

2. Abeliansky, A. (2019). 3D printing, international trade and FDI. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.10.014>
3. All3DP World's # 1 3D Printing Magazine STL - File Format for 3D Printing - Simply Explained [Electronic resource]. Available at: <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing>
4. Garret B., Redwood B., Schoffer F. The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications, November 14 2017.
5. The 3D printing technologies [Electronic resource]. Available at: <https://www.aniwaa.com/3dprinting-technologies-and-the-3d-printing-process>.
6. Yusuf B. 3D Printing Technology Guide - Types of 3D Printing Explained [Electronic resource]. Available at: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology>.
7. 3D Printing Beta. (2020). Print quality-Differences between moving build plate vs. extruder-3D printing stack exchange. Retrieved July 28, 2020 року, from <https://3dprinting.stackexchange.com/questions/1361/differences-between-moving-build-plate-vs-extruder>.
8. Flynt, J. (2019). 3D printing fashion: Advantages, disadvantages, and future-3D insider. Retrieved July 27, 2020 року, from <https://3dinsider.com/3d-printing-fashion/>.
Air Cargo News. (2018). "3D printing poses a risk to 2% -4% of airfreight volumes". 26 September 2018. Retrieved from: <https://www.aircargonews.net/region/europe/3d-printing-poses-a-risk-to-2-4-of-airfreight-volumes/>.

УДК 621.746.6:669.046.516.4:669.715

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЯКОСТІ ВТОРИННИХ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ ЗАЛІЗА

Ю.В. Доценко¹, В.Ю. Селівьорстов²

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: yvd160574@gmail.com

²доктор технічних наук, професор кафедри ливарного виробництва, Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна, e-mail: seliverstovvy@gmail.com

Анотація. В роботі проаналізовано вплив комплексної технології на властивості циліндричних виливків з ливарного алюмінієвого сплаву АК7 з підвищеним вмістом заліза. Наведено результати досліджень механічних властивостей.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, виливок, модифікування, механічні властивості, кристалізація.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF COMPREHENSIVE RESOURCE SAVING TECHNOLOGY FOR IMPROVING THE QUALITY OF SECONDARY FOUNDRY ALUMINUM ALLOYS WITH HIGH IRON CONTENT

Yuri Dotsenko¹, Vadim Seliverstov²

¹Ph.D., Associate Professor of Design, Technical Aesthetics and Design. National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine, e-mail: yvd160574@gmail.com

²Ph.D., professor of the department of foundry production. National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine, e-mail: seliverstovvy@gmail.com

Abstract. The paper analyzes the influence of complex technology on the properties of cylindrical castings from cast aluminum alloy AK7 with high iron content. The results of researches of mechanical properties are resulted.

Keywords: aluminum alloy, casting, modification, mechanical properties, crystallization.

Вступ. Підвищений вміст заліза в сплавах системи Al-Si є причиною різкого зниження механічних і експлуатаційних властивостей виливків. Фази, які містять залізо (FeAl_3 , Al_2SiFe , $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{Fe}$, Al_5SiFe і ін.), як правило, мають грубокристалічну будову і тому негативно впливають, в першу чергу, на відносне подовження сплаву.

Нейтралізація шкідливого впливу заліза на властивості сплавів можлива за умови отримання залізовмісних фаз в компактному вигляді, що досягається легуванням, модифікуванням, а також використанням зовнішніх впливів на розплави (електричні і магнітні поля, високотемпературні перегріву, ультразвук) [1-5]. Експериментальні і теоретичні дослідження щодо впливу зовнішніх впливів на розплави в період плавки і в процесі кристалізації показали, що вони дозволяють істотно подрібнити структурні складові сплавів з відповідним підвищенням технологічних і механічних властивостей.

Мета роботи. Дослідження впливу технології комплексної обробки на механічні властивості виливків зі сплаву АК7ч з підвищеним вмістом заліза при кристалізації його в кокілі.

Матеріал і результати досліджень. Мала розчинність заліза в алюмінії призводить до того, що вже при тисячних частках відсотка і низьких температурах з'являється нова фаза FeAl_3 . Ця фаза, як вважають останнім часом, є однією з винуватиць високої стійкості та спадковості литої структури алюмінію і його сплавів, коли дендритну будову можна спостерігати навіть після дуже високих ступенів пластичної деформації (50-90%) і подальшого рекристалізаційного відпалу. Залізо зменшує електропровідність і хімічну стійкість алюмінію і його сплавів. Залізо спільно з кремнієм в алюмінієвих сплавах

утворює евтектику з твердого розчину на основі алюмінію і кристалів FeSiAl_5 , яка має форму китайських ієрогліфів. Для нейтралізації шкідливого впливу заліза в сплави вводять марганець, берилій, церій, хром, ванадій, нікель та інші перехідні метали, які пригнічують утворення β -фази і сприяють виділенню більш складних фаз (Al-Mn-Fe-Si , $\text{Al}_7\text{Fe}_3\text{Be}_7$), що кристалізуються в компактній формі, наприклад фаза Be_3SiFe має округлу форму, а фаза $\text{Al}_8\text{Si}_6\text{Mg}_3\text{Fe}$ виділяється у вигляді тонких прожилок скелетоподібної форми [1, 4, 5].

