

# МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КАК ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ФОЛЬГ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ

И. И. Ташлыкова-Бушкевич<sup>1</sup>, И. С. Ташлыков<sup>2</sup>, В. С. Куликаускас<sup>3</sup>, С. М.

Барайшук<sup>2</sup>, В. Г. Шепелевич<sup>4</sup>, Ю. С. Яковенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>БГУИР, Минск, Беларусь, <sup>2</sup>БГПУ им. М. Танка, Минск, Беларусь, <sup>3</sup>НИИЯФ МГУ,

Москва, Россия, <sup>4</sup>БГУ, Минск, Беларусь

**Введение.** В последние годы большое внимание уделяется исследованию и изготовлению гидрофобных материалов с микро - / нано - рельефом поверхности. Такие материалы приобретают ряд уникальных свойств, среди которых повышенное водоотталкивание (супергидрофобность) и способность снижать гидродинамическое сопротивление течению жидкостей [1]. Показано, что на макроскопическом уровне подобный эффект приводит к появлению сильных водоотталкивающих свойств, «самоочистке» поверхностей и заставляет жидкость катиться по наклонной поверхности под действием силы тяжести и при столкновении отскакивать от поверхности (а не растекаться по ней) [2]. Поэтому микроструктурированные материалы находят широкое применение в современной науке, технике, промышленных разработках (в части для защиты линий электропередач от обледенения и сопровождающего его обрыва провода).

Гидрофобизация играет ключевую роль в таких явлениях как адгезия, смачивание и изучение явлений на границах раздела фаз представляет собой актуальную задачу. Также стоит отметить, что гидрофобность – свойство, которое определяется не столько характеристиками материала в целом, сколько свойствами и структурой приповерхностных слоев, а, следовательно, морфология поверхности играет исключительно важную роль в комплексе поверхностных свойств покрытий [1].

Для практического использования эффекта гидрофобности важно показать, как элементы топологии поверхности твердых тел изменяют поведение жидкости вблизи них. В связи с вышесказанным, первостепенной задачей является создание рационального дизайна текстуры поверхности.

Благодаря технологии сверхбыстрой закалки (СБЗР) представляется возможным создать требуемую микро - текстуру рельефа. Данные научных исследований показывают, что СБЗР обуславливает структурные изменения расплава, которые приводят к улучшению его физических и механических свойств [3].

В литературе, на данный момент, мало внимания уделено смачиванию быстрозакаленных (БЗ) алюминиевых материалов и выделению факторов, определяющих

смачивание поверхностей БЗ фольг. В силу большой доли производства алюминиевых изделий в промышленности и научному интересу к изучению поверхностных свойств микроструктурированных материалов, эти вопросы представляют как практический, так и теоретический интерес.

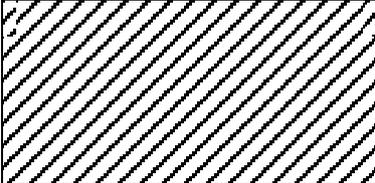
**Методика эксперимента.** При проведении эксперимента были исследованы БЗ фольги сплавов алюминия с различным содержанием легирующего элемента - индия: Al – 0,35 ат. % In, Al – 0,7 ат. % In, Al – 1,4 ат. % In, Al – 4,7 ат. % In.

Для получения БЗ образцов была использована технология центробежной закалки [3]. Равновесный краевой угол смачивания (РКУС) исследуемых поверхностей определен методом покоящейся капли [4]. Измерение РКУС проводили в двух случаях: на поверхности А фольг, контактирующей с цилиндром, и на поверхности Б, контактирующей с воздухом.

