

УДК. 669.15'713'295-194

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСОВ Ti–C–Sr И Ti–B–Sr НА СТРУКТУРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СПЛАВА Al–7Si

В. З. Куцова, д. т. н., проф., Е. И. Свиarenко, асп., Т. Б. Дмитриева, асп.
Национальная металлургическая академия Украины

В последние годы в автомобильной, авиационной и судостроительной промышленности значительно вырос спрос на литые детали и заготовки из силуминов. Это, в первую очередь, связано с высокой прочностью, отличной коррозионной стойкостью, жидкотекучестью, а также хорошей термической стабильностью и электрической проводимостью этих сплавов. Однако эвтектический кремниевый твердый раствор в литом, немодифицированном сплаве зачастую кристаллизуется в виде грубых слабоветвленных кристаллов, что сказывается на показателях механических свойств силуминов, особенно пластичности. Хорошо известно, что механические свойства силуминов в значительной степени зависят от морфологии эвтектической составляющей структуры сплава. Изменение морфологии эвтектического кремниевого твердого раствора с грубых слабоветвленных дендритов с сечением ветвей пластинчатой формы на более благоприятную, волокнистую, приводит к значительному приросту механических свойств отливок из этих сплавов.

Модифицирование эвтектического кремния обычно достигается введением определенных модифицирующих элементов. Кроме того, разветвление эвтектического кремния может быть достигнуто в процессе литья с высокой скоростью охлаждения, но в этом случае равномерность сечений дендритных ветвей достигается только при условии высокой скорости охлаждения всего объема отливки. В промышленности с целью модифицирования эвтектической составляющей доэвтектических силуминов широко используют стронций. Однако, как показывают исследования [1; 2], добавки стронция не обеспечивают повышения прочностных свойств отливок.

Широко используемым методом для разветвления дендритов α -Al твердого раствора является введение малых присадок $TiAl_3$ и TiB_2 частиц как гетерогенных зародышей при кристаллизации сплава, что обеспечивается введением лигатур типа Al–Ti–B, Al–Ti, Al–B перед разливкой расплава. Сагстад и Бондус [3] синтезировали и запатентовали новую лигатуру Al–Ti–B–Sr, введение которой в расплав силумина приводит к разветвлению первичных дендритов α -Al твердого раствора и модифицированию эвтектики в структуре сплава. С другой стороны, авторы [2; 4] сообщают о наличии взаимного неблагоприятного эффекта модифицирования бором и стронцием из-за формирования соединений SrB_6 , что приводит к нивелированию результатов модифицирования. В связи с этим авторы [5; 6] синтезировали лигатуру на основе компонентов Ti, C, Sr и исследовали ее влияние на структуру и свойства силуминов.

Целью данной работы является исследование возможности использования комплекса Ti–C–Sr как альтернативы комплексу Ti–B–Sr для модифицирования структуры доэвтектического силумина типа Al–7Si, а также

определение оптимальных концентраций элементов данного комплекса для исследуемого сплава.

Материал и методика. В работе исследован литой сплав Al–7Si в исходном и модифицированном комплексами Ti–B–Sr и Ti–C–Sr состоянии. Химический состав исследуемых сплавов приведен в таблице 1. Для выплавки сплава типа Al–7Si использовали алюминий чистотой 99,7 % и сплав Al–30Si. Модифицирование осуществляли введением добавок таких лигатур как Al–5Ti–1B, Al–5Ti–0,2C, Al–10Sr. Выплавляли экспериментальные сплавы в печи сопротивления при температуре 760–780 °С. Лигатуры Al–5Ti–1B и Al–5Ti–0,2C вводили при температуре 780 °С, лигатуру Al–10Sr при температуре 750 °С. Выдержка сплава после введения модификаторов – 10 мин. Расплав отливали в предварительно подогретый графитовый тигель при температуре 720 °С. Исследования микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа. Количественные параметры структуры определяли стандартными методами количественной металлографии.

