

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ КРЕМНИЙ СОДЕРЖАЩИХ ФАЗ В СИЛУМИНАХ

Л.А. Казанцева<sup>1</sup>, Н.А. Попова<sup>2</sup>, М.П. Калашников<sup>3</sup>

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. И.А. Курзина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск. Пр. Ленина, 34, 634050

E-mail: [kazantseva2911@mail.ru](mailto:kazantseva2911@mail.ru)

## FEATURES STRUCTURAL-PHASE STATE SILICON CONTAINING PHASE IN SILUMINS

L.A. Kazantseva<sup>1</sup>, N.A. Popova<sup>2</sup>, M.P. Kalashnikov<sup>3</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. I.A. Kurzina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

<sup>2</sup>Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya sq., 2, 634003

<sup>3</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [kazantseva2911@mail.ru](mailto:kazantseva2911@mail.ru)

**Abstract.** *The structural features of the formation of the silicon-containing particles of the alloy in the eutectic crystallization AK7ch. The crystallization of the alloys carried out throw adding of the mixture of ultrafine powders (TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub>) and cryolite (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>). It has been established that the introduction of a mixture of oxides promotes leads to uniform distribution of eutectic regions. The elemental composition of the ternary phases was established  $\alpha$ -(Al<sub>2</sub>FeSi) u  $\beta$ -(Al<sub>3</sub>FeSi). The silicon particles have a spherical form and ternary phases have a laminar structure.*

**Введение.** Алюминиевые сплавы характеризуются высокой удельной прочностью, способностью сопротивляться динамическим нагрузкам и хорошей технологичностью. Среди алюминиевых сплавов важное место занимает силумин: алюминий-кремниевый (Al-Si) сплав. Силумины отличаются высокой технологичностью, обладают хорошими литейными свойствами [1]. Силумины не содержат дорогостоящих легирующих элементов и характеризуются широким диапазоном структурно-фазовых характеристик. Модифицирование силуминов является наиболее перспективным способом в повышении функциональных свойств конструкционных материалов. Актуальным направлением в области модифицирования является применение ультрадисперсных частиц различных химических составов [2, 3]. При таком модифицировании частицы порошка, благодаря малому размеру, хорошо усваиваются расплавом, равномерно распределяются по объему и в дальнейшем являются центрами кристаллизации [4]. Целью работы являлось изучение влияния модифицирующей смеси на основе ультрадисперсных порошков оксидов тугоплавких металлов и криолита на структурно-фазовое состояние эвтектической смеси сплава АК7ч формируемой при кристаллизации расплава.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования был сплав марки АК7ч (химический состав – по ГОСТ 1583-93). При модифицировании сплава АК7ч применяли модифицирующую смесь на основе ультрадисперсных порошков (УДП) оксидов тугоплавких металлов и криолита со средним размером частиц  $d_{cp}=0,7$  мкм (следующего состава масс. %: 46,5 F; 14,3 O; 11,6 Na; 9,6 Al; 6,7 Zr; 5,8 Ti; 3,3 K; 2,2 Ca). Контрольным образцом служил немодифицированный (исходный) образец сплава АК7ч. Микроструктуру сплавов, локализацию фаз исследовали просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ, микроскоп «ЭМ-125» при ускоряющем напряжении 120 кВ, микроскоп «JEM-2100F» при ускоряющем напряжении 200 кВ. Для идентификации фазового состава областей на границе матричных зерен и в местах скопления эвтектической смеси был проведен ПЭМ анализ с приставкой «JEOL» для энергодисперсионного спектрального микроанализа.

**Результаты.** Ранее в работах [5-6] показаны результаты рентгенофазового анализа (РФА), из которых следует, что исходные отливки представляют собой твердый раствор  $\alpha$ -Al, в котором содержатся фазы  $\beta$ -Si,  $\alpha$ -(Al<sub>2</sub>FeSi) и  $\beta$ -(Al<sub>3</sub>FeSi). Результаты РФА подтверждаются исследованиями растровой электронной микроскопии (РЭМ), по данным которой фазы  $\alpha$ -(Al<sub>2</sub>FeSi) и  $\beta$ -(Al<sub>3</sub>FeSi) хорошо просматриваются в режиме обратно рассеянных электронов (режим *BSE*, фазового контраста).

Железосодержащие трехкомпонентные интерметаллические фазы характеризуются преимущественно пластинчатой формой. Более подробные исследования микроструктуры сплава с помощью ПЭМ показали, наличие Fe-содержащих фаз, которые имеют пластинчатую (иглообразную) форму и выделяются во время кристаллизации эвтектики, их длина может достигать ~ 20 мкм (рис. 1,2). В ходе индиферирования микродифракционной картины был установлен локальный химический состав Fe-содержащей фазы и соответствует  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>FeSi (рис. 1г.).

