

effectively. The conference will feature workshops, training sessions, and presentations on the latest advancements in training methodologies and educational programs. It will provide a platform for knowledge exchange and best practice sharing in workforce development, ensuring a skilled and competent workforce for the future of foundry production.

Collaboration and Partnerships for Innovation. Collaboration and partnerships play a vital role in fostering innovation in the foundry industry. The conference will provide opportunities for networking and collaboration among researchers, industry professionals, and decision-makers. Participants can share their experiences, challenges, and success stories, fostering a culture of collaboration and knowledge sharing. Collaborative projects and research initiatives can be developed, leading to the development of new technologies, processes, and materials in foundry production. The conference will serve as a catalyst for fostering partnerships and driving innovation in the industry.

УДК 669.715:66.067

Т. Г. Цір, А. Г. Вернидуб

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: jknd-t@ukr.net

ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИЛИВКІВ ІЗ ЗАЕВТЕКТИЧНОГО СИЛУ- МІНУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ЗАЛІЗА ПРИ РЕОЛИТТІ

Негативний вплив заліза в сплавах системи Al-Si, зумовлений присутністю крихкої залізовмісної фази β -FeSiAl₅ з моноклінною решіткою. Одним із методів нейтралізації такого впливу є введення до сплаву марганцю в співвідношенні Mn/Fe (від 0,5 до 1,1) [1], що приводить до заміни характеру фазових перетворень при кристалізації. Внаслідок яких утворюється нова фаза α -(FeMn)₃Si₂Al₁₅ з об'ємно-центрованою кубічною структурою морфологія яких залежить від співвідношення марганцю до заліза.

Введення елементів-компенсаторів (Mn, Cr та інших) є необхідною, але часто недостатньою мірою для досягнення високого рівня властивостей при використанні класичних методів лиття. Для цього використовуються більш сучасні технології, зокрема, тиксолиття [2] та реолиття [3]. Остання, через простоту реалізації в промислових

умовах заслуговує на особливу увагу і використана в даній роботі для підвищення ефективності модифікування заевтектичного силуміну.

Для досліджень використовувався заевтектичний сплав Al - 16,5 % Si з масовими частках заліза 1,2 % та 3,0 %. Марганець додавали в кількості необхідній щоб отримати співвідношенні Mn/Fe = 0,85. При застосовуванні технології реолиття порцію розплаву перемішували локально-охолоджуючим елементом [4] зі швидкістю 800 об/хв, від температури 735 °C – 740 °C, що відповідала перегріву ~ 100 °C над температурою ліквідусу сплаву Al - 16,5 % Si ($T_L = 636,5$ °C), до температури 660 °C, при якій розплав заливали у форми з різними теплофізичними характеристиками, швидкість охолодження у формах $V_{\text{охол}} = 50$ та 67 °C/с. Дані швидкості охолодження вибрані з урахуванням факту, який встановлено раніше [5], що існує якісний перехід у формування евтектики між цими швидкостями охолодження. Для оцінки ефективності технології реолиття проводили експерименти на тих же сплавах без перемішування. На рис.1 продемонстровано мікроструктури зразків отриманих за різних умов експерименту (I-IV). Результати отриманих при однаковій швидкості охолодження $V_{\text{охол}} = 50$ °C/с (рис. 1 а, в) демонструють вплив технології реолиття.

При концентрації заліза 1,2 % з використанням реолиття розміри залізовмісної фази ($\alpha\text{-(FeMn)}_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$) та первинного кристали кремнію (ПКК) більші ніж без використання реолиття. Це зумовлено тим, що локально-охолоджуючий елемент створює умови для зародження та росту фаз в області його дії, яка відбувається раніше (вище температури ліквідус) ніж при класичній схемі лиття. При концентрації заліза 3,0 % розмір фаз немає суттєвої різниці при використанні технології реолиття чи без, що можна пояснити впливом високого вмісту заліза та відповідним формуванням залізовмісної α -фази, яка створює концентраційні та температурні поля впливаючи на розмір первинного кремнію. Порівнюючи структури при різних швидкостях охолодження можна спостерігати, що при $V_{\text{охол}} = 67$ °C/с (рис.1, д-е) є поява дендритів алюмінію, умовами появи яких стали швидкий ріст ПКК [6]. Залізовмісна фаза, в переважній більшості має дендритну морфологію, добре розгалужену зі збільшеним розміром кристалу.

