

## ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

<sup>1,2</sup>М.Е.РЫГИНА, <sup>2</sup>Ю.Ф. ИВАНОВ, <sup>2</sup>Е.А. ПЕТРИКОВА, <sup>2</sup>А.Д. ТЕРЕСОВ

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН

E-mail: [L-7755me@mail.ru](mailto:L-7755me@mail.ru)

Силумин является сплавом алюминия с кремнием. Кремний слабо растворим в твердом алюминии и полностью растворим в жидком. Кремний не растворяет в себе металлы, растворимость алюминия в твердом кремнии равна нулю [1, 2]. Различают, по процентному содержанию, доэвтектические ( $Si < 11\%$ ), эвтектические ( $Si = 11-12,5\%$ ), заэвтектические ( $Si > 12,5\%$ ) силумины. Диаграмма состояния силумина относится к диаграммам эвтектического типа [3].

Благодаря стойкости к коррозии, хорошим литейным свойствам и малому удельному весу заэвтектический силумин является перспективным материалом для изготовления деталей машин, таких как поршни и подшипники качения. Ограничения по использованию данного сплава связаны с высокой газонасыщаемостью на этапе отливки, вследствие чего образуются поры. Так же в заэвтектическом силумине помимо эвтектики и интерметаллидов, присутствуют первичные зерна кремния, размер которых может достигать до 100 мкм. Для устранения этих недостатков при отливке используют легирующие и модифицирующие добавки, а так же различные способы отливки. При легировании вольфрамом происходит равномерное распределение эвтектики ( $\alpha-Al + Si$ ), уменьшение в 1,5 раза размеров пластин кремния, изменение формы грубых пластин в более тонкую форму и улучшение механических свойств на 15- 20% [4]. Так же легируют берриллием [5], титаном, сурьмой [6]. Используют центробежное литье, данный метод имеет ограничение по форме отливаемых заготовок. [7].

Метод модификации электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия позволяет, не используя дорогостоящие легирующие добавки, осуществлять диспергировать структуру поверхностного слоя готовых изделий.

Целью данной работы является исследование механических характеристик заэвтектического силумина обработанного электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия.

В качестве материала исследования был выбран заэвтектический силумин с содержанием кремния 20 вес.%, полученный методом литья. Отливки представляли собой прямоугольные пластины размером  $55 \times 120 \times 20$  мм (без учета прибыли), из которых вырезали образцы размерами  $15 \times 15 \times 5$  мм для обработки импульсным электронным пучком с целью анализа структурно-фазового состояния и свойств силумина, а также плоские образцы в форме двухсторонних лопаток для испытания на растяжения в соответствии с ГОСТ 1497-84 [8]. Облучение образцов интенсивным импульсным электронным пучком осуществляли на установке «СОЛЮ» [9]. Режим облучения: энергия ускоренных электронов 18 кэВ, плотность энергии пучка электронов  $20 \text{ Дж/см}^2$ , длительность воздействия пучка электронов 150 мкс, частота следования импульсов  $0,3 \text{ с}^{-1}$ , число импульсов облучения 5 в остаточной атмосфере аргона при давлении 0,02 Па. Режим облучения выбран согласно тепловым расчетам [10].

На рисунке 1 представлена структура поверхности облученного заэвтектического силумина. В структуре отсутствуют газовые поры и первичные зерна кремния. Это свидетельствует о переплаве поверхностного слоя с растворением всех фаз, присутствующих в нем. Согласно исследованиям структуры, размер кристаллитов составил 2-4 мкм. Твердость поверхности составила 1541 МПа (исходная твердость 665 МПа). Таким образом, твердость выросла более чем в два раза по сравнению с литым материалом. После испытания на растяжение до разрыва деформация при растяжении выросла в 1,5 раза.