Таблица

Химический состав экспериментальных сплавов

№ эксп.	Содержание элемента, % масс.					
	Al	Si	Ti	C	B	Sr
1	Основа	7,0	–	–	–	–
2			0,01	0,0004	–	0,03
3			0,025	0,001	–	0,04
4			0,05	0,002	–	0,05
5			0,1	0,004	–	0,05
6			0,4	0,016	–	0,03
7			0,4	0,016	–	0,04
8			0,4	0,016	–	0,05
9			0,01	–	0,002	0,03
10			0,025	–	0,005	0,04
11			0,025	–	0,005	0,05
12			0,05	–	0,01	0,05

Результаты и их обсуждение. Микроструктура сплава типа Al–7Si в исходном и модифицированном состоянии приведена на рисунке 1. Как видно, первичные дендриты α -Al твердого раствора в структуре немодифицированного сплава слабо разветвлены, четко видны ветви первого и второго порядков.

На рисунке 2 приведена зависимость величины междендритного расстояния α -Al твердого раствора от состава модифицирующих комплексов Ti–C–Sr и Ti–B–Sr. В исходном сплаве данный показатель составляет 68 мкм.

Модифицирование исследуемыми комплексами приводит к уменьшению междендритного расстояния.

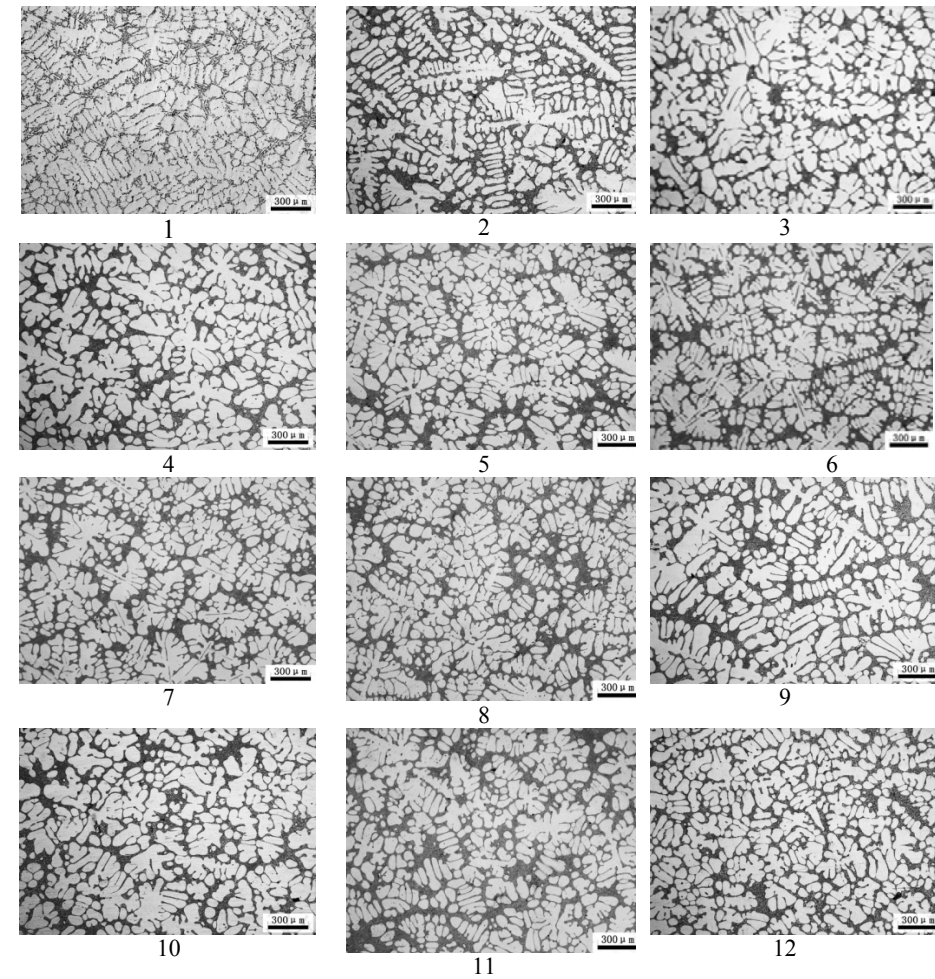


Рис. 1. Микроструктура сплава Al-7Si в исходном (1) и модифицированном комплексами Ti-C-Sr (2-8) и Ti-B-Sr (9-12) состоянии, $\times 50$