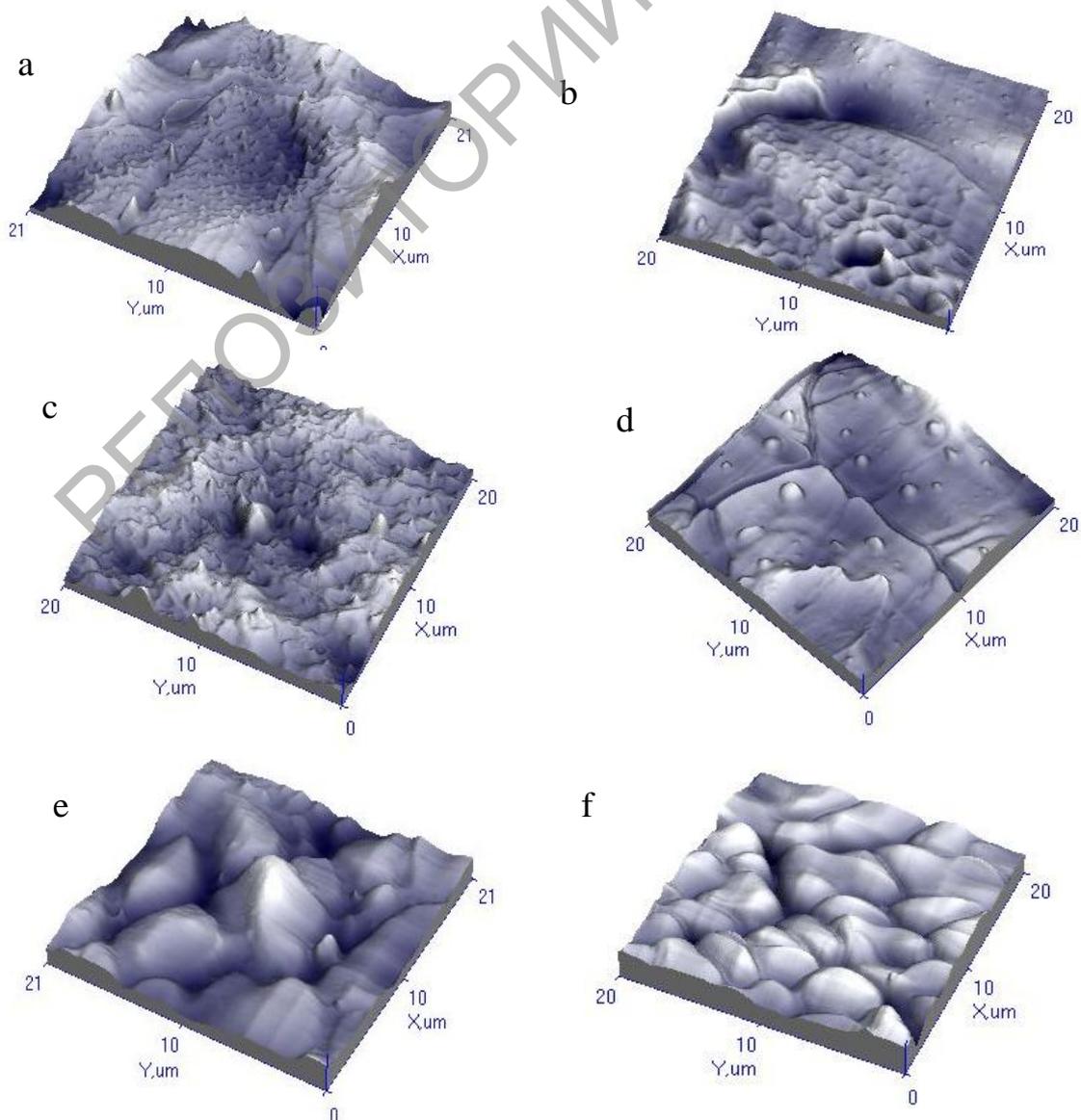
Для получения изображения топографии поверхности и определения ее шероховатости был использован атомно – силовой микроскоп (АСМ) NT – 206. Изображения поверхностей получены в бесконтактном статистическом режиме работы микроскопа. В качестве режима сканирования выбрано двухпроходное сканирование (Two – pass scanning). Значение шероховатости определялось по данным, полученным с 7 площадок, выбранных произвольным образом. Для обработки данных, полученных на АСМ, использовалась программа SurfaceView.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** В таблице показаны экспериментальные результаты измерения краевых углов смачивания и шероховатости исследуемых поверхностей. Ниже обсуждаются полученные данные. Погрешность измерений оценивалась по методике, изложенной в [5]. Относительная погрешность измерений составила ~ 1%.

**Таблица - Результаты измерения краевых углов смачивания и шероховатости поверхности для исследованных образцов**

	Значение шероховатости поверхности, нм		РКУС, град		Отношение полной площади выбранной области к ее проективной площади	
	А	Б	А	Б	А	Б
Поверхность анализа						
Al – 0,35 ат. % In	25.1	98.6	78.5	40.5	1.0	1.0
Al – 0,7 ат. % In	31.1	72.8	57.4	62.5	0.9	1.0
Al – 1,4 ат. % In	17.2	56.7	65.2	55.2	1.0	0.9
Al – 4,7 ат. % In	24,6	17.0	47.2	35.8	1.0	1.0

**Роль шероховатости анализируемой поверхности образцов.** Шероховатость является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей и оказывает влияние на эксплуатационные показатели. Шероховатость поверхности оценивается по неровностям профиля. Для отделения шероховатости поверхности от других неровностей с относительно большими шагами (отклонения формы и волнистости) ее рассматривают в пределах ограниченного участка. Для оценки значений шероховатости образцов были выбраны площадки размером  $20 \times 20$  мкм<sup>2</sup>. Полученные результаты указывают на то, что смачивание зависит от степени шероховатости поверхности. На рисунке 1, который представляет собой 3 D изображения поверхностей исследованных образцов видно, что рельеф поверхностей А и Б качественно различается. Такие различия в рельефе исследованных образцов объясняются отличием скорости кристаллизации для поверхностей А и Б (отвод тепла от поверхности А осуществляется интенсивнее нежели от поверхности Б). В связи с этим оказывается, что поверхности одного и того же сплава имеют геометрические особенности рельефа, различную морфологию, а, значит, и свойства, что принципиально важно в рамках промышленного использования [3].



