

**ВЛИЯНИЕ ПОСЛОЙНОГО ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА НА  
СМАЧИВАЕМОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ СПЛАВОВ Al – In**<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники.<sup>2</sup>Белорусский государственный педагогический университет.<sup>3</sup>Белорусский государственный университет. Минск,  
Республика Беларусь. [iya.itb@gmail.com](mailto:iya.itb@gmail.com).

Методом резерфордовского обратного рассеяния исследовано распределение индия по глубине быстрозатвердевших (БЗ) фольг сплавов Al – In, с содержанием легирующего элемента от 0,02 ат. % до 5,5 ат. %. Обнаружено, что концентрация индия в тонком приповерхностном слое (0,02 мкм) кратно превышает его концентрацию в объеме. Эффект обогащения приповерхностной области максимален при малых концентрациях индия в фольгах. Значение краевого угла смачивания поверхности фольг дистиллированной водой снижается с ростом содержания индия на поверхности образцов.

Смачивание поверхности твердых материалов органическими жидкостями, водными растворами играет важную, а иногда определяющую роль во многих технологических и природных процессах. В зависимости от промышленных задач смачивание может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на свойства материалов. Известно, что металлы по своей молекулярной структуре гидрофобны [1]. Однако, достаточно большое количество научных работ, посвященных смачиванию металлических поверхностей водой, сообщают об их гидрофильности. Это связано с тем, что подавляющее большинство металлических изделий, в том числе и алюминиевых, эксплуатируется в естественных условиях среды, что и приводит к окислению их поверхности при контакте с воздухом. Образующиеся окислы, безусловно, меняют степень смачиваемости поверхности металла, гидрофилизируя ее. Поэтому, говоря о смачивании как о поверхностном явлении, особый интерес представляет микроструктура поверхностного и приповерхностного слоя изделия.

Ранее нами было обнаружено, что характер смачивания водой обеих поверхностей фольг чистого Al, получаемых высокоскоростной кристаллизацией из расплава, – гидрофобный [2]. Введение в Al добавок легкоплавкого In, который образует с алюминием монотектическую систему, существенно изменяет характер смачиваемости водой поверхности фольг: обнаружено, что сплавы обладают гидрофильными свойствами. Поэтому с целью управления смачиваемостью поверхности алюминиевых изделий в настоящей работе выполнено исследование элементного состава поверхности фольг алюминиевых сплавов, полученных при кристаллизации со скоростью охлаждения  $\sim 10^6$  К/с, и влияние концентрации In в приповерхностной области фольг на равновесный краевой угол их смачивания (РКУС).

Быстрозатвердевшие фольги бинарных сплавов алюминия с индием (0,02; 0,1; 0,2; 0,35; 0,7; 1,0; 1,4 и 5,5 ат. % In) были получены при кристаллизации капли расплава на внутренней полированной поверхности вращающегося медного цилиндра методом центробежной закалки, описанном в [3]. Для исследования использовались фольги толщиной 30 – 80 мкм. Скорость охлаждения расплава составила порядка  $10^6$  К/с [3].

Элементный послойный анализ БЗ фольг сплавов Al – In был выполнен с применением метода резерфордовского обратного рассеяния (РОР) ускоренных ионов гелия с  $E_0=1,7$  МэВ, геометрия рассеяния  $\theta_1=0^\circ$ ,  $\theta_2=20^\circ$ ,  $\theta=160^\circ$ . Обработка полученных спектров обратного рассеяния (ОР) осуществлялась по известной методике [4] и применением компьютерного моделирования экспериментальных спектров РОР по программе RUMP. Энергетическое разрешение детектирующей системы при исследовании образцов составляло  $\sim 20$  кэВ, что обеспечило послойный анализ сплавов с точностью 0,03 мкм. Погрешность определения содержания In методом РОР составила около 5 - 6 % [4].

На рис.1 *а,б* представлено моделирование программой RUMP типичного экспериментального спектра ОР от поверхности Б, контактирующей при получении фольги с воздухом, БЗ сплава Al – 0,2 ат. % In.

