

УДК 539.8

*И.И. Ташлыкова-Бушкевич, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры физики БГУИР;*

*С.М. Барайшук, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры информатики и основ электроники БГПУ;*

*В.Г. Шепелевич, доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры физики твердого тела БГУ;*

*И.С. Ташлыков, доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой экспериментальной физики БГПУ;*

*Ю.С. Яковенко, студентка IV курса физического факультета БГПУ*

## **ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА НА СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ АЛЮМИНИЯ**

**В**ведение. Одним из перспективных направлений современного материаловедения является использование сверхвысоких скоростей охлаждения расплава при затвердевании ( $>10^4$  K/c), что приводит к улучшению физических и механических свойств материалов и позволяет использовать сплавы с заданными служебными характеристиками. Сверхбыстрая закалка дает возможность получать сплавы с микрокристаллической структурой, увеличивает взаимную растворимость компонентов сплава, вызывает появление метастабильных фаз, позволяет получать сплавы с аморфной структурой [1–2]. Широкое использование сплавов алюминия в транспортной и аэрокосмической промышленности, для передачи электроэнергии на расстояния требует развития перспективных методов современного материаловедения для создания материалов с уникальными физико-механическими свойствами, в том числе свойствами поверхности изделий. Решение многих практических задач предъявляет к материалам высокие и разнообразные требования, очень трудно совместимые, а подчас несовместимые в одном материале. Чаще всего речь идет о соотношении объемных и поверхностных свойств. При этом рациональным путем решения проблемы оказывается не разработка нового материала, сочетающего в себе все требуемые свойства одновременно, а модифицирование поверхностных свойств материала [2–3]. Данный факт определяет актуальность изучения свойств поверхности быстрозатвердевших фольг алюминия и сплавов на его основе.

Степень смачиваемости промышленных материалов является важным фактором в производстве материалов, например, в процессах пайки, а также при защите изделий от обледенения. Алюминий является непереходным элементом с высоким химическим сродством к кислороду. Смачивающие свойства сплавов, содержащих непереходные достаточно химически активные металлы, еще мало изучены. Поэтому эти вопросы представляют как теоретический, так и практический интерес в силу большой доли производства изделий из алюминиевых сплавов.

В настоящей работе изучается влияние легирующих добавок на смачиваемость дистиллированной водой поверхности алюминиевых фольг, полученных сверхбыстрой закалкой расплавов.

**Методика эксперимента.** Фольги в данном исследовании получали методом центробежной закалки, когда капля расплава (0,2–0,3 г) кристаллизовалась на внутренней полированной поверхности вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Длина фольг составляла до 40 мм, ширина была до 10 мм, толщина – до 50 мкм. Расчетная скорость охлаждения расплава была порядка  $10^6$  K/c [4]. Для получения фольг использовались следующие материалы: чистый (Al 99,98 %) и промышленный алюминий (АЛ 4), а также бинарные сплавы (Al – 0,8 ат. % Cr и Al – 6,0 ат. % Zn, Al – 0,7 ат. % In).

Смачиваемость поверхности фольг, контактирующей с цилиндром, изучали методом покоящейся капли, используя установку, опи-

санную в [5]. На поверхность образца, закрепленного на подвижном столике наклонно-поворотной платформы, применяя медицинский шприц, помещалась капля бидистиллированной воды объемом ~ 0,05 мл. Процесс позиционирования образца и выдавливания капли производился с применением шаговых двигателей при помощи блока управления. Система образец – капля стабилизировалась в течение 60 с. Затем с помощью цифровой фотокамеры, имеющей выход на компьютер и возможность дистанционного спуска затвора, регистрировалось изображение капли, подсвеченной монохроматическим источником света. Равновесный краевой угол смачивания измеряли автоматизированно, исключая вмешательство оператора, по углу касательной к поверхности капли с левой и правой ее стороны, используя компьютерное моделирование положения касательной к линии трехфазного контакта по изображению капли. Эта процедура повторялась на трех различных участках поверхности фольги, в результате получали значение равновесного краевого угла смачивания (РКУС), усредненное по 10 измерениям. Погрешность в измерении РКУС составляла ~ 1 %.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** На рисунке 1 показано, как изменяется форма капель на поверхности фольг алюминия и его сплавов, из чего следует, что введение в алюминий легирующих добавок изменяет смачиваемость водой поверхности изученных фольг. Значения экспериментально измеренных равновесных краевых углов смачивания

быстрозатвердевших алюминиевых фольг представлены в таблице.

