

УДК 546.62:539.25:621.785.6

ВЫДЕЛЕНИЕ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ ФАЗ  
В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГАХ СПЛАВА Al–Mg–Zr ПРИ ОТЖИГЕИ. А. СТОЛЯР<sup>1</sup>, И. И. ТАШЛЫКОВА-БУШКЕВИЧ<sup>2</sup>, В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ<sup>1</sup><sup>1</sup>Белорусский государственный университет<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Беларусь

В настоящее время алюминиевые сплавы активно применяются в таких областях современной техники, как машиностроение, приборостроение, электротехническая и авиационная промышленность. Широкое распространение получили сплавы системы Al–Mg благодаря сочетанию высокой прочности с хорошей свариваемостью и пластичности [1]. Для оценки эффективности использования сверхбыстрой закалки из расплава для получения промышленных многокомпонентных сплавов с улучшенными физическими и механическими свойствами необходима информация о структуре и свойствах быстрозатвердевших (БЗ) тройных сплавов. Цель работы – выполнить исследование структурно-фазового состояния БЗ экспериментального сплава Al–Mg–Zr после отжига.

В работе сплав Al – 1,37 % Mg – 0,21 % Zr (масс. %) был получен сплавлением компонентов – бинарного сплава Al – 0,21 % Zr и Mg – в кварцевой ампуле со стеклянной пробкой в муфельной печи при температуре 900 °С. Далее фольги изучаемого сплава изготавливались закалкой из жидкой фазы при сверхвысоких скоростях охлаждения (около 10<sup>6</sup> К/с) на внутренней поверхности медного цилиндра, вращающегося с частотой 1500 об/мин. Толщина отобранных для исследования быстрозатвердевших (БЗ) фольг была около 40...80 мкм. Методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с приставкой для рентгеноструктурного микроанализа изучалось поперечное сечение БЗ и отожженных при 250 °С...300 °С в течение 1 ч фольг.

С помощью метода РЭМ установлено, что БЗ-сплав состоит из пересыщенного  $\alpha$ -твердого раствора и его структура однородна. В объеме БЗ-фольг сплава Al–Mg–Zr отсутствуют первичные включения вторых фаз (рис. 1). Далее при отжиге при температурах 250 °С...300 °С наблюдается ускоренный распад пересыщенного твердого раствора с образованием частиц вторичных фаз.

На рис. 2 приведены карты распределения основных элементов поперечного сечения фольг, отожженных при температуре 300 °С, полученные методом энергодисперсионного спектрометрического микроанализа. Определено, что Mg распределен неравномерно в поперечном сечении отожженных фольг. Наблюдаются локальные области, обедненные алюминием, с повышенным содержанием магния.

По результатам энергодисперсионного анализа можно сделать вывод, что в структуре поперечного сечения фольг после отжига по границам дендритных ячеек алюминиевого твердого раствора формируются области, в которых из-за дендритной ликвации повышено содержание легирующего компонента –

магния. Наблюдаемая сетка включений магнийсодержащей фазы, по-видимому, соответствует фазе  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  ( $\beta$ -фаза) [2]. Как известно, в зависимости от состава сплава системы  $\text{Al-Mg-Zr}$  и режимов термической обработки может, в частности, формироваться такая вторичная фаза, как  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ . Фаза  $\beta$  образуется при температурах около  $200\text{ }^\circ\text{C}$  и выше до  $375\text{ }^\circ\text{C} \dots 400\text{ }^\circ\text{C}$  [2]. Отметим, что подобные фазовые превращения наблюдались нами при отжиге БЗ-сплава 1421  $\text{Al-Mg-Li-Sc-Zr}$  [2]. О дендритных ячейках в литых образцах сплава  $\text{Al-Mg-Zr}$  с содержанием  $0,2\% \dots 0,3\%$   $\text{Zr}$  и  $2,8\% \dots 3,2\%$   $\text{Mg}$  сообщается в [3].

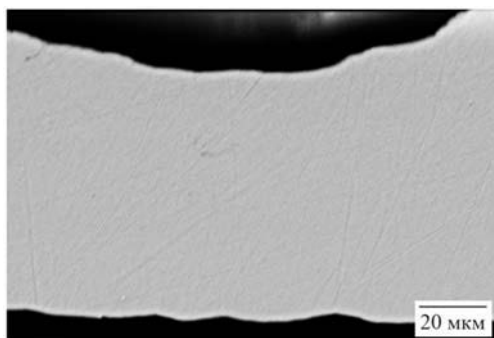


Рис. 1. РЭМ-изображение поперечного сечения свежезакаленной фольги экспериментального сплава  $\text{Al-Mg-Zr}$

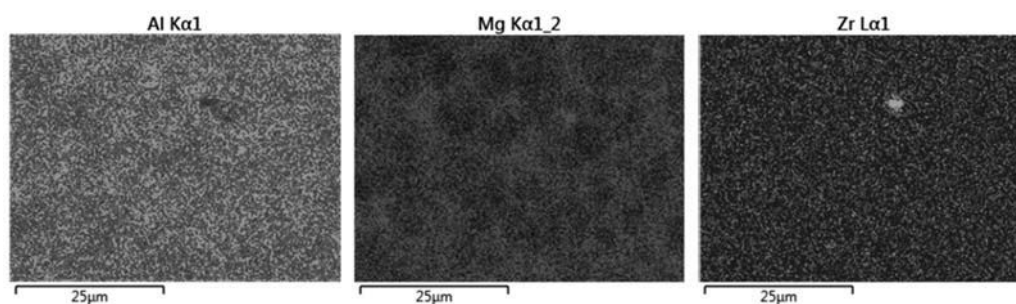


Рис. 2. Картирование поперечного сечения по основным химическим элементам фольг сплава  $\text{Al-Mg-Zr}$  после отжига при температуре  $300\text{ }^\circ\text{C}$

Таким образом, установлено, что свежезакаленные фольги сплава  $\text{Al-Mg-Zr}$  состоят из пересыщенного твердого раствора на основе алюминия. В интервале температур отжига  $250\text{ }^\circ\text{C} \dots 300\text{ }^\circ\text{C}$  в структуре фольг присутствуют включения частиц фазы  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  по границам дендритных ячеек.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тенденции развития деформируемых сплавов системы  $\text{Al-Mg-Si-(Cu)}$ . Часть 1 (обзор) / И. Бенариеб [и др.] // Авиационные материалы и технологии. – 2019. – Т. 56, № 3. – С. 14–22.
2. Термическая стабильность микроструктуры быстрозатвердевшего сплава  $\text{Al-Mg-Li-Sc-Zr}$  / И. А. Бушкевич [и др.] // Актуальные проблемы физики твердого тела: материалы VIII Междунар. науч. конф., Минск, 24–28 сент. 2018 г.: в 3 т. – Минск, 2018. – Т. 1. – С. 134–136.
3. Precipitation behavior of L12  $\text{Al}_3\text{Zr}$  phase in  $\text{Al-Mg-Zr}$  alloy / A. V. Mikhaylovskaya [et al.] // Materials Characterization. – 2018. – Vol. 139. – P. 30–37.