

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛУМИНОВ ПРИ  
ВВЕДЕНИИ В РАСПЛАВ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ. Часть 2**

Л.А. Казанцева<sup>1</sup>, А.П. Зыкова<sup>2</sup>

Научный руководитель: доцент, 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>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

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

**RESEARCH MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SILUMIN WHEN  
INTRODUCED INTO THE MELT OF ULTRAFINE POWDER. Part 2**

L.A. Kazantseva<sup>1</sup>, A.P. Zykova<sup>2</sup>

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

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

<sup>2</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

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

***Abstract.** The paper presents the results of experimental studies AK7ch alloy before and after modification by modifying a mixture of oxide-based refractory metals and cryolite and foreign flux. It was shown that the modification AK7ch alloy leads to a uniform distribution and reduction of the structural components, grinding and changing of the shape of Fe-containing phases. It is shown that all modified samples are characterized by an increase in mechanical properties.*

Использование в промышленности (строительстве, транспорте, авиастроении и т.д.) алюминиевых сплавов в качестве конструкционных материалов становится все более разнообразным. Известно [1, 2], что наличие в Al-Si сплаве таких примесей, как Fe и Si, образующих нерастворимые в  $\alpha$ -твердом растворе фазы, приводит к снижению его пластичности, вязкости разрушения и т.д. При формировании эвтектики кремний, как правило, выделяется в виде грубых кристаллов игольчатой и пластинчатой формы, что способствует ухудшению эксплуатационных характеристик изделий. Содержание Fe в сплаве системы Al-Si также является причиной резкого снижения механических и эксплуатационных свойств отливок, так как Fe-содержащие фазы имеют крупнокристаллическое строение и отрицательно сказываются в первую очередь на относительном удлинении сплава [3]. Вредное влияние Fe-содержащих фаз может быть уменьшено снижением их доли до 0,1–0,3 об.%, а также путем повышения дисперсности кремниевой эвтектики и Fe-содержащих фаз за счет модифицирования сплава [2, 3]. В предыдущем докладе было отмечено и показано, что Al-Si-сплавы можно модифицировать составами различных солей, стронцием, серой, фосфором, никелем и т.д. Кроме того, зачастую используются зарубежные флюсы. Актуальным направлением в области модифицирования также является применение ультрадисперсных частиц различных химических составов [4, 5]. При таком модифицировании частицы

порошка, благодаря малому размеру, хорошо усваиваются расплавом, равномерно распределяются по объему и в дальнейшем являются центрами кристаллизации [6]. Однако вопросы, связанные с влиянием ультрадисперсных модификаторов на изменение структуры, фазового состава и механических свойств силуминов, остаются малоизученными и открытыми. Поэтому целью работы являлось изучение влияния модифицирующей смеси на основе ультрадисперсных оксидов тугоплавких металлов и криолита на структурно-фазовое состояние и механические характеристики сплава АК7ч в сравнении зарубежным модификатором.

Объектом исследования был сплав марки АК7ч (химический состав – по ГОСТ 1583-93). При модифицировании сплава АК7ч применяли следующие модифицирующие смеси: 1) 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); 2) зарубежный флюс «Arsal 2120» состава, масс. %: 20,9 O; 20,2 Cl; 19,8 F; 18,8 Na; 14,4 K; 2,9 S; 2,3 Si; 0,4 Mg; 0,1 Al; 0,1 Ca; 0,03 Cr; 0,04 Br; 0,02 Fe; 0,01 P. Контрольным образцом служил немодифицированный (исходный) образец (А-1) сплава АК7ч. Для изучения структурно-фазового состава Al-Si-образцов использовали растровый электронный микроскоп «Vega II LMU», совмещенный с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (РЭДМА) «INCA Energy 350». Механические испытания на растяжение осуществляли на разрывной машине УММ-5.

Структура и механические свойства исходного сплава АК7ч приведены в предыдущем докладе. Микроструктура сплава АК7ч (рис. 1 а, б) после введения 0,4 мас.% УДП оксидов металлов и криолита состоит из слабозветвленных дендритов  $\alpha$ -Al, размеры которых не изменились по сравнению с исходным образцом и составляют ~31 мкм (рис. 1 в). Средний размер кристаллов Si уменьшился до ~8,9 мкм (рис. 1 в). По данным РЭМ и РЭДМА, при просмотре образцов в режиме фазового контраста видно, что Fe-содержащие фазы присутствуют, но их размер и форма значительно изменились (рис. 1 б):  $d_{cp}$  снизился до ~15 мкм. По результатам РЭДМА, в Fe-содержащих фазах присутствуют такие примеси, как Mn, Ni, Cu, Mg, а в некоторых случаях и C, что указывает на возможность образования карбидов. В твердом растворе  $\alpha$ -Al, так же как и в исходном образце, присутствуют Si, Cu и Zn, причем содержания элементов в исходном образце и образце после введения 0,4 мас. % УДП практически совпадают, – это свидетельствует о том, что введение МС не сказалось на твердом растворе  $\alpha$ -Al, но повлияло на размер кристаллов Si, форму и размер Fe-содержащих фаз.