**Таблица – Значения равновесного краевого угла смачивания водой поверхности фольг чистого алюминия и его сплавов**

Состав образца	РКУС, градусы
1. Чистый алюминий (Al 99,98%)	96,2
2. Промышленный алюминий (АЛ 4)	86,5
3. Al-0,8 ат % Cr	86,5
4. Al-6,0 ат. % Zn	82,3
3. Al-0,7 ат % In	81,2

Как следует из полученных данных, поверхность фольги чистого алюминия проявляет гидрофобные свойства, поскольку значение РКУС составляет 96,2 градуса. Исходя из полученных данных для фольг сплавов алюминия, можно сделать вывод о влиянии легирующих примесей на краевой угол смачивания их поверхности. Присутствие в промышленном алюминии легирующих примесей Mg, Si, Mn приводит к улучшению смачиваемости поверхности фольг, контактирующей с медным цилиндром. Отметим, что поверхности всех сплавов проявляют гидрофильные свойства, то есть смачиваются водой.

На рисунке 2 изображена диаграмма, на которой демонстрируется относительное изменение РКУС поверхности фольг легированного алюминия.

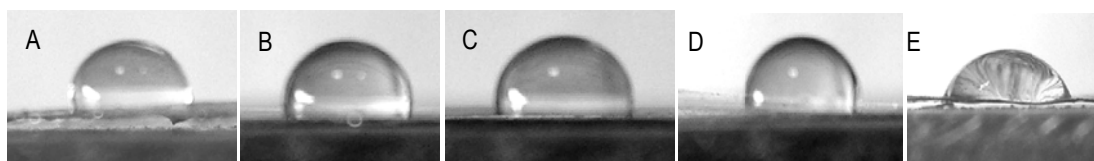


Рисунок 1 – Снимки капель бидистиллированной воды на поверхности фольг: А – Al 99,98%; В – АЛ 4; С – Al-Cr; D – Al-Zn; E – Al-In соответственно

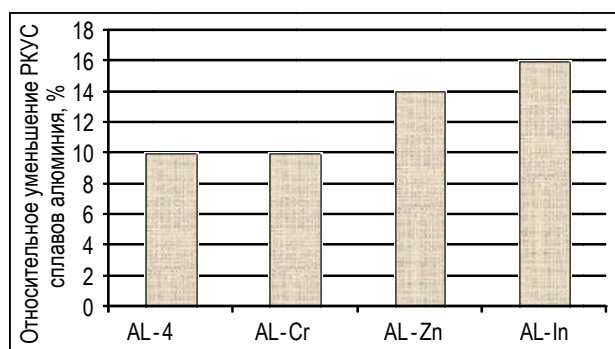


Рисунок 2 – Значения относительного изменения РКУС поверхности фольг алюминия с легирующими добавками

Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что смачивание поверхности фольг зависит от вводимого легирующего элемента. Наибольший эффект увеличения смачиваемости (свыше 15 %) наблюдается при введении в алюминий индия. Причину данного факта, вероятно, следует искать в особенностях распределения рассматриваемых легирующих элементов по поверхности и глубине фольг и формирования на поверхности областей с различным химическим составом и фазами.

Характер такого поведения свойств поверхности фольг, как мы предполагаем, связан с разным композиционным составом фольг и их различной морфологией, изучение которых предполагается продолжить.

При изучении морфологии контактирующей с цилиндром поверхности фольг чистого алюминия с применением зондовой сканирующей микроскопии нами ранее было установлено, что данная поверхность содержит раковины микронных размеров [6], происхождение которых связано с разрывом жидкой капли при соприкосновении с поверхностью кристаллизатора (рисунок 3).

