

**Петришин М.М.², Сезоненко А.Ю.¹, Колесніченко А.А.¹,
Мартинчук В.Є.¹, Лук'яненко І.В.², Биба Є.Г.²,
Ромашкіна М.Ю.², Ямшинський М.М.², Барабаш М.Ю.^{1,2,3}
(¹ТЦ НАН України; ²КПІ ім. Ігоря Сікорського; ³ІГ НАН України, Київ)
**ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ АЛЮМІНІЄВОГО
СПЛАВУ Al-Si-Cu, ОТРИМАНОВОГО ШЛЯХОМ ПРИКЛАДАННЯ
ДОДАТКОВОГО ТИСКУ НА РОЗПЛАВ ПРИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ**
E-mail: mbarabash@nasu.kiev.ua**

Сучасна техніка висуває високі вимоги до комплексу властивостей матеріалів під час їх виробництва та експлуатації. Актуальним завданням фізичного матеріалознавства є подальше вдосконалення вже існуючих і розробка нових алюмінієвих сплавів для різних галузей машинобудування. Тому створення нових високоміцних ливарних сплавів алюмінію, які успішно замінюють, наприклад, у транспортній галузі, сталь та чавун, є вкрай важливим [1-7]. Певний інтерес представляють модифікатори, які впливають на розміри первинного зерна і форму вкраплень евтектичного кремнію. Встановлено, що процеси модифікування не змінюють хімічного складу сплаву, а сприяють зміні величини і форми структурних складових [8, 9]. У теперішній час для різних галузей промисловості характерна тенденція збільшення попиту на напівфабрикати з алюмінієвих сплавів, що деформуються, особливо зі сплавів системи Al-Si-Cu. Відомо [10], що найкращі ливарні властивості мають сплави на основі системи (Al-Si-Cu), однак навіть у найбільш високоміцного сплаву цієї групи АК8МЗч (ВАЛ8) межа міцності $\sigma_b \leq 350$ МПа, що не відповідає сучасним вимогам. Суттєвим недоліком більшості сплавів є низькі ливарні властивості, що заважає отримувати вироби складної форми методом лиття. Тому актуальними є дослідження, які присвячені розробці нових багатокомпонентних ливарних сплавів алюмінію із вдалим поєднанням механічних та ливарних властивостей. Такі сплави мають задовольняти низці критеріїв: мати достатню кількість евтектики сприятливої морфології, яка формується безпосередньо після кристалізації чи термічної обробки, мінімальний ефективний інтервал кристалізації для досягнення достатньо високого рівня ливарних властивостей, а Al-матриця має бути легована таким чином, щоб забезпечити необхідний рівень

механічних властивостей [10]. Слід зауважити, що присутність більше 30 % евтектичної складової в структурі сплавів має вирішальне значення для забезпечення високих технологічних властивостей.

Мета роботи – створити високоміцний композиційний матеріал на основі алюмінію з використанням додаткового тиску на розплав при кристалізації.

Для виготовлення виливків було обрано алюмінієвий сплав: первинний АК9М2 (AlSi_9Cu_2), який поєднує високі механічні характеристики та прийнятні ливарні властивості. Для приготування сплаву використовували наступні вихідні шихтові матеріали: чистий алюміній марки А7, лігатуру AlSi (25 % Si), чиста мідь марки М1. Використання високоякісних шихтових матеріалів дає змогу отримати сплави з низьким вмістом шкідливих домішок, передусім заліза. Плавлення шихтових матеріалів проводили в керамічному тиглі марки BU 50 Stabil (Noltina/Morgam, Germany) місткістю 50 кг за алюмінієм. В роботі було використано піч електроопору, що дало змогу точно підтримувати задану температуру на всіх етапах плавлення та технологічної обробки розплаву перед литтям. Це дало змогу отримати мінімальне газонасичення розплаву.

Основні етапи технологічної обробки розплаву перед литтям склалися з рафінування, дегазації розплаву та введення лігатури. Рафінування розплаву здійснювали за допомогою введення в розплав спеціального покривально-рафінувального гранульованого флюсу на основі хлоридів, карбонатів та фторидів. Було використано флюс марки Elimoxal NF80/GF (Aluminium Martigny France, Франція) в загальній кількості 0,2 % від маси шихтових матеріалів. Флюс вводили двома етапами для максимальної ефективності рафінування розплаву. На першому етапі флюс вводили разом із шихтовими матеріалами на дзеркало розплаву. На другому етапі після розплавлення всіх шихтових матеріалів флюс вводили під дзеркало розплаву за допомогою спеціального інструменту – занурюваного «дзвіночка». Тривалість рафінування складала 2-3 хвилини.