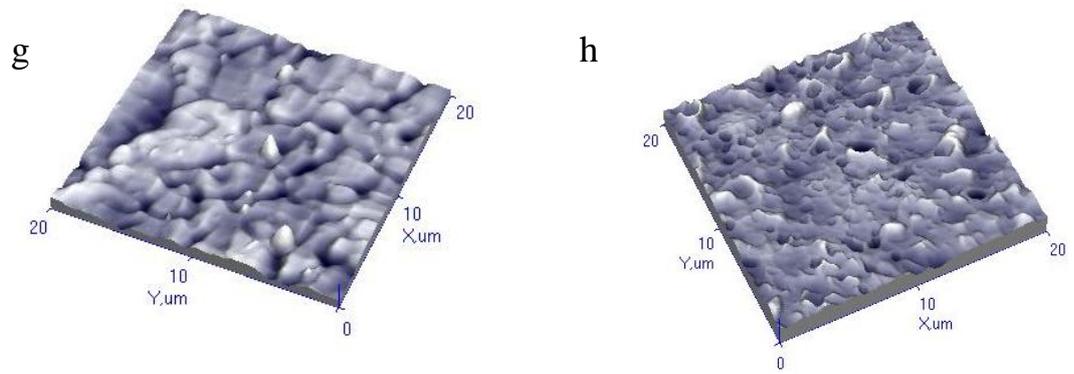


Рисунок 1 - 3D АСМ – изображения рельефов поверхностей сплавов Al – 0,35 ат. % In, Al – 0,7 ат. % In, Al – 1,4 ат. % In, Al – 4,7 ат. % In; поверхности А (а, b, с, d), поверхности Б (е, f, g, h) соответственно.

Шероховатость поверхности оказывает влияние на характер смачивания образцов. Для гетерогенного режима смачивания РКУС определяется соотношением Касси – Бакстера (1) [6]:

$$\cos \theta_{\phi} = fR_{\delta} \cos \theta + f - 1 \quad (1),$$

где  $f$  – доля проекции смоченной площади на поверхность подложки с учетом частичного заполнения пор,  $R_{\delta}$  – коэффициент шероховатости смоченной поверхности. В данной работе по причине малости высот выступов поверхности и расстояний между ними, приняли  $f \rightarrow 0$ , в связи с чем, согласно (1) режим смачивания считали гомогенным и характер смачивания устанавливали согласно уравнению Венцеля – Дерягина:

$$\cos \theta^{\text{ш}} = \frac{S}{S_0} \cos \theta = R_{\delta} \cos \theta \quad (2),$$

где  $\theta$  и  $\theta^{\text{ш}}$  – краевые углы на гладкой и шероховатой поверхности соответственно [6].

По результатам эксперимента получено, что поверхности А и Б рассматриваемых образцов, проявили гидрофильные свойства.

**Роль концентрации легирующего элемента.** Исходя из данных, приведенных в таблице и данным, полученным ранее для БЗ фольг чистого алюминия [7], можно сделать вывод о том, что значение шероховатости и РКУС фольг сплавов Al – In зависит от концентрации легирующего элемента - индия.

Для поверхности А, увеличение концентрации хрома приводит к незначительному изменению значения шероховатости поверхности. Для поверхности Б, увеличение концентрации легирующего элемента приводит к уменьшению величины шероховатости от 98.6 до 17.0 нм. Вариации в значениях шероховатости ведут к изменению РКУС поверхностей образцов.

В работе [7] было установлено, что послойный состав фольг изменяется с глубиной, и концентрация In на поверхности кратно превышает его концентрацию в объеме. Эффект максимальный при малых значениях индия в фольгах. Также на примере БЗ фольги сплава

Al – 0,4 ат. % In получено, что микроструктура фольг, легированных индием, мелкоячеистая и характеризуется распределением легирующего элемента по границам зерен (рисунок 2) [7].

