

УДК. 539.216; 539.22

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КРЕМНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СИЛУМИНОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ МЕТАЛЛАМИ

Гусакова О.В.¹, Шепелевич В.Г.², Гусакова С.В.²

¹Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова БГУ

²Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты исследования микроструктуры силуминов, полученных высокоскоростным затвердеванием при скоростях охлаждения расплава 10^5 – 10^7 К/с. Установлено изменение механизма затвердевания при увеличении концентрации кремния от доэвтектической (5 мас.%) до эвтектической (12,6 мас.%) концентрации. Определена зависимость микротвердости силумина от концентрации кремния, легирующих металлов, и скорости охлаждения расплава при высокоскоростном затвердевании.

Ключевые слова: алюминий, кремний, эвтектика, высокоскоростное затвердевание

INFLUENCE OF SILICON CONCENTRATION ON MICROSTRUCTURE AND MICROHARDNESS OF QUICKLY HARDENED SILUMINS ALLOYED WITH METALS

Gusakova O.¹, Shepelevich V.², Husakova S.²

¹International Sakharov Environmental Institute BSU

²Belarusian State University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of a study of the microstructure of silumins obtained by high-speed solidification at melt cooling rates of 10^5 – 10^7 K/s are presented. A change in the mechanism of solidification with an increase in silicon concentration from hypoeutectic (5 wt.%) to eutectic (12.6 wt.%) concentration has been established. The dependence of the microhardness of silumin on the concentration of silicon, alloying agents, and the cooling rate of the melt during high-speed solidification has been determined.

Key words: aluminum, silicon, eutectic, high speed solidification.

Адрес для переписки: Гусакова С.В., пр. Независимости, 4, Минск 220030, Республика Беларусь

e-mail: husakova@bsu.by

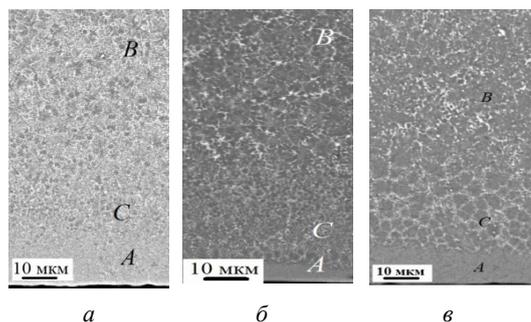
Силумины находят применение в электронной промышленности, так как обладают высокой прочностью при низкой удельной плотности, низким коэффициентом линейного расширения, паяемостью. Поскольку в силуминах Si основной легирующий элемент, то его концентрация и форма включений являются определяющими для эксплуатационных характеристик изделий. Наличие крупных пластин кремния в литых силуминах приводит к трещинообразованию при деформации. Измельчение и подавление роста пластин фазы кремния достигается увеличением скорости затвердевания при производстве фольги сплава методом сверхбыстрой закалки из расплава. Цель настоящей работы исследование влияния концентрации кремния на микроструктуру и механические свойства фольги силуминов, легированных металлами.

В этом методе сверхбыстрой закалки из расплава расплав выливался на внутреннюю поверхность вращающегося медного барабана, растекался и застывал в виде фольги. Толщина фольги находилась в пределах 40–150 мкм. В работе представлены результаты исследования микроструктуры фольги толщиной 90–100 мкм. Составы исследуемых сплавов приведены в таблице 1. Согласно равновесной диаграмме состояния системы Al-Si сплавы 1 и 2 относятся к доэвтектическим, сплав 3 близок к эвтектическому.

Таблица 1. Концентрация элементов в сплавах

Номер сплава	Концентрация, мас. %						
	Al	Si	Mg	Mn	Fe	Ni	Cu
1	91,0	5,1	0,5	0,3	0,9	0,4	1,8
2	84,5	10,4	0,8	0,6	0,9	0,8	1,9
3	83,1	12,4	0,8	0,4	0,7	0,9	1,8

Общий вид микроструктуры сплавов приведен на рис. 1.



а – сплав 1; б – сплав 2; в – сплав 3

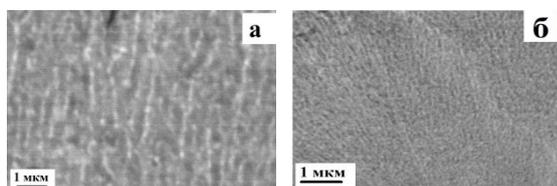
Рисунок 1 – Микроструктура фольги сплавов силумина различного состава

В поперечном сечении фольги всех исследуемых сплавов выявляется неоднородность микроструктуры, выражающаяся в наличии слоев различного строения. Такая неоднородность обнаруживается в фольге аномальных эвтектик [1]. Было

показано, что в быстрозатвердевшей фольге доэвтектического силумина, легированном металлами, концентрация элементов в слоях постоянна и соответствует концентрации в исходном сплаве [2].