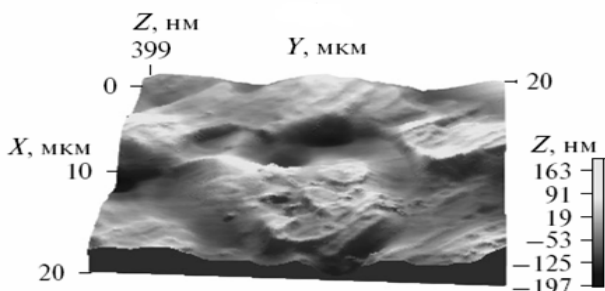


Рисунок 3 – Типичное 3D изображение топографии поверхности быстрозатвердевших фольг чистого алюминия [6]

Известно также, что смачивание шероховатых поверхностей по сравнению с гладкими имеет ряд особенностей из-за наличия выступов на шероховатой поверхности и отличия площади контакта жидкости на поверхностях образцов. Функциональная зависимость краевого угла смачивания от шероховатости твердой поверхности представлена уравнением Венцеля – Дерягина:  $\cos\theta^w = R_\delta \cos\theta$ , где  $\theta$ ,  $\theta^w$  – краевые углы на гладкой и шероховатой поверхности соответственно;  $R_\delta$  – коэффициент шероховатости [7–8]. Именно поэтому, чтобы установить факторы, влияющие на смачиваемость, представляется целесообразным исследовать шероховатость поверхности фольг сплавов алюминия,

изученных в настоящей работе, и сравнить ее с шероховатостью поверхности чистого алюминия. Также планируется изучить элементный и композиционный состав поверхности фольг сплавов.

**Заключение.** Изучена смачиваемость дистиллированной водой поверхности сверхбыстрозакаленных фольг чистого и промышленного алюминия, а также влияние на нее легирующих элементов Cr, Zn, In. Установлено, что поверхность фольг чистого алюминия обладает гидрофобными свойствами. Присутствие в алюминии легирующих примесей приводит к улучшению смачиваемости поверхности фольг, контактирующей с медным цилиндром. Поверхности исследованных сплавов проявляют гидрофильные свойства. Полученные предварительные результаты позволяют предположить о возможности управления смачиваемостью поверхности фольг, получаемых сверхбыстрой закалкой, введением легирующих добавок в сплавы алюминия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Высокоскоростное затвердевание расплава / под ред. В.С. Митина. – М.: СП интермет инжиниринг, 1998. – 120 с.
2. Сажин, В.Б. Иллюстрации к началу курса «Основы материаловедения» / В.Б. Сажин. – М.: Теис, 2005. – 78 с.
3. Гринева, С.И. Алюминий и сплавы на его основе / С.И. Гринева, В.Н. Коробко, А.И. Кузнецов, М.М. Сычев. – СПб.: Технический ун-т, 2003. – 22 с.
4. Мирошниченко, И.С. Закалка из жидкого состояния / И.С. Мирошниченко. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
5. Ташлыков, И.С. Элементный состав, топография и смачиваемость поверхности графита, модифицированного ионно-ассистированным осаждением хромовых покрытий / И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук // Известия вузов. Сер. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2008. – № 1. – С. 30–35.
6. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Изменение структуры поверхности (морфологии и шероховатости) быстрозатвердевших фольг алюминия при легировании железом / И.И. Ташлыкова-Бушкевич // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2010. – № 7. – С.105–112.
7. Горюнов, Ю.В. Смачивание / Ю.В. Горюнов. – М.: Знание, 1972. – 63 с.
8. Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д. Зимон. – М.: Химия, 1994. – 413 с.

#### SUMMARY

The results of water contact angle measurements indicate the possibility of ruling the wettability of surfaces of foils, which were received using rapid solidification technique by the introduction of alloying elements in the aluminium.

Поступила в редакцию 14.12.2011.