Дегазацію розплаву для зменшення вмісту розчиненого в алюмінієвому розплаві водню проводили введенням спеціального таблетованого флюсу марки

Desydral N71P (Aluminium Martigny France, Франція) в кількості 0,1 % від маси розплаву. Таблетований флюс вводили в розплав за допомогою занурюваного «дзвіночка». За хімічною реакцією виділявся чистий азот та відбувався процес барботації розплаву. Тривалість дегазації складала 3 хвилини. Введення лігатури проводили з метою подрібнення зерен матеріалу вилівка для гомогенізації структури та підвищення механічних характеристик. На сьогоднішні одним із найбільш ефективних способів зменшення розміру зерен є введення в розплав лігатури AlTiB (5 % Ti, 1 % B, решта алюміній). Використовували лігатуру AlTiB (KBM Master Alloys B.V., Нідерланди) у формі стрижнів діаметром 9,5 мм в кількості 0,1 % від маси розплаву. Формування додаткових центрів кристалізації в розплаві відбувалось вже на 2 хвилину після введення лігатури.

Технологічну операцію зменшення (подрібнення) елементів евтектики Al-Si не проводили, оскільки отриманий рівень механічних властивостей виявився цілком достатнім для використання вилівка за призначенням. Але проведення цієї технологічної операції може додатково покращити механічні властивості вилівка.

Після проведення всіх вищенаведених технологічних операцій та видалення шлаку з поверхні розплаву відбувався процес лиття. Для цього використовували металеву форму (кокіль) Vernifond (Fondermat, Італія), покриту антипригарним покриттям.

При проектуванні форми і відпрацюванні технології лиття було вирішено дві основні задачі: створити умови для ламінарного заповнення форми розплавом та створити тиск на розплав в процесі твердіння.

Технологічними та конструктивними засобами було реалізовано ламінарне заповнення форми розплавом, щоб запобігти формуванню технологічних дефектів литва (рис. 1). Тиск на розплав 6,726 Па (~0,07 атм.) підтримували постійним протягом всього часу твердіння вилівка. Вектор прикладання тиску співпадав з центральною віссю симетрії вилівка. Технологічні умови подібні до лиття за допомогою машин ЛПНТ (лиття під низьким тиском).