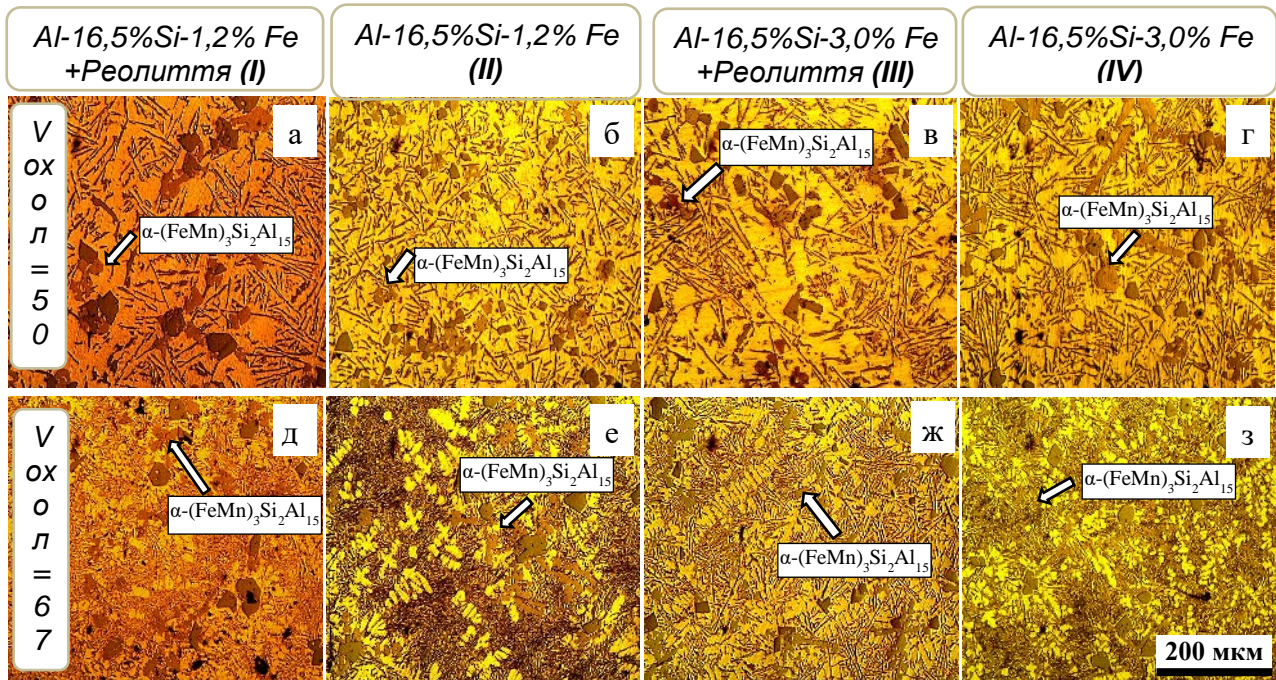


Рис. 1 – Мікроструктури сплаву Al - 16,5 % Si з масовими часткою заліза 1,2 (а, б, д, е) та 3,0 % (в, г, ж, з), легованого марганцем у співвідношенні Mn/Fe=0,85 (а-з), перемішаного у рідкому стані локально-охолоджуючим елементом (технологія реолиття) (а, д, в, ж) та без перемішування (б, е, г, з) і охолодженого при різних швидкостях $V_{\text{охол}} = 50 \text{ }^\circ\text{C/c}$ (а-г) та $V_{\text{охол}} = 67 \text{ }^\circ\text{C/c}$ (д-з)

Так розмір змінився від 38...75 мкм ($V_{\text{охол}} = 50 \text{ }^\circ\text{C/c}$) до 100...150 мкм ($V_{\text{охол}} = 67 \text{ }^\circ\text{C/c}$) але товщина стовбурів зменшилася до 5..9 мкм (рис.1, з) в порівнянні з товщиною ($\bar{d}=20 \text{ мкм}$) залізовмісних фаз продовгуватою прямокутної форми або слабо розгалуженої (рис.1, г), що спостерігається при концентрації заліза у 3,0 %.