Влияние добавок титана в комплексе Ti-C-Sr имеет нелинейный характер. Увеличение содержания титана от 0,01 % до 0,025 % и 0,05 % приводит к росту междендритного расстояния от 51 мкм до 55 мкм и 56 мкм,

соответственно. Дальнейшее повышение концентрации титана до 0,1 % и 0,4 % в сплаве снова приводит к уменьшению междендритного расстояния до уровня 49 мкм, что на 28 % меньше междендритного расстояния для исходного сплава. Увеличение содержания стронция в сплаве с 0,4 % титана от 0,03 % (сплав 6) до 0,04 % (сплав 7) приводит к увеличению исследуемого параметра на 6,1 % до уровня 52 мкм. Дальнейшее повышение содержание стронция до 0,05 % стабилизирует междендритное расстояние, которое составляет 49 мкм для сплава 8. Для сплавов, модифицированных комплексом Ti–B–Sr, наилучшие результаты достигнуты при введении 0,025 % титана. При этом увеличение концентрации стронция с 0,04 % до 0,05 % (сплавы 10 и 11) практически не меняет ситуацию – междендритное расстояние составляет 49 мкм и 48 мкм для сплавов 10 и 11 соответственно.

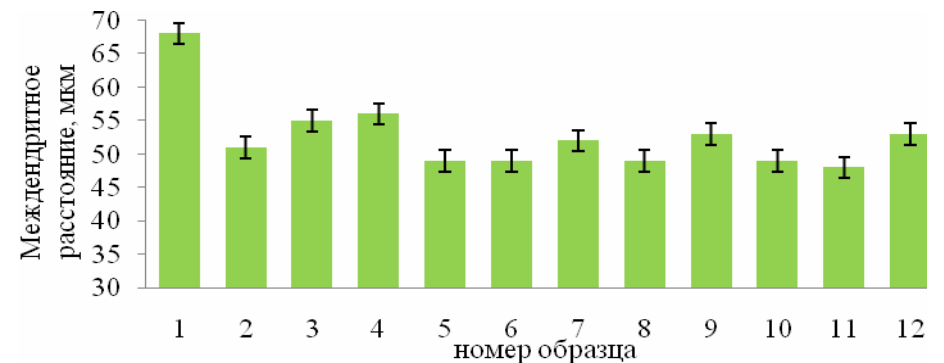


Рис. 2. Влияние различных добавок модифицирующих комплексов Ti–C–Sr (2–8) и Ti–B–Sr (9–12) на междендритное расстояние α -Al тв. р-ра

Рисунок 3 иллюстрирует изменение объемной доли α -Al твердого раствора в структуре исследуемого сплава в зависимости от введения различных концентраций элементов модифицирующих комплексов Ti–C–Sr и Ti–B–Sr. Анализ рисунка 3 показывает, что модифицирование сплава Al–7Si комплексами Ti–C–Sr и Ti–B–Sr приводит к уменьшению объемной доли α -Al тв. р-ра и, соответственно, увеличению объемной доли эвтектики в структуре сплава. При этом эффект модифицирования имеет нелинейный характер, как и при анализе междендритного расстояния α -Al. Объемная доля α -Al тв. р-ра в структуре исходного сплава составляет 76,5 %. Введение титана в количестве 0,01 % в составе обоих комплексов приводит к уменьшению данного показателя на 9,2 % и 8,7 % до уровня 69,5 % и 69,9 % для образцов 2 и 9, соответственно. Повышение содержания титана от 0,01 % до 0,025 % и 0,05 % (комплекс Ti–C–Sr) приводит к линейному увеличению исследуемого параметра до значений 71,7 % и 72 %, соответственно. Дальнейшее увеличение концентрации титана приводит к уменьшению объемной доли алюминиевого твердого раствора. Наименьшей объемной долей первичного алюминия среди сплавов, модифицированных комплексом

Ti–C–Sr, характеризуется сплав с добавками 0,4 % Ti и 0,03 % Sr (рис. 3 (6)), которая в данном случае составляет 67 %, что на 14,2 % меньше данного показателя для исходного сплава. Среди сплавов, модифицированных комплексом Ti–B–Sr, наименьшим значением исследуемого параметра характеризуется сплав с добавками 0,025 % Ti и 0,05 % Sr – 64,7 %, что на 15,5 % меньше, чем в немодифицированном сплаве.

