

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора ГЛУШКОВОЇ Діани Борисівни на дисертаційну роботу ФРОЛОВА Романа Олександровича на тему: «Підвищення механічних властивостей вторинних силумінів комплексною технологією модифікування», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство»

Актуальність теми досліджень

Тема дисертаційної роботи є надзвичайно актуальною в контексті сучасного матеріалознавства, зокрема, щодо використанні алюмінієвих сплавів. Ці сплави є одними з найбільш затребуваних конструкційних матеріалів завдяки їхнім унікальним властивостям, таким як мала густина, висока корозійна стійкість, хороші механічні характеристики та технологічність. Вони широко застосовуються в таких галузях, як автомобілебудування, авіація, будівництво, електротехніка та виробництво побутової техніки. З огляду на зростаючі вимоги до міцності, довговічності та економічності матеріалів, постає необхідність у розробці нових або вдосконаленні існуючих технологій виробництва ливарних алюмінієвих сплавів.

Одним з найбільш ефективніших методів підвищення експлуатаційних властивостей алюмінієвих сплавів є модифікування. Воно дозволяє регулювати структуру металу, зокрема зернистість, форму та розмір евтектичних фаз, що суттєво впливає на механічні характеристики, такі як міцність, пластичність і твердість. Крім того, модифікування сприяє поліпшенню ливарних властивостей, таких як рідкотекучість, зменшення пористості та ліквідаційних дефектів.

Актуальність досліджень у цій сфері зумовлена такими факторами:

1. Потреба в енергоефективності. У сучасних умовах зростає попит на легкі, міцні матеріали, які сприяють зниженню енергоспоживання, наприклад, у транспортних засобах.

2. Розвиток сучасних технологій. Вдосконалення методів модифікування, зокрема використання наноматеріалів, інноваційних лігатур та комбінованих модифікаторів, відкриває нові можливості для створення сплавів із заданими характеристиками.

3. Підвищення конкурентоспроможності продукції. Використання модернізованих сплавів дозволяє виробникам пропонувати більш якісні та довговічні вироби, що є ключовим у глобальній конкуренції.

4. Екологічні виклики. Розробка ефективних методів обробки сплавів із мінімальними втратами металу та впливом на довкілля відповідає вимогам сталого розвитку.

Таким чином, модифікування ливарних алюмінієвих сплавів є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої сприятиме створенню матеріалів нового покоління з поліпшеними властивостями, розширенню сфер їхнього застосування та задоволення сучасних потреб промисловості. У зв'язку з цим, дисертація здобувача Фролова Р.О. є своєчасною та актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Основні етапи роботи виконувалися в рамках господарчо-договірних робіт N2914 "Підвищення фізико-механічних властивостей алюмінієвих сплавів для фасонного лиття деталей відповідального призначення" між Запорізьким національним технічним університетом та АТ "МОТОР СІЧ". Окремі дослідження дисертації виконувалися відповідно до плану науково-дослідних робіт НУ "Запорізька політехніка" ДБ N02918 "Розробка процесів нано- та мікрomodифікування конструкційних матеріалів" та ДБ N02911 "Дослідження та підвищення механічних, технологічних та службових властивостей конструкційних матеріалів", у яких автор був виконавцем за тематичними планами в період з 2018 по 2024 роки.

Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків та додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, наведено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, представлено загальну характеристику роботи, структуру та обсяг дисертації. Надано відомості про впровадження результатів роботи, апробацію, особистий внесок автора, а також публікації за темою дисертації.

У **першому** розділі проаналізовано сучасний стан проблеми та найпопулярніші, на сьогоднішній день, шляхи її вирішення у технічній та науковій літературі; описано основи механізмів впливу на структуру та властивості алюмінієвих сплавів; обґрунтовано доцільність вибору методів модифікування та типів модифікувальних присадок. На основі виконаного аналізу та досліджень, сформульовано мету та завдання дослідження. Узагальнення представлених даних дозволило побудувати міцну методологічну базу, яка стане основою для проведення подальших експериментів та аналізу отриманих результатів, теоретичних і практичних розробок, представлених у наступних розділах дисертації.

У **другому** розділі описано методику проведення досліджень; обґрунтовано вибір матеріалів та експериментальних методів дослідження. Для вирішення поставленої практичної задачі було використано: спектрометричний, оптичний, рентгено-спектральний, рентгеноструктурний, фрактографічний аналізи.