Исследования структуры показали, увеличение прочностных и пластических свойств облученного силумина обусловлено формированием в поверхностном слое толщиной до 60 мкм субмикрорекристаллической ячеистой структуры высокоскоростной кристаллизации алюминия с наноразмерными включениями кремния и интерметаллидов, расположенных по границам и в объеме ячеек.

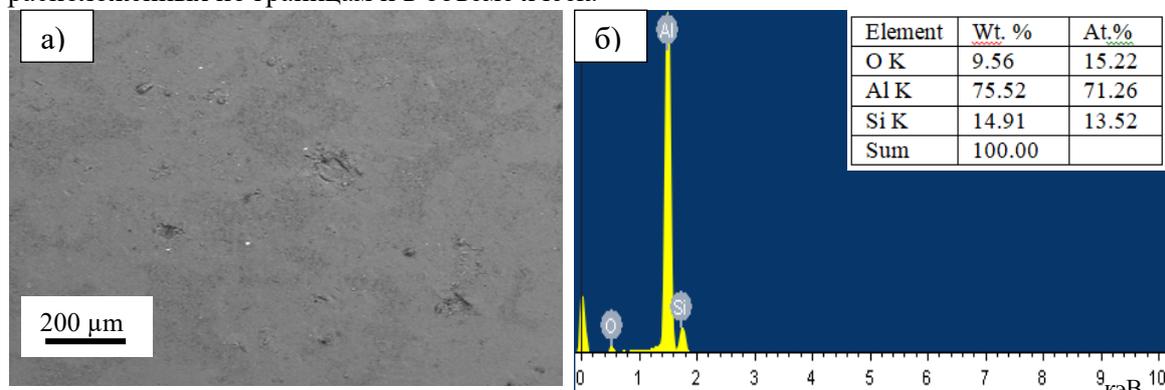


Рисунок 1 - СЭМ изображение (а) и энергетические спектры (б) поверхности силумина после модификации электронным пучком ( $20 \text{ Дж/см}^2$ , 150 мкс,  $0,3 \text{ с}^{-1}$ , 5 имп.)

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №19-52-04009).*

#### Список литературы

1. Гаврилин И.В., Кечин В.А., Колтышев В.И. Получение литейных силуминов с использованием пылевидного кремния и металлоотходов. Моногр. / Владим. гос. ун-т. Владимир. - 2003. - 149 с.
2. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов: Пер. с англ. Т1. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во литературы по черной и цветной металлургии. 1962. – 608 с.
3. Белов Н.А., Савченко С.В., Хван А.В. Фазовый состав и структура силуминов: Справочное издание. - М.: МИСИС. - 2007. - 283 с.
4. Martyushev N.; Zyкова. A., Bashev V. Modification of Al-Si Alloys with Particles of Ultrafine Tungsten Powder // Obrabotka metallov-metal working and material science.-2017-V.3.-pp. 53-58
5. Перваков Д.Г., Баранов Е.М., Строителев Д.В., Романов И.О. К вопросу о многообразии подходов, объясняющих эффекты модифицирования силуминов // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР В XXI веке.-2012.-Т.1.- С. 30-36
6. Стеценко В.Ю., Ривкин А.И., Гутев А.П., Коновалов Р.В. Модифицирование силуминов мелкокристаллическими алюминиевыми сплавами // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого.-2009.-№1.- С. 21-24
7. Стеценко В.Ю., Баранов К.Н., Гутев А.П. Способ охлаждения отливок из силумин АК15М3 при вертикальном центробежном литье // Литье и металлургия. - 2013. - №3(72). - С. 116-117
8. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. - М: Стандартиформ. – 2005. – С. 24
9. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке // Известия вузов. Физика. - 2008. – Т. 51. – № 5. – С. 60-70.
10. Иванов Ю.Ф., Петрикова Е.А., Иванова О.В., Иконникова И.А., Ткаченко А.В. Численное моделирование температурного поля силумина, облученного интенсивным электронным пучком // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58. – №4. - С. 46-51.