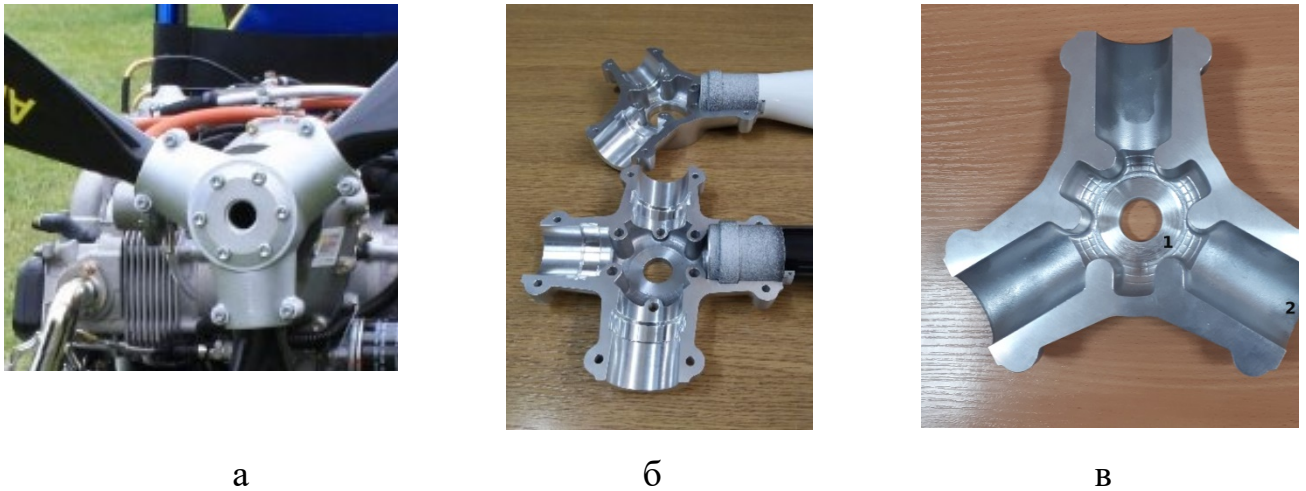


Рис. 1. Конструктивний вигляд деталі «ступиця», отриманої за ламінарним заповненням форми розплавом: а – отримана з виливка в комплекті для застосування в легкомоторних літаках або БПЛА; б – після термічного та повного механічного оброблення; в – після термічного та механічного оброблення; 1, 2 – зони, з яких вирізали зразки серії 1 і 2

В результаті застосування вищенаведеної технології лиття (розробленої SA-Foundry sp.z.o.o., Польща та Aerolux, Україна) було отримано виливок з високими експлуатаційними параметрами та мінімальною кількістю технологічних дефектів, незважаючи на суттєву товщину виливка. Розроблено технологію та конструктивні особливості ламінарного заповнення форми розплавом з метою мінімізації формування технологічних дефектів лиття.

Література:

1. Антипов В.В. Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов для изделий авиационно-космической техники // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. – С. 186–194. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194.
2. Барабаш О.М., Легкая Т.Н., Мильман Ю.В., Коржова Н.П., Гринкевич К.Э. Физические основы разработки нового класса литейных сплавов на основе алюминия. Металлофизика и новейшие технологии. 2009. Т. 31, № 4. – С. 545-552.

3. Легка Т.М., Мільман Ю.В., Міка М., Коржова Н.П., Воскобойнік І.В., Мордовець Н.М. Особливості будови Al-кута фазової діаграми потрійної системи Al–Ge–Mg. Порошкова металургія. 2018. № 11/12. – С. 116-124.

4. Коржова Н.П., Легка Т.М., Мордовець Н.М., Ничипоренко В.І. Високоміцні евтектичні сплави потрійної системи Al–Si–Mg, леговані цинком та міддю. Металознавство та обробка металів. 2015. № 2. – С. 43-48.

5. Щербакова Л.Г., Криницький А.В., Коржова Н.П., Легкая Т.Н., Самелюк А.В. Влияние легирования на механические свойства и коррозионную стойкость высокопрочных эвтектических (α -Al+Mg₂Si) сплавов тройной системы Al–Mg–Si. Металлофизика и новейшие технологии, 2017. Т. 39, вып. 9. – С. 1239-1252.
<http://mfint.imp.kiev.ua/ua/abstract/v39/i09/1239.html>

6. Іванченко Д.В. Ямшинський М.М. Технологічні особливості виготовлення сплаву АК7ч, зміцненого цирконієм, уведеним із тетрафториду цирконію // Процеси лиття. 2023, № 2 (152). – С. 16-23. <https://doi.org/10.15407/plit2023.02.016>

7. Барабаш М.Ю., Колесніченко А.А., Леонов Д.С., Литвин Р.В., Сезоненко А.Ю., Лук'яненко І.В., Биба Є.Г., Ямшинський М.М., Бобошко Є.М. Особливості структуроутворення тонких плівок міді та визначення їх плазмонно-резонансних властивостей // Металофізика та новітні технології. 2023, т. 45, №2. – С. 169-182.
<https://doi.org/10.15407/mfint.45.02.0169>.

8. Ямшинський М.М. Селівьорстов В.Ю., Лук'яненко І. В., Кивгило Б. В. Вплив модифікування високодисперсним карбідом кремнію на ливарні властивості вторинного сплаву системи Al-Si // Метал і лиття України. 2022. № 1 (30). – С. 77–83.
<https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.077>

9. Dmytro Ivanchenko, Mykhailo Yamshinskij. Treatment of An Aluminum Casting Alloy of the Al-Si-Cu-Mg System with Zirconium Entered from its Compounds // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 10 Issue 10, 2021. – P. 411-416.

10. Zolotarevsky V.S., Belov N. A., Glazoff M.V. Casting aluminium alloys. Elsevier. 2007. – 530 p.