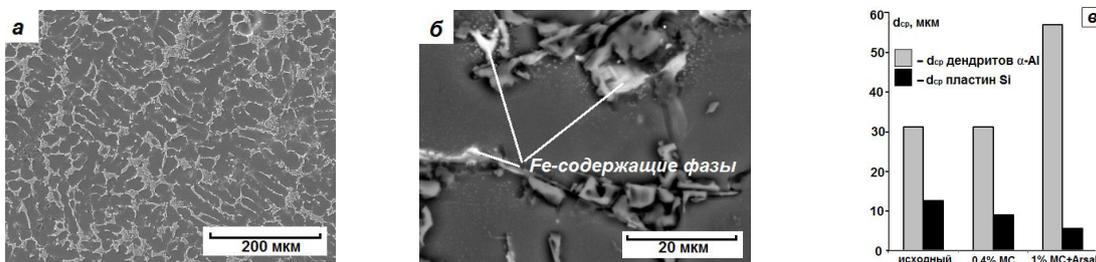


Рис. 1. Микроструктура сплава АК7ч с модификатором: а, б – 0,4 % УДП; в – гистограмма распределения средних размеров дендритов  $\alpha$ -Al и кристаллов Si при введении модификаторов

На основе экспериментальных данных, представленных в предыдущем докладе было принято решение приготовить смесь из УДП и зарубежного флюса «Arsal» в соотношении 50:50 и модифицировать ею сплав АК7ч. Микроструктура отливок после введения МС, состоящей из 0,5 % УДП

на основе тугоплавких частиц оксидов металлов и криолита и 0,5 % зарубежного флюса «Arsal 2120», характеризуется увеличением размеров дендритов  $\alpha$ -Al и снижением размеров кристаллов Si и Fe-содержащих фаз (рис. 2). У дендритов  $\alpha$ -Al  $d_{cp} \sim 57$  мкм, что в 1,5 раза больше по сравнению со всеми образцами, при этом у кристаллов Si  $d_{cp} \sim 5,5$  мкм, т.е. уменьшился. Так же как и в других модифицированных образцах, методами РФА и РЭДМА установить тип Fe-содержащих фаз не представлялось возможным. В образце они формируются в виде грубодисперсных пластин со средним размером  $\sim 36$  мкм. По данным спектров РЭДМА, в Fe-содержащих фазах присутствуют примеси Mn, Mg, F, Ni и C (рис. 2 б).

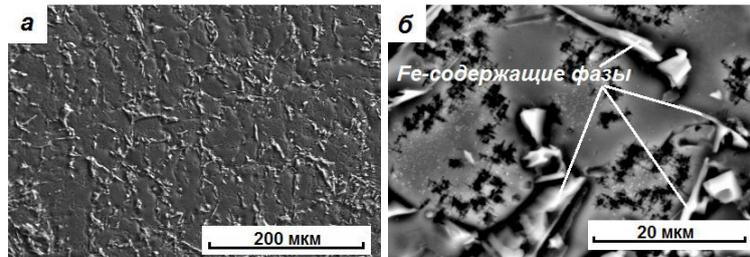


Рис. 2. Микроструктура сплава АК7ч с 0,5 % УДП оксидов тугоплавких металлов и криолита + 0,5 % флюса «Arsal 2120»; а – режим вторичных электронов; б – режим отраженных электронов

Испытания модифицированных образцов на растяжение показали, что для всех модифицированных образцов характерно увеличение относительного удлинения, при этом временное сопротивление разрыву для них различно. Интересные значения показателей получены для образца, модифицированного смесью 0,5 % УДП оксидов тугоплавких металлов и криолита + 0,5 % флюса «Arsal 2120», так как образец имеет низкие значения твердости – 39 НВ и  $\sigma_b = 14,4$  кгс/мм<sup>2</sup>, но самые высокие  $\delta = 8,4$  %. Для образца, модифицированного УДП  $\sigma_b$  составляет 20 кгс/мм<sup>2</sup>, что аналогично исходному образцу, а  $\delta$  увеличилось и составило 2 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строганов Г.В., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М.: Металлургия. – 1977.
2. Yuansheng R., Hong Y., Zhi H. Modification of eutectic silicon and  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi phases in as-cast ADC12 alloys by using samarium addition // J. Rare Earths. – 2013. Vol. 31. – № 9. – P. 916.
3. Доценко Ю.В., Селиверстов В.Ю. Влияние комплексной технологии на свойства отливок из сплава АК7ч с повышенным содержанием железа // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. Прикладная физика и материаловедение. – 2011. – Т. 54. – № 6/5. – С. 45.
4. Li Q., Xia T., Lan Y., Zhao W., Fan L., Li P. Effect of in situ  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles on the microstructure of hypereutectic Al–20% alloy // J. Alloys Compd. – 2013. – Vol. 577. – P. 232.
5. 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.
6. Чернега Д.Ф., Могилатенко В.Г. Влияние дисперсных тугоплавких частиц в расплаве на кристаллизацию алюминия и силумина // Литейн. пр-во. – 2002. – № 12. – С. 6.