну структуру, а також забезпечує зменшення відстані між гілками α–дендритів кремнію до 5–15 мкм, для сплаву AlSi5, в порівнянні з литими аналогами. Для сплаву AlMg5 збільшення погонної енергії дозволяє отримувати рівномірно розподілену структуру з підвищеною кількістю зміцнюючих фаз магнію, в порівнянні з аналогом отриманим методом гарячого штампування алюмомагнієвих сплавів.

Повнота викладення дисертаційної роботи у наукових фахових виданнях

Достовірність наукових положень дисертації підтверджується публікаціями та виступами на наукових конференціях.

Матеріали дисертації повно викладені у 10 наукових працях. 4 статті здобувача опубліковано у наукових фахових виданнях України, 2 статті– у виданнях, що входять до міжнародних науко-метричних баз даних. Апробацію дисертаційної роботи представлено тезами доповідей у збірниках матеріалів Міжнародних науково-практичних конференцій, одна з яких входить до науко-метричної бази даних Scopus.

Зауваження до дисертації: викладені вище думки свідчать про високий науковий рівень роботи та її відповідність вимогам і якості, що пред'являються до робіт, які подаються на здобуття наукового ступеня «доктор філософії». Однак, слід відмітити декілька зауважень до даної роботи:

1. В першому розділі роботи, автор використовує наступні терміни: «пошарове наплавлення, адитивне виробництво, мікрометалургійне пошарове наплавлення, вирощування», маючи на увазі один й той самий процес. Вважаю доречним обрати один найбільш точний термін, і використовувати його в дисертаційній роботі.

2. В третьому розділі наведено мало обґрунтувань, чому автор обрав саме три процеси для порівняння. Можливо варто було розглянути також методи з використанням лазерного джерела нагріву та металевих порошків.

Подібне зауваження стосується і матеріалів для проведення досліджень. Сплави AlSi5 та AlMg5 не э поширеними в авіаційній промисловості, щоб на їх прикладі впроваджувати новий процес.

3. У третьому розділі (с. 55) зазначається, що в структурі наплавленого сплаву AlMg5 наявна магнієва евтектика, яка розташовується по межах зерен. Це твердження є спірним та вимагає уточнення, враховуючи дуже високу розчинність магнію в алюмінії та відсутність в дослідженнях даних локального хімічного аналізу вказаних структурних областей.

4.У п'ятому розділі немає чіткого акценту, що деталі були виготовлені саме на удосконаленому автором процесі електродугового наплавлення. Не є зрозумілим, що заважало виготовити дану деталь методом плазмового чи CMT наплавлення.

5. Автор проводить дослідження сплаву AlSi5, протягом трьох розділів, проте не зовсім зрозуміло, з якою метою. Оскільки коефіцієнт даного сплаву 2,6, що нижче коєфіцієнту сплава МЛ10 – 4,0 який автор пропонував використовувати у якості заміни.

Загальний висновок

Дисертаційну роботу «Удосконалення мікрометалургійних методів при отриманні авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів» виконано на високому науково-технічному рівні. Вона містить важливі вирішені наукові та практичні задачі – удосконалення технології мікрометалургійного методу отримання авіаційних деталей з конструкційних алюмінієвих сплавів при одиничному виробництві та забезпечення їх нормативно-експлуатаційних властивостей на етапі дослідно-конструкторських робіт.

Дисертаційна робота «Удосконалення мікрометалургійних методів при отриманні авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів» є завершеним науковим дослідженням, яке за обсягом виконаних досліджень, їх новизною та практичною значимістю одержаних результатів відповідає вимогам до робіт, висунених на здобуття наукового ступеня «доктора філософії» згідно

постанови Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167 (Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії). Напрям проведеного дослідження відповідає паспорту спеціальності 136 «Металургія».

Все вищесказане дає підстави вважати, що дисертаційну роботу виконано на високому науковому рівні, а її автор Гнатенко Михайло Олегович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 «Металургія», галузь знань 13 – Механічна інженерія.

Офіційний опонент,
к.т.н., ст. наук. співр.
ФТІМС НАН України М. М. Ворон

Підпис М.М. Ворона засвідчую
Вчений секретар ФТІМС НАН України
к.т.н., ст. наук. співр. В.Л. Лахненко

Національна академія наук України
ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ
Ідентифікаційний код 05417153
м. Київ