Одним з перспективних способів впливу на морфологію залізовмісних фаз в процесі кристалізації є обробка розплаву електричним струмом. Однак, механізм фізико-хімічного впливу електричного струму на процес кристалізації досліджений недостатньо як в експериментальному, так і теоретичному плані. Наявні дані носять уривчастий характер і часто суперечать один одному [4].

У виробничих умовах також застосовують профілактичні заходи з метою виключення контакту сталевих і чавунного плавильно-заливного інструменту, тиглів з алюмінієвим розплавом і насиченням його залізом, причому головна складність отримання якісного покриття чавунних і сталевих тиглів - забезпечення необхідної стійкості покриття та його механічної міцності. Для виключення контакту чавунних або сталевих тиглів розроблені спеціальні склади, способи виготовлення і нанесення, наприклад «Покриття жаростійкого для чугунних и сталевих тиглей» ТУ 100196035.006 - 2001, дія яких заснована на незмочуваності і хімічній нейтральності покриттів до рідкого алюмінію [5].

Залізовмісні фази мають ковалентний тип міжатомних зв'язків, що обумовлює їх спрямованість при кристалізації. Для зменшення анізотропії силових полів валентних електронів в зародку, що утворюється при кристалізації, необхідно змінити характер міжатомної взаємодії [1].

Один з можливих варіантів зміни форми і розмірів включень фаз з ковалентним типом міжатомних зв'язків - введення в розплав домішок, атоми яких, розчиняючись в зростаючому кристалі, послаблюють ковалентну складову зв'язку між його атомами, і тим самим зменшують орієнтуючу дію кристалу на дотичну з ним рідку фазу. Встановлено, що подрібнення залізовмісних фаз спостерігається після легування розплаву марганцем, хромом, молібденом і додаткової обробки розплаву елементами VI групи - сіркою, селеном і телуrom [1].

Модифікування залізовмісної фази сіркою або телуrom при співвідношенні, %, $\text{Fe/Mn} = 2/1$ сприяє збільшенню кількості фази з гексагональною

граткою і супроводжується деякою зміною її параметра, а включення наближаються до правильних многогранників. При цьому добавки сірки і телуру концентруються в компактних включеннях β_{II} -фази.

Ефективний спосіб зміни морфології фаз, що кристалізуються - це затвердіння їх в різко нерівноважних умовах [3]. В результаті створюються умови для подрібнення зерна, значного розширення розчинності в твердому стані, пригнічення росту грубих включень первинних інтерметалідів. Тому доцільно використовувати такий процес затвердіння для усунення формування грубих первинних залізовмісних фаз. Причому, якщо забезпечити дрібнодисперсне їх формування, то вони зможуть виступати в якості зміцнюючої фази.

Описані нижче експериментальні дослідження проводили у виробничих умовах ВАТ «Дніпропетровський агрегатний завод». Розплав АК7ч готували в електричній печі опору САТ-0,25. Розплав при температурі 993 К заливали в сталевий витряхний кокіль, підігрітий до температури 523 К. Виготовляли три циліндричних вилівки (висота 500 мм, діаметр 150 мм) за наступними режимами:

- 1 - без обробки;
- 2 - з попередньої деформацією чушки (ступінь деформації 25%) при температурі 573 К;
- 3 - з попередньою деформацією чушки (ступінь деформації 25%) при температурі 573 К і додаванням 0,2% модифікатора («Таблетка дегазуюча с модифицирующим эффектом комплексная для доэвтектических и эвтектических силуминов» ТУ РБ 14744129.004-98» ТУ РБ 14744129.004-98).

Хімічний склад дослідного сплаву АК7ч наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад дослідного сплаву АК7ч

Al	Si	Fe	Mn	Ti	Mg
Основа	6.51	0.55	0.45	0.15	0.35

У таблиці 2 наведені результати випробувань по визначенню механічних властивостей металу вилівоків зі сплаву АК7ч, отриманого з застосуванням комплексної технології.

Таблиця 2 - Механічні властивості металу виливків зі сплаву АК7ч до і після застосування комплексної технології

№	Межа міцності (σ_B), МПа	Відносне подовження (δ), %	Твердість (НВ)
1	165	2,2	501
2	182	2,5	503
3	201	3,6	504

За даними, що наведені в таблиці 2 видно, що застосування комплексної технології дозволило підвищити механічні властивості виливків: по режиму 2 - на 10-12%, по режиму 3 - на 20-30%.

Висновок. Проаналізовано вплив комплексної технології на рівень механічних властивостей виливків зі сплаву АК7ч з підвищеним вмістом заліза при литті в кокіль.

В результаті проведених досліджень вдалося досягти зміни форми і розмірів залізвмісної фази, підвищити рівень механічних властивостей на 10-30%.

Комплексна обробка, що включає деформаційну обробку шихти, модифікування і кристалізацію в нерівноважних умовах дозволила різко знизити негативний вплив заліза і як наслідок підвищити рівень експлуатаційних властивостей виливків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Возможность использования комплексного модификатора длительного действия на основе нанопорошков длительного действия для повышения качества отливок из алюминиевых сплавов [Текст]: Новые материалы и технологии в машиностроении-2005. Сб. трудов IV Международной научно-технической конференции. / Брянск: БГИТА - 2005. – С. 17 –23.
3. Селиверстов, В.Ю. Перспективы применения комбинированных способов управления структурообразованием литого металла [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко / Вісник ДДМА. - 2009. - № 1 (15). – С.267-273.
4. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст]/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с.
5. Ефимов, В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.