В зв'язку з тим, що з заевтектичних силумінів виготовляють поршень - деталь двигуна внутрішнього згорання, який працює в парі з чавунною гільзою, однією з важливих вимог до такої деталі є зношуваність. Тому, проводилися дослідження зразків на зношування в парі з чавуном марки СЧ20 (сухе тертя). Отриманні дані наведено на рис. 2.

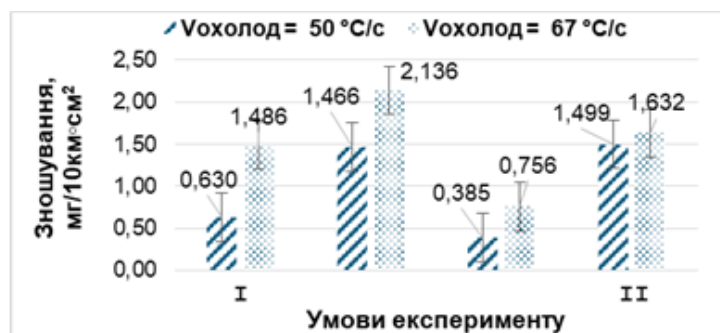


Рис. 2 - Залежність зношування зразків зі сплаву Al - 16,5 % Si від умов експерименту

Встановлено, що при швидкості охолодження 50 °C/с зношування всіх досліджених сплавів менше ніж при швидкості охолодження 67 °C/с, причиною таких результатів, при швидкості охолодження ($V_{\text{охол}} = 67 \text{ °C/с}$) є те, що з'являється фаза первинного алюмінію як окрема фаза та збільшується контактна поверхня залізовмісних фаз (див. рис. 1 д-з). Ймовірно, в процесі тертя така розділеність фаз призводить, що кристали більш твердих фаз (первинний кремній, залізовмісні фази), більш легко викришуються. Використання технології реолиття (рис. 2, умови експерименту 1, 3) зменшує втрати при зношуванні в два рази і відповідно підвищує зносостійкість сплаву Al - 16,5 % Si при обох швидкостях охолодження для сплавів з масовими частками заліза 1,2 % і 3,0 %.

Отримані результати свідчать про доцільність подальшого вивчення та удосконалення реолиття для виготовленні виливків із заевтектичних силумінів з високим вмістом заліза як одного з елементів, що підвищує трібологічні характеристики кінцевого продукту.

Список літератури

1. Jiang Yehua. Effect of manganese on the Fe-rich phases in AL-22Si-2Fe alloy by cooling slope. *Solid State Phenomena*. 2015. Vol. [21](#). P. [37](#)–44. DOI:[10.4028/www.scientific.net/SSP.217-218.37](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.217-218.37).
2. Kapranos P. Thixoforming of an automotive part in A390 hypereutectic Al–Si alloy. *J. Mater. Process. Technol.* 2003. Vol. 135. P. 271–277.
3. Huo Qile. [Improving mechanical property of hypereutectic Al-Si alloys via regulating the microstructure by rheo-diecasting](#). *Zhaohua Metals*. 2023. Vol. 13. P. 968-974. DOI:[10.3390/met13050968](https://doi.org/10.3390/met13050968).
4. Цір Т. Г. Формування структури виливків з доевтектичних сплавів системи Al-Si при реолитті: дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04. НАН України, Фіз.-технол. ін-т металів та сплавів. - Київ, 2019. - 216 с.
5. Цір Т. Г. Вплив швидкості охолодження розплаву на мікроструктуру заевтектичних силумінів. *Збірник тезісів до XIX Міжнародної науково-практичної конференції «ЛИТВО 2023»*. 2023. С. 221-223.
6. Yilmaz F. Halo formation in Al-Si alloys. *Met. Sci.* 1984. Vol. 18 (7). P. 362-366.