

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

1

DOI: 10.17223/9785946217408/47

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СИЛУМИНА

¹Коновалов С.В., ²Комиссарова И.А., ²Аксёнова К.В., ²Громов В.Е., ^{3,4}Иванов Ю.Ф.

¹Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

²Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

³Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

⁴НИ Томский политехнический университет, Томск, Россия

Целью настоящей работы является анализ возможности диспергирования структуры силумина марки АК10М2Н в процессе облучения интенсивным импульсным электронным пучком в режиме плавления поверхностного слоя.

Облучение поверхности пластинок осуществляли на установке «СОЛО» [1] интенсивным импульсным электронным пучком с параметрами: энергия ускоренных электронов 17 кэВ, плотность энергии пучка электронов 25 Дж/см², длительность импульса пучка электронов 150 мкс, количество импульсов 3, частота следования импульсов 0,3 с⁻¹, давление остаточного газа (аргон) в рабочей камере установки 2*10⁻² Па. Параметры облучения выбирали, основываясь на результатах моделирования поля температур, формирующегося при обработке поверхности материала электронным пучком [1, 2].

Структура силумина в исходном состоянии представлена зернами твердого раствора на основе алюминия, зернами эвтектики, включениями кремния и интерметаллидов. В [1] показано, что облучение металлов и сплавов интенсивным импульсным электронным пучком сопровождается формированием градиентной структуры. Методами просвечивающей электронной микроскопии тонких фольг установлено, что облучение поверхности образцов силумина интенсивным импульсным электронным пучком в режиме плавления сопровождается формированием структуры ячеистой кристаллизации. В слое с ячеистой структурой толщиной до 40 мкм включений второй фазы, характерных для силумина литого состояния, не обнаружено, что, очевидно, свидетельствует об их плавлении.

Методами микрорентгеноспектрального анализа выполнены исследования распределения элементов в поверхностном слое облученных образцов. Результаты исследований, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о том, что, во-первых, в поверхностном слое толщиной ≈60 мкм кремний распределен по объему материала квазиоднородно; включения кремния обнаруживаются на большем расстоянии от поверхности облучения, во-вторых, концентрация атомов кремния в поверхностном слое толщиной ≈60 мкм не менее чем в два раза ниже заявленной в ГОСТе 30620-98 и, в-третьих, включения интерметаллидной фазы обнаруживаются на глубине ≈40 мкм и более.

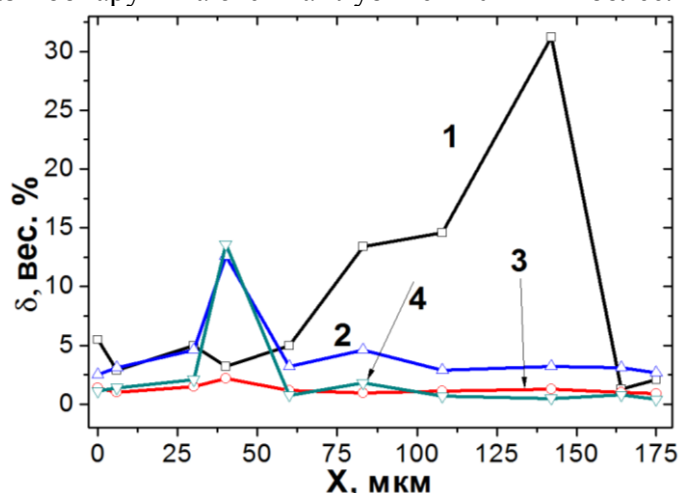


Рис. 1. Зависимость концентрации легирующих элементов силумина АК10М2Н от расстояния от поверхности облучения электронным пучком: 1 – Si, 2 – Cu, 3 – Mg, 4 – Ni.

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

Методами микрорентгеноспектрального анализа установлено, что ячейки сформированы твердым раствором на основе алюминия и разделены тонкими прослойками второй фазы, которые обогащены атомами кремния и меди. Средний размер ячеек высокоскоростной кристаллизации поверхностного слоя составляет $0,4 \text{ мкм} \pm 0,11 \text{ мкм}$. При большем удалении от поверхности облучения средние размеры ячеек кристаллизации увеличиваются и на нижней границе слоя с ячеистой структурой достигают значений $0,65 \text{ мкм} \pm 0,22 \text{ мкм}$.