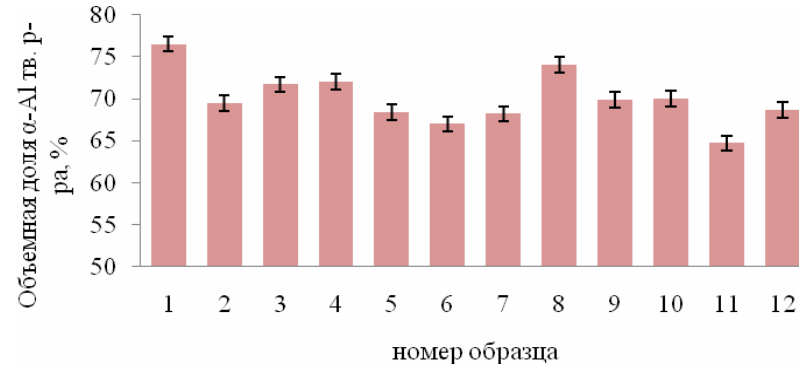


Рис. 3. Влияние различных добавок модифицирующего комплексов Ti–C–Sr (2–8) и Ti–B–Sr (9–12) на объемную долю α-Al тв. р-ра

Увеличение объемной доли эвтектической составляющей в структуре сплава, а также изменение морфологии дендритов первичного алюминия с грубой, слабоветвленной, на более благоприятную, с ветвями высших порядков, вероятно, приведет к повышению прочностных характеристик сплава

Анализ микроструктур, приведенных на рисунке 4, показывает, что модифицирование исходного сплава способствует значительным изменениям в морфологии эвтектики сплава и, в частности, кремниевой ее составляющей. Грубо дифференцированная эвтектика с пластинчатым кремнием в исходном сплаве сменяется тонко дифференцированной эвтектикой с сечениями ветвей эвтектической округлой формы. Основную роль в разветвлении кремниевой составляющей эвтектики играет стронций, который, образуя межатомные связи Si–Sr, усиливает “металлизацию” кремниевого твердого раствора [7]. Такие изменения в морфологии эвтектики сплава, вероятнее всего, приводят к росту пластических свойств сплава.

С целью более глубокого анализа эффекта модифицирования на форму кристаллов эвтектического кремния проведен анализ изменения параметра формы сечений его кристаллов в зависимости от введения различных концентраций элементов комплексов Ti–C–Sr и Ti–B–Sr. Результаты приведены на рисунке 5. Как показывают данные, введение модифицирующих комплексов приводит, в среднем, к уменьшению

исследуемого параметра в 4 раза по сравнению с немодифицированным сплавом, где параметр формы составляет 7,71.