У **третьому** розділі наведено результати удосконалення технології переробки брухту та відходів сплавів АК7ч та АЗ56.2 за допомогою модифікування. Досліджено вплив модифікувальних комплексів K_2ZrF_6 та МК-1 на їх структуру і механічні властивості; розглянуто можливість використання вторинної сировини для виготовлення деталей відповідального призначення; проведено оптимізацію кількості застосовуваних модифікувальних таблетованих препаратів та надано рекомендації, щодо їх застосування.

Четвертий розділ присвячений розробці технології отримання та застосування дрібнокристалічної шихти з метою підвищення якості вторинних сплавів; визначено параметри рекомендованої структури дрібнокристалічної шихти та її вплив на якість виливків; досліджено комплексний вплив дрібнокристалічної шихти, модифікувального комплексу МК-1 на вторинний сплав АК7ч з різною концентрацією

заліза від 0,159 до 1,841 мас. %; отримано рівняння, які описують залежності границі міцності, відносного видовження та твердості від кількості доданої дрібнокристалічної шихти, застосованого модифікувального комплексу та концентрації заліза в сплаві; доведено, що при комплексному поєднанні модифікувальних впливів, можливо отримувати стабільно високий рівень механічних властивостей для вторинних сплавів АК7ч, на відміну від окремо застосовуваних методів. За результатами роботи розроблено та впроваджено у виробництво технологічну інструкцію «Технологія отримання дрібнокристалічної шихти алюмінієвих сплавів».

П'ятий розділ присвячено промисловій апробації, отриманої автором комплексної технології, в умовах серійного виробництва; показано, що розроблена комплексна технологія, проста у впровадженні і дозволяє ефективно впливати на структуру і механічні властивості виливків, стабільно забезпечувати рівень вимог ДСТУ 2839-94, що висуваються до первинних сплавів; намічено шляхи подальших досліджень з підвищення механічних властивостей деталей, а саме, застосування додаткового тиску під час кристалізації виливка.

У **висновках** висвітлено основні положення роботи.

У **додатках** наведено посилання на затверджені та погоджені з підприємством АТ «МОТОР СІЧ» плани проведення досліджень, технологічну інструкцію, розрахунок очікуваної економічної ефективності та акти впровадження.

Наукова новизна дисертаційної роботи

У роботі отримано нові наукові результати та твердження. Вважаю, що такими новими результатами, отриманими Фроловим Р.О. є:

- Підтвердження, що необхідна для покращення якості вторинних силумінів АК7ч та А356.2 кількість модифікувального комплексу МК-1 визначається здебільшого початковою концентрацією заліза в сплавах.
- Встановлення характеристик сприятливої мікроструктури дрібнокристалічної шихти (розмір зерен α -твердого розчину у середньому 10...15 мкм, розмір евтектичного кремнію і інтерметалідних включень 1...2 мкм), що виготовлена за експериментальною технологією нагартувального отвердіння для подальшого застосування з метою підвищення механічних властивостей виливків.
- Вперше показано, що під впливом саме спадкового модифікування вторинного сплаву АК7ч дрібнокристалічною шихтою, відбуваються зміни його мікроструктури, які супроводжуються зменшенням розміру зерен α -твердого розчину, евтектичного кремнію інтерметалідних фаз.
- Одержані нові регресійні залежності, що описують вплив концентрації заліза у сплавах, вмісту дрібнокристалічної шихти у вихідних матеріалах і кількості модифікувального комплексу МК-1 на механічні властивості виливків.
- Розширено уявлення про процеси структуроутворення при кристалізації вторинного сплаву АК7ч під дією комплексного оброблення із залученням хімічних та фізичних методів впливу на розплав.

Оцінка змісту та оформлення дисертації. Дисертаційна робота написана українською мовою. В роботі використаний науковий стиль та загальноприйнята термінологія. Робота виконана в чіткій логічній послідовності відповідно до поставлених мети та задач досліджень.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів, висновків та рекомендацій

Автором дисертаційної роботи виконано аналіз існуючих рішень поставленої науково-практичної задачі, здійснено комплексне теоретичне та практичне обґрунтування шляхів її розв'язання. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій, що викладено у дисертаційній роботі, досягаються ретельним проведенням багатофакторного дослідження. Коректне використання методів досліджень підтверджується результатами чисельних експериментів, а також практичними результатами, які відображено в актах впровадження. Практична реалізація та впровадження теоретичних результатів дисертаційної роботи підтверджує достовірність отриманих автором результатів.

Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Наукові результати, отримані в дисертації, можуть бути використані для розв'язання практичних задач. Зокрема, це стосується проблематики утилізації відходів виробництва.

Запропонований Фроловим Р.О. підхід до модифікувального оброблення розширює номенклатуру алюмінієвих сплавів, які можливо використовувати для виготовлення виливків відповідального призначення, за умови забезпечення високого рівня показників механічних властивостей.

Одержані в дисертаційній роботі результати використано у процесі виготовлення деталей типу диск, які проводились у ливарному цеху №1 АТ «МОТОР СІЧ», що підтверджено відповідним актом впровадження. Результати також впроваджено Національним університетом «Запорізька політехніка» в навчальний процес при викладанні дисциплін «Технологія конструкційних матеріалів», «Технологія виробництва та обробки матеріалів», «Кольорові метали та сплави», «Деталі машин», а також під час виконання студентами лабораторних, практичних, бакалаврських і магістерських робіт.

Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи

За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, у тому числі 7 статей у наукових фахових виданнях з технічних наук, з них 1 - праця у журналі країни ЄС; 4 тез та матеріалів конференцій.

Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на міжнародних та міжвузівських конференціях та науково-технічних читаннях.

Оформлення дисертації та автореферату

Автореферат дисертації достатньо інформативний, його зміст повністю відповідає змісту дисертаційної роботи. Текст дисертації написано грамотною технічною мовою. Дисертація та автореферат викладені логічно, послідовно та коректно. Оформлення автореферату та дисертації відповідає вимогам, що висуваються Міністерством освіти і науки України.

Зауваження до дисертаційної роботи

Незважаючи на загальне позитивне враження від роботи, є декілька зауважень

- 1) В роботі відсутній патент на корисну модель або авторське свідоцтво.
- 2) У третьому розділі не представлено мікроструктури вихідної шихти.

3) В четвертому розділі роботи відсутні мікроструктури центральної точки матриці планування експерименту, яка найбільше наближена до оптимальної технології виробництва.

4) У п'ятому розділі застосовується термічна обробка за режимом T5 (гартування + неповне штучне старіння) хоча у четвертому розділі рівняння отримані для термічної обробки за режимом T6 (гартування + повне штучне старіння), чим це пояснюється і наскільки коректно порівнювати між собою такі результати?

5) Відсутні індикаторні лінійки масштабу на деяких рисунках структур, наприклад, рисунок 4.11?

6) У Додатку В представлено лише титульну сторінку розробленої технологічної інструкції, чому не наведено повний її текст?

7) Виникають деякі сумніви щодо економічного розрахунку, що представлений у додатку Г, а саме ціни вторинного сплаву АК7ч у 50000 грн/т та розмитий діапазон зниження ціни кінцевої продукції у 20...30 % зазначений у висновках.

8) У роботі зустрічаються синтаксичні та стилістичні помилки.

Вважаю, що відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, так як робота має завершеність, а одержані нові наукові результати доцільні до впровадження у виробництво.

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Фролова Р.О. «Підвищення механічних властивостей вторинних силумінів комплексною технологією модифікування» є завершеним науковим дослідженням, в якому розв'язана актуальна науково-технічна задача.

Наукова і практична цінність розробок, новизна рішень і значимість висновків дають підставу вважати, що дисертація Фролова Р.О. відповідає сучасному рівню вимог, що ставляться до кандидатських дисертацій. Логічна цілісність матеріалу та його зміст дозволяють зробити висновок, що дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 –Матеріалознавство, положенню про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань» з урахуванням змін за п. 1, затверджених Постановою Кабінету Міністрів України від 19 травня 2023 р. № 502 «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань підготовки та атестації здобувачів наукових ступенів», а її автор - Фролов Роман Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеню кандидата технічних наук.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри технології
металів та матеріалознавства
ім. О.М. Петриченка
Харківського національного
автомобільно-дорожнього
університету

Діана ГЛУШКОВА



8x N 4 sig 20.02.25