Поверхностный слой силумина со структурой ячеистой кристаллизации характеризуется наличием зерен пластинчатой эвтектики (рис. 2, а). Первые зерна эвтектики обнаруживаются в слое, расположенном на глубине $\approx 15 \text{ мкм}$. По мере удаления от поверхности облучения относительное содержание зерен эвтектики увеличивается. Зерна эвтектики располагаются островками или прослойками между ячейками высокоскоростной кристаллизации алюминия. Присутствие зерен эвтектики свидетельствует о существовании в поверхностном слое материала локальных областей с относительно высокой ($\approx 12 \text{ ат. \%}$) концентрацией атомов кремния. Размеры зерен эвтектики близки к размерам зерен твердого раствора на основе алюминия (ячейки кристаллизации). Поперечные размеры пластин эвтектики изменяются в пределах от 25 до 50 нм.

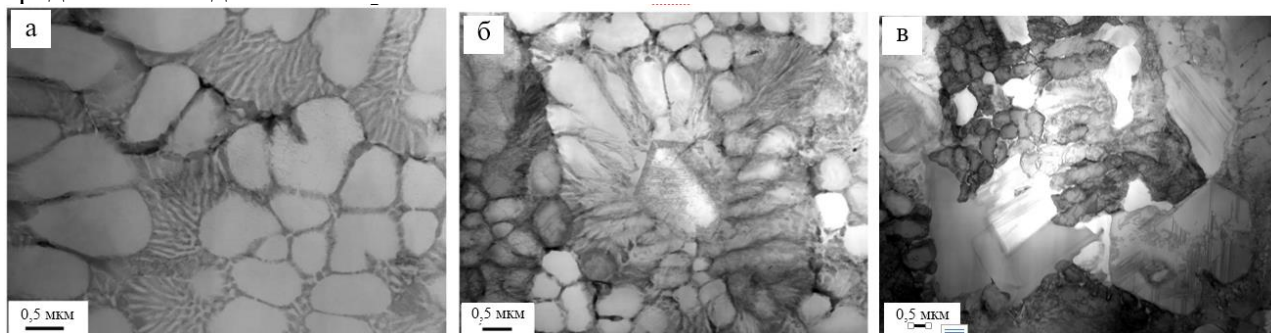


Рис. 2. Структура слоя силумина, облученного электронным пучком, расположенного на глубине $\approx 30 \text{ мкм}$ (а), 50 мкм (б), 90 мкм (в).

Слой силумина, в котором плавится алюминий и кремний, а включения интерметаллидов литейного происхождения сохраняются, обнаруживается на глубине $50\text{-}70 \text{ мкм}$ (рис. 2, б). В этом случае формируется структура ячеистой кристаллизации алюминия и зерна пластинчатой эвтектики. Включения интерметаллидов выступают в качестве центров ячеистой кристаллизации. Слой силумина, в котором плавится только алюминий и присутствуют первичные включения кремния и интерметаллидов, выявляется на расстоянии $80\text{-}90 \text{ мкм}$ от поверхности облучения. В этом случае в структуре наблюдаются ячейки высокоскоростной кристаллизации алюминия. Зерна пластинчатой эвтектики субмикронных размеров отсутствуют (рис. 2, в).

Таким образом, обработка образца силумина марки АК10М2Н высокоинтенсивным импульсным электронным пучком в режиме плавления поверхностного слоя приводит к растворению первичных включений кремния и интерметаллидов, формированию структуры высокоскоростной ячеистой кристаллизации алюминия и зерен пластинчатой эвтектики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 3.1283.2017/4.6 и гранта РФФИ (проект №16-58-00075-Бел_а).

Литература

1. Электронно-ионно-плазменная модификация поверхности цветных металлов и сплавов / под общ. ред. Н.Н. Коваля и Ю.Ф. Иванова. Томск: Изд-во НТЛ, 2016. 312 с.
2. Ivanov Yu.F., Krysina O.V., Rygina M., Petrikova E.A., Teresov A.D., Shugurov V.V., Ivanova O.V., Ikonnikova. I.A. Combined modification of aluminum by electron-ion-plasma methods // High Temp Mat. Proc. 2014. V. 18, №4. P. 311-317.