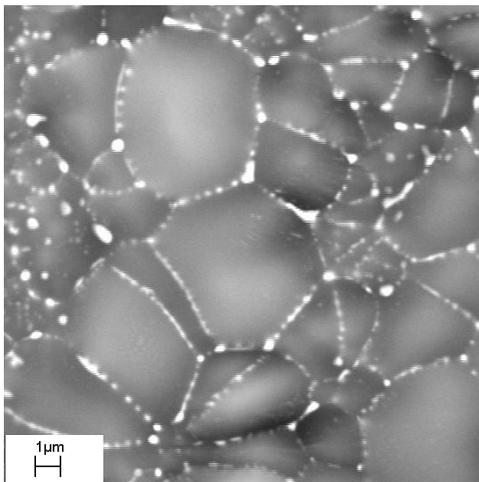


Рисунок 2 – Микроструктура БЗ фольги сплава Al – 0,4 ат. % In

Как известно, молекула воды биполярна: положительный заряд сконцентрирован в районе атомов водорода, а отрицательный – в районе атомов кислорода. Следовательно, характер взаимодействия молекул воды с поверхностью определяется знаком электрических зарядов на поверхности образца. Если поверхность обогащена металлом, то молекулы ориентируются к ней своими электроотрицательными зарядами, т. е. атомами кислорода. При этом между молекулами воды возникают ван-дер-ваальсовы силы притяжения с малой энергией связи (4.18 – 8.37 кДж / моль). Если же на поверхности находятся электроотрицательные элементы (неметаллы, атомы кислорода), то молекула воды присоединяется к такой поверхности атомами водорода и формируются водородные связи, энергия которых значительно выше и составляет 29.9 – 33.49 кДж / моль. Поэтому такой элементный состав поверхности приводит к тому, что за счет водородных связей на поверхности образца формируется адсорбированная пленка воды, поверхностное натяжение на границе твердой и жидкой фаз уменьшается. В результате смачиваемость такой поверхности должна быть выше, чем у “металлической” поверхности, т. е. краевой угол смачивания наименьший [8].

**Заключение.** В данной работе было исследовано влияние на смачиваемость поверхностей БЗ образцов Al – 0,35 ат. % In, Al – 0,7 ат. % In, Al – 1,4 ат. % In, Al – 4,7 ат. % In таких факторов, как элементный состав и морфология. По полученным в результате эксперимента данным установлено, что значение краевого угла смачивания зависит от концентрации легирующего элемента, а также от поверхности анализа. Наблюдается зависимость смачиваемости и от шероховатости фольг. Значения краевого угла смачивания позволяют судить о свойствах поверхностей быстрозатвердевших фольг

сплава Al – In.. Все поверхности сплавов, легированных индием, проявили гидрофильные свойства, которые наиболее выраженными оказались у образца Al – 4,7 ат. % In.

Анализ полученных предварительных результатов позволяет сделать вывод о возможности управления гидрофобностью и гидрофильностью поверхности алюминиевых материалов, полученных сверхбыстрой закалкой путем введения легирующих добавок в БЗ сплавы алюминия. Также стоит отметить, что быстрозакаленные материалы могут стать своеобразной моделью для подбора оптимального рельефа с целью получения материала с выраженными гидрофобными (гидрофильными) свойствами.

#### **Список использованных источников**

1. Беляев, А.В. Гидродинамические и электрокинетические течения вблизи супергидрофобных поверхностей: автореф. дис. ... к-та физ.- мат. наук: 01.04.07 / А.В. Беляев; Московский государственный ун. – т. – Москва, 2012. – 22 с.
2. Voinovich, L.V. Anti – icing potential of superhydrophobic coatings / L.V. Voinovich, А.М. Emelyanenko // Mendeleev Communications. – 2013. – №23. – С. 3–10.
3. Мирошниченко, И.С. Закалка из жидкого состояния / И.С. Мирошниченко. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
4. Ташлыков, И.С. Элементный состав, топография и смачиваемость поверхности графита, модифицированного ионно – ассистированным осаждением покрытий / И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2008. – №1. – С. 30 – 35.
5. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных при измерениях / Государственная система обеспечения единства измерений РФ // Рекомендации МИ2955 – 2005. – зарегистрирована ФГУПВНИИМС21 ноября 2005 г. – Режим доступа: <http://www.stepsdocs.ru>
6. Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д. Зимон.–М.: Химия, 1994.–413 с.
7. Ташлыкова - Бушкевич, И.И. Элементный состав, морфология и смачиваемость поверхности фольг сплавов алюминия / В.С. Куликаускас, С.М. Барайшук, В.Г. Шепелевич, И.С. Ташлыков, Ю.С. Яковенко // Тезисы докладов XLIV междуна. Тулиновской конф. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, Москва, 27 – 29 мая 2014 г. / Под редакцией проф. М. И. Панасюка. – М.: Университетская книга, 2014. – С. 116.
8. Сажин, В.Б. Иллюстрации к началам курса «Основы материаловедения» / В.Б. Сажин. – М.: Теис, 2005. – 78 с.