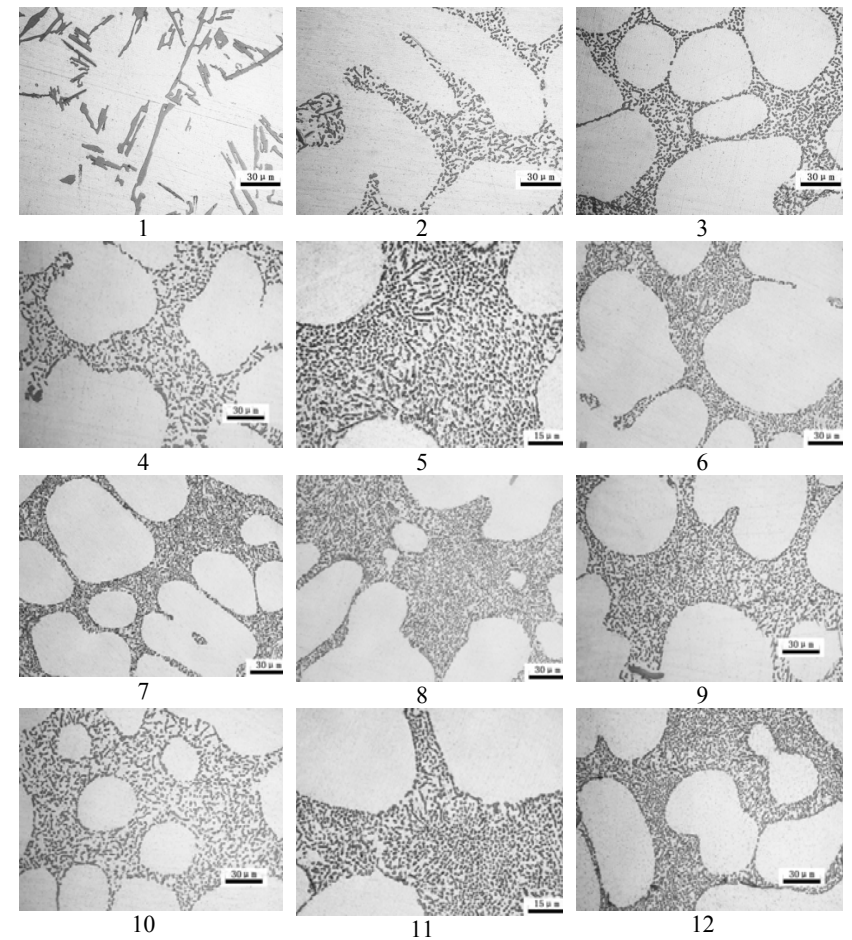


Рис. 4. Микроструктура сплава Al-7Si в исходном (1) и модифицированном комплексами Ti-C-Sr (2-8) и Ti-B-Sr (9-12) состоянии, 1-4, 6-10, 12 - $\times 500$; 5, 11 - $\times 1000$

При этом изменение химического состава комплекса и его концентрации оказывает незначительное влияние на данный показатель. Параметр формы эвтектического кремния во всех модифицированных сплавах варьируется в

пределах 1,65–2,06. Наиболее благоприятной формой эвтектического кремния характеризуются сплавы 11 и 12, модифицированные комплексом Ti–B–Sr.

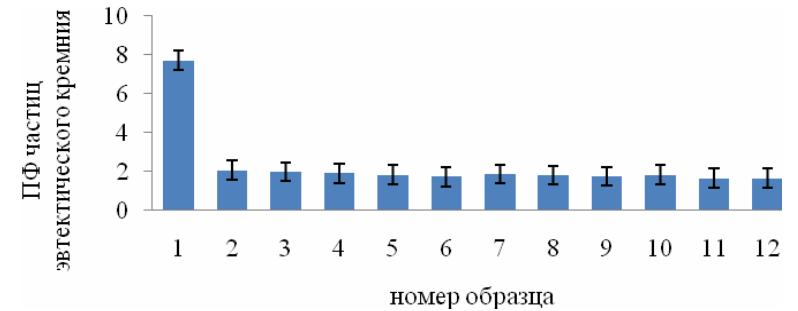


Рис. 5. Влияние различных добавок комплексов Ti–C–Sr (2–8) и Ti–B–Sr (9–12) на параметр формы эвтектического кремния

Параметр формы эвтектического кремния в этих сплавах составляет 1,66 и 1,65, соответственно, что на 79,6 % ниже соответствующего значения для исходного сплава. Среди сплавов, модифицированных комплексом Ti–C–Sr, наиболее благоприятной структурой эвтектики характеризуется сплав 6, параметр формы эвтектического кремния в котором составляет 1,72, что на 78,7 % ниже аналогичного показателя исходного сплава.

Выводы. Исследовано влияние модифицирующих комплексов Ti–C–Sr и Ti–B–Sr на параметры структуры сплава типа Al–7Si. Результаты показали, что добавки обоих комплексов приводят к удовлетворительному результату модифицирования структуры исследуемого сплава. Среди всех сплавов модифицирующих комплексом Ti–B–Sr наименьшим междендритным расстоянием α -Al тв. р-ра, объемной долей α -Al тв. р-ра и параметром формы эвтектического кремния характеризуется сплав, модифицированный 0,025 % Ti, 0,005 % B и 0,05 % Sr. Среди сплавов, модифицированных комплексом Ti–C–Sr, наиболее благоприятными показателями структурных параметров характеризуется сплав с добавками 0,4 % Ti, 0,016 % C и 0,03 % Sr.

