

ВИСНОВОК

Про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Гнатенка Михайла Олеговича на тему «Удосконалення мікрометалургійних методів при отриманні авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів», яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія», за спеціальністю 136 «Металургія».

Ми рецензенти, Цивірко Е.І. і Кудін В.В., розглянувши дисертацію та наукові публікації, у яких висвітлено основні наукові результати дисертації, а також за результатами фахового семінару, проведеного на кафедрі машини і технології ливарного виробництва, дійшли такого висновку:

1. Дисертаційна робота Гнатенка Михайла Олеговича «Удосконалення мікрометалургійних методів при отриманні авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів» є завершеною науково-дослідною роботою, направленою на вирішення науко-практичного завдання: удосконалення технології методу пошарового наплавлення авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів, з метою зниження їх собівартості на етапі науково-конструкторських робіт та при одиничному виробництві зі збереженням рівня властивостей міцності та забезпеченням структурної стабільності.

Мета, яка сформульована в роботі, відповідає обраному напрямку дослідження, отримані результати мають наукову новизну та сприяють досягненню мети.

2. Наукова новизна результатів, що визначають ступень і характер новизни досліджень полягають у наступному:

- вперше проведено порівняльний аналіз та встановлено закономірності впливу технологічних параметрів мікрометалургійних методів пошарового наплавлення дротом з використанням мікроплазмового, електродугового, СМТ методів нагріву, на хімічний склад, структуру і механічні властивості

сплавів AlSi5, AlMg5. Найвищі механічні властивості сплаву AlMg5 дозволяє отримувати мікроплазмовий метод наплавлення ($\sigma_B = 275 \pm 5$ МПа; $\sigma_{0,2} = 80 \pm 5$ МПа; $\delta = 40 \pm 5$ %). Для сплаву AlSi5 найвищі значення міцності та плинності досягаються методом СМТ ($\sigma_B = 190 \pm 5$ МПа; $\sigma_{0,2} = 120 \pm 5$ МПа, $\delta = 30 \pm 5$ %). Однак, кожен з трьох методів дозволяє отримувати хімічний склад і механічні властивості матеріалу в межах ТУ для даних сплавів.

- отримали подальший розвиток уявлення про механізми впливу технологічних факторів на властивості алюмінієвих сплавів AlSi5, AlMg5, які дозволяють при мінімальних значеннях погонної енергії (35 кДж), 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.

Основні результати дисертації представлено у 10 наукових працях. Всі статті здобувача опубліковано у наукових фахових виданнях України (статті 3, 4, 5, 6 в спеціалізованих виданнях, що входять до переліку фахових видань, статті 1, 2 – у виданнях, що входять до науково-метричних баз даних: Web of Science, Google Scholar, Index Copernicus, Scopus^{1,2}), тези доповідей у збірниках матеріалів Міжнародних науково-практичних конференцій,^{7,8,9,10}. Усі наукові результати дисертації одержано автором самостійно.

У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати:

- у роботі 1 проведено металографічний та структурний аналіз наплавлених зразків;
- у роботі 2 проведено аналіз оптимального співвідношення захисних газів аргон-гелій при наплавленні;
- у роботі 3 проведено літературний огляд, металографічний, рентгеноспектральний аналіз наплавлених зразків;
- у роботі 4 проведений літературний огляд та порівняльний аналіз отриманих даних мікрорентгеноспектрального аналізу;
- у роботі 5 розраховано та побудовано графічні закономірності впливу співвідношення газів аргон-гелій на значення погонної енергії;
- у роботі ⁶ проведено розрахунок напружено-деформованого стану та розрахунок міцності деталі отриманої методом наплавлення, побудовано кінцево-елементну модель деталі.
- - у роботах 7-10 розробка методики експериментів, підготовки робіт до друку, презентація результатів робіт.

1 М. Gnatenko, P. Zhemaniuk, I.Petrik, S. Sakhno, S. Chigileichik, V. Naumyk, O. Ovchinnikov, M. Matkovska Detecting the influence of heats sources on material properties when prodaction a aviation parts by a directenergy deposition method. *Eastern–european journal of enterprise technologies*. 2019. 1/12(97). P. 49 – 54.

2 Gnatenko, M., Naumyk, V., Matkovska M. Influence of sources of heating and protective gases on the properties of the material obtained by the direct deposition. *Materials Science and Technology*. 2019. P. 68 – 74.

3 Гнатенко М.О. Марченко Ю.А. Митина Т.И. Оценка возможности изготовления и ремонта деталей методом аддитивных технологий из алюминиевых сплавов. *Процессы литья*. 2018. №4 (130). С. 56 – 61.

4 И.А. Петрик, А.В. Овчинников, М.О. Гнатенко и др. Оценка возможности применения технологи послойного формирования способом плазменной наплавки деталей из титановых сплавов узлов вертолетов ГТД. *Титан 2018 Производство и применение в Украине*. 2018. С. 114 – 116.

5 Гнатенко М.О. Виявлення впливу джерел нагріву і захисних газів на властивості матеріалу під час виготовлення авіаційних деталей методом прямого вирощування. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2019. №3(86). С. 33 – 36.