Причиной слоистой микроструктуры является изменение скорости охлаждения расплава. В слое фольги, прилегающем к кристаллизатору затвердевание начинается при максимально достижимом переохлаждении расплава и коэффициенте теплопередачи. Это обеспечивает безразделительную кристаллизацию с образованием пересыщенного твердого раствора на основе Al. В решетке алюминия в процессе охлаждения выделяются наноразмерные глобулярные частицы кремния и легирующих металлов, в том числе их интерметаллические соединения. В процессе затвердевания переохлаждение расплава уменьшается из-за выделения скрытой теплоты кристаллизации, а также ухудшаются условия теплоотвода, что приводит к ячеистому механизму затвердевания, а затем к образованию первичных дендритов Al и эвтектического кремния в междендритном пространстве.

На рис. 2 приведена микроструктура ячеистого слоя и распределение элементов в ячейках для сплава 2 и 3. Практически важным результатом оказывается образование в ячеистом слое субмикронных частиц с размером не более 300 нм. С повышением концентрации кремния расстояние между ячейками уменьшается



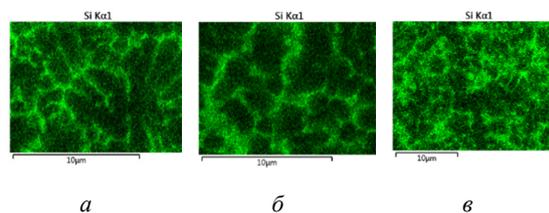
а – сплав 2; б – сплав 3

Рисунок 2 – Микроструктура в ячеистом слое фольги сплавов 2 и 3

Для всех сплавов основной объем фольги занимает слой, прилегающий к свободно затвердевающей стороне. Микроструктура слоя состоит из микронных дендритов. В зависимости от концентрации кремния изменяются соотношения объемной доли первичных дендритов α -Al и объема смеси алюминия и эвтектического кремния в междендритном пространстве. На рис. 2 приведены карты распределения Si в слое фольги, прилегающем в свободно затвердевающей стороне.

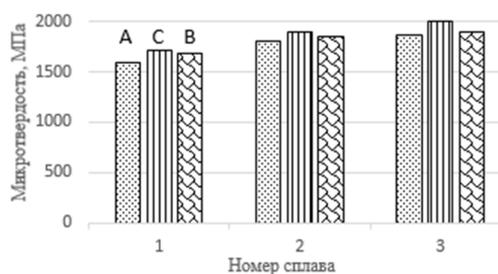
Результаты измерения микротвердости фольги исследуемых сплавов представлены на рис. 4.

Установлено, что микротвердость быстрозатвердевшей фольги в 3,5–4 раза выше микротвердости литого силумина того же состава и увеличивается с ростом концентрации кремния. Легирование металлами приводит к повышению микротвердости на 100 % по сравнению с нелегированной фольгой.



а – сплав 1, б – сплав 2, в – сплав 3

Рисунок 3 – Карта распределения кремния в слое фольги, прилегающем к кристаллизатору.



A – нижний слой фольги; C – средний слой; B – слой у свободно затвердевающей поверхности

Рисунок 4 – Микротвердость сплавов 1, 2 и 3

В результате проведенных исследований установлено, что в доэвтектических и эвтектическом силумине, легированном металлами, реализуется сходный механизм формирования неоднородной по толщине микроструктуры. Неоднородность микроструктуры обусловлена изменением термодинамических условий затвердевания. Дисперсность микроструктуры фольги и легирование металлами обеспечивает высокую микротвердость сплавов.

Литература

- Zuo, M. Effect of rapid solidification on the microstructure and refining performance of an Al-Si-P master alloy / M. Zuo, X. F. Liua, Q. Q. Sun // Journal of Materials Processing Technology. – 2009. – V. 209. – P. 5504–5508.
- Гусакова, О. В. / Влияние скорости охлаждения расплава на микроструктуру сплава Al-Si, легированного Mg, Mn, Fe, Ni и Cu / О. В. Гусакова, С. В. Гусакова, В. Г. Шепелевич // Физика металлов и металлургия. – 2022. – Т. 123. – № 5. – С. 533–540.