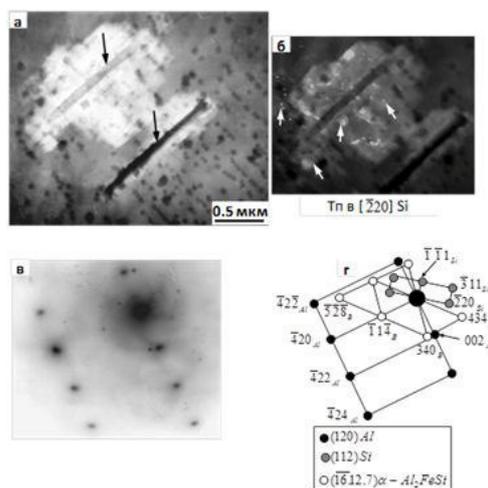


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение исходного состояния сплава АК7ч: Зерно Al: а – светлопольное изображение; б – темнопольное изображение, полученное в рефлексе  $[-220]$  Si; в – микродифракционная картина участка (а); г – её индиферированная схема. Пластинчатые частицы  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>FeSi отмечены на (а) черными стрелками, округлые частицы Si на (б) – белыми

При проведении локального энергодисперсионного спектрального микроанализа (рис.2) обнаружено, что в эвтектической области присутствуют фазы  $\alpha$  (Al)-твердый раствор, Si, Fe-содержащие

фазы. Фаза  $\beta$ - $\text{Al}_5\text{FeSi}$  имеет форму грубодисперсных столбчатых пластин и может входить в эвтектику ( $\alpha$  (Al)+ Si+ $\beta$ ).

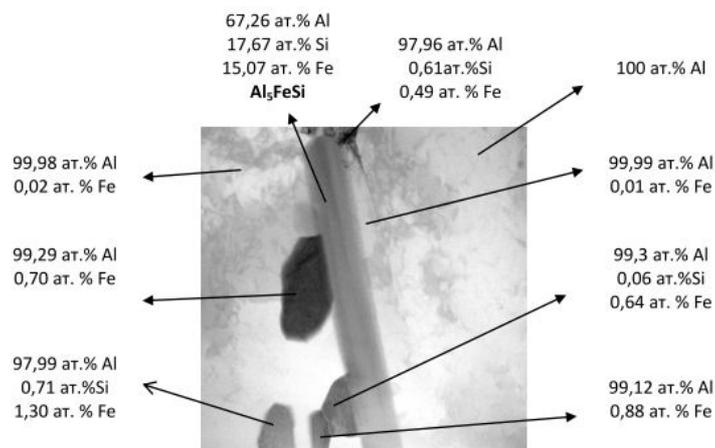


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение сплава АК7ч после введения 0,4 масс.% УДП. Представлен элементный состав локальных областей.

**Заключение.** ПЭМ была установлена микроструктура фаз выделяемых в эвтектической области. Кроме алюминиевой матрицы и Si в силумине присутствуют избыточные пластинчатые фазы, содержащие железо. Трехкомпонентные железосодержащие фазы имеют пластинчатую форму и соприкасаются с отдельными выделениями  $\alpha$ -фазами Al. Фазы, содержащие железо  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{FeSi}$ ,  $\beta$ - $\text{Al}_5\text{FeSi}$  практически не изменяют свою морфологию в результате модифицирования. Выделения трехкомпонентных фаз вызывают сильные напряжения кристаллической решетки в алюминиевой матрице.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов.- М.: Металлургия, 1980. – 316 с.
2. Li Q., Xia T., Lan Y., Zhao W., Fan L., Li P. Effect of in situ  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  particles on the microstructure of hypereutectic Al–20% alloy // J. Alloys Compd. – 2013. – Vol. 577. – P. 232.
3. Molina C.M., Valdes A.F., Valdez R.M., Torres J.T., Rosales N.R., Estrada R.G. Modification of Al–Si alloys by metallothermic reduction using submerged SrO powders injection // Mater. Lett. – 2009. – Vol. 63. – P. 815.
4. Чернега Д.Ф., Могилатенко В.Г. Влияние дисперсных тугоплавких частиц в расплаве на кристаллизацию алюминия и силумина // Литейн. пр-во. – 2002. – № 12. – С. 6.
5. A.P. Zykova, L.A. Kazantseva, I.A. Kurzina, V.Kh. Dammer, A.V. Chumaevaski. Influence of the Modifying Ability of Various Compositions on the Microstructure and Properties of the AK7ch Alloy // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2015. – Vol. 56. – No. 6. – P. 593–598.
6. A.P. Zykova, L.A. Kazantseva, I.A. Kurzina. The effect of ultrafine powders on the structural formation processes and mechanical properties of Al–7%Si alloy // AIP Conference Proceedings. – 2016. – P. 3–7.