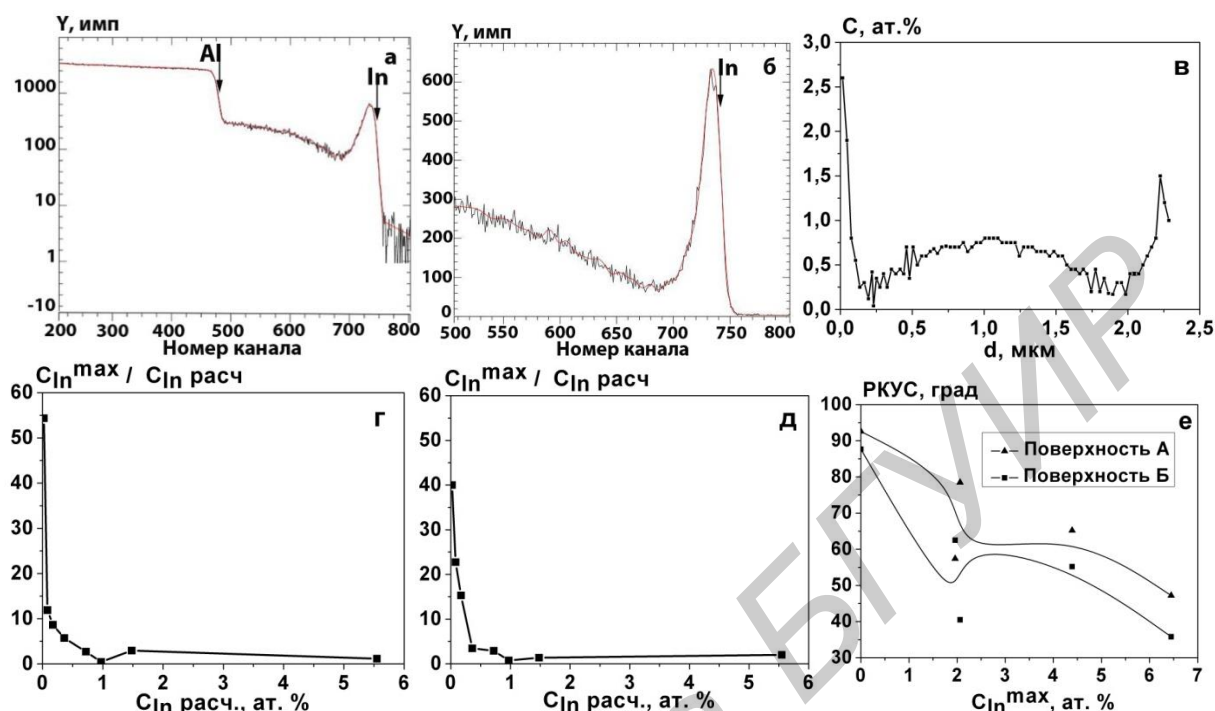


Рисунок 1. Элементный состав и смачиваемость дистиллированной водой БЗ сплавов Al - In: сравнение экспериментального и моделированного программой RUMP спектров ОР (*а*) и RUMP моделирование сигнала индия (*б*) на спектре ОР (*а*), выполненное для сплава Al - 0,2 ат. % In; зависимость степени обогащения тонкого приповерхностного слоя (0,03 мкм) фольги индием от его расчетной концентрации в сплавах для поверхностей А (*в*) и Б (*г*); зависимость РКУС от концентрации индия в тонких приповерхностных слоях фольг сплавов (*е*)

На рис.1 *в* показан профиль распределения In, полученный при моделировании спектра ОР программой RUMP от поверхности Б фольги сплава Al – 0,2 ат. % In. График демонстрирует неравномерное распределение In по толщине фольги. Тонкие приповерхностные слои толщиной ~ 0,03 мкм обогащены индием: концентрация In достигает 2,6 ат. %. Средняя измеренная в области поверхности толщиной от 0,2 до 2 мкм концентрация In составляет около 0,5 ат. %, что в 2,5 раза превосходит значение расчетной концентрации для данной БЗ фольги. Подобная закономерность неравномерного распределения In по глубине обнаружена для всех изученных БЗ сплавов Al – In. При достижении толщины анализируемого слоя 2 мкм при дальнейшем увеличении глубины анализа наблюдается рост концентрации In. Однако моделирование глубинных слоев выполняется на пределе возможностей анализа с помощью метода РОР, поэтому мы подробно не будем рассматривать данную область. Отметим, что обнаруженное обогащение индием тонких приповерхностных слоев может, по-видимому, быть объяснено диффузированием на поверхность фольг комплексов атом-легирующий элемент-вакансия [5].