Для получения полной картины изменения структуры и свойств сплава Al–7Si необходимы дополнительные исследования механических свойств сплава, его твердости и микротвердости структурных составляющих.

Литература

1. Куцова В. З. Структура, фазовый состав и свойства сплава АК7ч в исходном состоянии и с добавками стронция, титана и бора / В. З. Куцова, А. С. Єлагін // Вісник Дніпропетровського університету. – Д., 2010. – С. 114–120.
2. Н. Liao, G. Sun. Mutual poisoning effect between Sr and B in Al–Si casting alloys // Scripta Materialia. – 48 (2003). – 1035–1039.
3. Т. Sagstad, E. Bhodus, European Patent № EP1134299 A1 (2001).

4. Куцова В. З. Влияние комплексного модифицирования, термической обработки в жидком состоянии на структуру и свойства сплава АК7ч / В. З. Куцова, А. С. Елагин // Новини науки Придніпров'я. – Д. : ДВНЗ ПДАБА, 2012. – № 2. – С. 13–16.
5. A. K. Prasad Rao, K. Das, B. S. Murty, M. Chakraborty. Al–Ti–C–Sr master alloy – A melt inoculant for simultaneous grain refinement and modification of hypoeutectic Al–Si alloys // Journal of Alloys and Compounds. – 480 (2009). – P. 49–51.
6. Куцова В. З. Вплив модифікування сплаву АК7ч на параметри структури та механічні властивості / В. З. Куцова, А. С. Елагин // IX Міжнар. наук.-практ. конф.: тези доповідей – Д., 2009. – С. 537.
7. Ганиев И. Н. Модифицирование силуминов стронцием / И. Н. Ганиев, П. А. Пархутик, А. В. Вахобов, И. Ю. Куприянова. – Минск: Наука и техника, 1985. – 143 с.

УДК. 669.15'713'295-194.

Влияние комплексов Ti–C–Sr и Ti–B–Sr на структурные параметры сплава Al–7Si / В. З. Куцова, Е. И. Свиarenко, Т. Б. Дмитриева// Матеріалознавство та термічна обробка металів : науков. та інформ. журнал / Д. : ДВНЗ ПДАБА, 2014. – № 4.– С. – .– Табл. 1. – Рис. 5. – Бібліогр. : (7 назв.)

Изучено влияние модифицирующих комплексов Ti–C–Sr и Ti–B–Sr на микроструктуру сплава Al–7Si в литом состоянии. Выявлено наличие модифицирующего эффекта при комплексном введении бора и стронция и исследованы возможности использования комплекса Ti–C–Sr для модифицирования структуры доэвтектического силумина. Методами количественной металлографии определены параметры структуры сплава: междендритное расстояние α -Al твердого раствора, объемная доля α -Al твердого раствора и параметр формы эвтектического кремния (ПФ).

Вивчено впливу модифікуючих комплексів Ti–C–Sr і Ti–B–Sr на микроструктуру сплаву Al–7Si в литому стані. Виявлено наявності модифікуючого ефекту при комплексному введенні бору та стронцію, та досліджено можливості використання комплексу Ti–C–Sr як альтернативи комплексу Ti–B–Sr для модифікування доевтектичного силуміну Al–7Si. Методами кількісної металографії визначені такі параметри структури сплаву, як міждендритна відстань α -Al твердого розчину, об'ємна частка α -Al твердого розчину та параметр форми евтектичного кремнію (ПФ).

This study is focused on effect of Ti–C–Sr and Ti–B–Sr modifying complexes on as-cast Al–7Si alloy microstructure. To identify the presence of mutual poisoning effect between boron and strontium complexly added into the melt, and the possibility of using Ti–C–Sr complex as an alternative to Ti–B–Sr complex in order to modify hypoeutectic Al–7Si alloy structure. Object of research: unmodified and modified hypoeutectic Al–7Si alloy. Using different methods of quantitative metallography structural parameters such as secondary dendritic arms spacing of α -Al solid solution (SDAS), volume fraction of α -Al solid solution and eutectic silicon shape parameter (PF) were defined. Based on these results conclusions are made in accordance with the objectives of the study.