6 Гнатенко М.О., Наумик В.В. Прочностной расчет авиационной детали крышки редуктора, полученный методом адитивного выращивания. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. №1. 2019. С. 74 – 78.

7 Гнатенко М.О. и др. Изготовление литейной оснастки для лиття по выплавляемым моделям с применением аддитивных технологий. Тезисы докладов X Международные молодежные научно–технические чтения А.Ф. Можайского №1. 2017. С.110–112.

8 Гнатенко М.О. и др. Оценка возможности изготовления авиационных деталей методом плазменной наплавки из алюминиевых сплавов. Тезисы докладов XI Международные молодежные научно–технические чтения А.Ф. Можайского №1. 2018. С. 128 – 130.

9 Гнатенко М.О. и др. Оценка возможности изготовления авиационных деталей из алюминиевых сплавов методом плазменной наплавки. Тезисы докладов X Міжнародна науково–технічна конференція №1 Нові матеріали і технології в машинобудуванні 2018. №1 2018. С. 44-45.

10 Гнатенко М.О. и др. Влияние методов адитивного выращивания на свойства материала при изготовлении авиационных деталей. Тезисы докладов XII Международные молодежные научно–технические чтения А.Ф. Можайского №1 2019 С. 128 – 129.

Дисертація виконана автором самостійно і базується на результатах досліджень, що опубліковані. Автор узагальнив результати досліджень і провів апробацію технічних рішень.

4. Теоретичне значення результатів дисертації.

Теоретичне значення роботи полягає в тому, що сформульовано новий підхід до опису процесів пошарового наплавлення дротом, створені нові технологічні засади використання процесу електродугового багат шарового наплавлення при виготовленні авіаційних деталей. Виявлені нові закономірності впливу додавання гелію до складу захисного газу аргону на якість наплавлення сплавів AlMg5 та AlSi5.

5. Практичне значення результатів дисертації

Практичне значення результатів дисертації обумовлено тим, що на основі досліджень закономірностей та особливостей впливу основних факторів на якість авіаційних деталей з алюмінієвих сплавів створені нові технологічні процеси і обладнання:

- розроблені нові технічні режими для отримання деталей методом адитивного виробництва, що забезпечують оптимальний рівень механічних властивостей, для сплавів AlSi5, AlMg5, при виготовленні авіаційної деталі «кришка редуктора».

- проведено випробування отримання авіаційних корпусних деталей методами пошарового наплавлення. Отримана практична цінність застосування технології пошарового наплавлення, яка забезпечує такі переваги, – як скорочення часу на виробництво нових деталей, наприкладі кришки з 6 місяців – традиційними методами виготовлення, та із застосуванням адитивного вирощування – до 7 днів. При серійної технології з 2–3 днів, до 8 годин.

- при апробації методів пошарового наплавлення у промислових умовах встановлено, що електродуговий метод наплавлення має найвищу продуктивність серед розглянутих, що дозволяє отримувати до 2 кг/год металу. Застосування методу WAAM дає можливість отримати заготовку деталі в найкоротші терміни шляхом виключення операцій розробки та виготовлення ливарного оснащення, що дозволяє знизити собівартість виробів. Таким чином, промислове використання методу WAAM для виготовлення заготовок з силумінових і магналієвих сплавів – є не тільки технологічно можливим, а й економічно обґрунтованим.

- доведено, що методи пошарового наплавлення дозволяють отримувати вироби, що задовольняють нормам ТУ для авіаційних деталей. Властивості матеріалу мають технологічні параметри ($\sigma_b = 275 \pm 5$ МПа, $\sigma_{0,2} = 80 \pm 5$, $\delta = 40 \pm 5$ %) на рівні литих заготовок і близькі до рівня міцності деформованих плит.

- у ході проведення роботи, для розробки технології отримання дослідних зразків та заготовок деталей були розроблені програми руху робота за координатами, що дозволяють виготовляти зразки з будь-якого матеріалу.

- проведено випробування методу WAAM при виготовленні деталі «Кришка редуктора» зі сплавів AlSi5 і AlMg5.

- для підтвердження надійності наплавленої деталі, було проведено розрахунок напружено-деформованого стану вирощеного виробу, в результаті чого було встановлено, що вирощені деталі мають необхідний запас коефіцієнту міцності, який відповідає технічним вимогам. А також було проведено порівняння отриманих результатів з результатами промислових випробувань.

- результати роботи лягли в основу створення і впровадження «Експериментальної дослідно-виробничої ділянки адитивного вирощування і наплавлення» в складі управління головного металурга на підприємстві «Мотор Січ», що підтверджено актом апробації.

Всі наукові результати, що виносяться на захист отримані здобувачем самостійно. Поршень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не виявлено.

Дисертація відповідає вимогам передбаченим пунктом 10 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167, і рекомендується до захисту у спеціалізованій вченій раді.

Рецензенти:

д.т.н., професор
кафедри Машини і технології
ливарного виробництва
НУ «Запорізька Політехніка»

Е.І. Цивірко

к.т.н., доцент
кафедри Машини і технології
ливарного виробництва
НУ «Запорізька Політехніка»

В.В. Кудін

Підписи рецензентів Цивірка Е.І і Кудіна В.В. посвідчую.

Вчений секретар
НУ «Запорізька Політехніка»



В.В. Кузьмін