Анализируя отношение концентрации In на поверхности фольг  $C_{In}^{max}$  к его расчетному содержанию в сплавах для поверхности А (контактирующей при получении фольги с цилиндром) и поверхности Б мы обнаружили общую для всех сплавов закономерность: степень обогащения поверхности наибольшая при низких концентрациях легирующего элемента (до 0,36 ат. % In) рис.1 *г,д*. Например, для поверхностей А и Б фольги сплава Al – 0,2 ат. % In степень обогащения составляет 54,3 и 40,0 соответственно. Дополнительно для слабелегированных сплавов Al – In обнаружена тенденция к увеличению содержания индия на поверхности Б по сравнению с поверхностью А (рис.1 *г,д*). Данная зависимость хорошо согласуется с аналогичными измерениями для БЗ фольг сплавов Al – Fe и Al – Sb [6] и может быть объяснена из-

менением микроструктуры по глубине фольг [5] в связи с уменьшением переохлаждения расплава и скорости его затвердевания при высокоскоростной кристаллизации.

Ранее с помощью метода покоящейся капли для БЗ фольг чистого алюминия и фольг сплавов Al – In, нами были измерены равновесные краевые углы смачивания (РКУС) поверхностей А и Б дистиллированной водой [2]. Применение метода POP в данной работе позволило установить, что с увеличением концентрации индия в приповерхностном слое краевой угол смачивания уменьшается и степень гидрофильности сплавов растет. Характер обнаруженной зависимости одинаков как для поверхности А, так и для поверхности Б (рис.1 е).

Таким образом, получено, что обнаруженное обогащение индием поверхностей БЗ сплавов Al – In приводит к гидрофолизации фольг на основе алюминия, что позволяет сделать вывод о возможности управления смачиваемостью поверхности алюминиевых материалов, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава, путем введения легирующих добавок в алюминий.

#### Список литературы

1. Gennes, P.G. Capillarity and wetting phenomena: drops, bubbles, pearles, waves / P.G. Gennes, F. Brochard-Wyart, D. Quere. – N.Y. Springer, 2004. – 287 p.
2. Ташлыкова - Бушкевич, И.И. Влияние состава и микрорельефа на смачивающие свойства поверхности фольг сплавов Al - In, полученных высокоскоростной кристаллизацией / И.И. Ташлыкова – Бушкевич, Ю.С. Яковенко, В.Г. Шепелевич, И.С. Ташлыков // Физика и химия обработки материалов. – 2016. – № 3. – С. 65 – 72.
3. Мирошниченко, И.С. Закалка из жидкого состояния / И.С. Мирошниченко. - М. : Металлургия, 1982. – 168 с.
4. Комаров, Ф.Ф. Неразрушающий анализ поверхностей твердых тел ионными пучками / Ф.Ф. Комаров, М.А. Кумахов, И.С. Ташлыков. - Мн. : Университетское, 1987. - 256 с.
5. Ташлыкова - Бушкевич, И.И. Элементный послойный анализ распределения компонентов в объеме быстрозатвердевших низколегированных сплавов алюминия / И.И. Ташлыкова – Бушкевич, В.Г. Шепелевич, А.Г. Анисович // Физика и химия обработки материалов. – 1999. – № 4. – С. 86-91.
6. Ташлыкова - Бушкевич, И.И. Элементный послойный анализ распределения компонентов в объеме быстрозатвердевших низколегированных сплавов алюминия / И.И. Ташлыкова – Бушкевич, В.Г. Шепелевич // Физика и химия обработки материалов. – 2000. – № 4. – С. 99 – 105.