

УДК 538.97; 539.216.2

Влияние состава и микрорельефа на смачивающие свойства поверхности фольг сплавов Al-In, полученных высокоскоростной кристаллизацией

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹, Ю.С. Яковенко², В.Г. Шепелевич³, И.С. Ташлыков²

¹ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Беларусь, 220013 Минск, ул. П. Бровки, 6
E-mail: iya.itb@bsuir.by

² Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,
Беларусь, 220050 Минск, ул. Советская 18
E-mail: panta_07@mail.ru; tashl@bspu.by

³ Белорусский государственный университет, Беларусь, 220030 Минск, пр. Независимости, 4
E-mail: shepelevich@bsu.by
Поступила в редакцию 17 декабря 2015 г.

Морфология и смачиваемость быстрозатвердевших фольг чистого алюминия (99,99%) и сплавов Al-In, содержащих 0,35, 0,7, 1,4 и 4,7 ат.% In, исследованы с помощью метода покоящейся капли и сканирующей зондовой микроскопии. Установлено, что в отличие от чистого алюминия поверхность фольг сплавов обладает гидрофильными свойствами. Величина краевого угла смачивания сплавов изменяется от 35,8° до 78,5°. В рамках моделей Венцеля-Дерягина и Касси-Бакстера рассмотрена корреляция между шероховатостью поверхности и величиной краевого угла смачивания. Продемонстрирована возможность получения быстрозатвердевших сплавов алюминия с контролируемой смачиваемостью.

Ключевые слова: смачивание, высокоскоростная кристаллизация, сплавы Al-In, атомно-силовая микроскопия, морфология.

Введение

Смачивание поверхности твердых материалов органическими жидкостями и водными растворами является определяющим фактором для многих технологических и природных процессов. В зависимости от задач смачивание может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на эксплуатационные характеристики материала. Например, смачивание металлов специальными жидкостями облегчает их механическую обработку, пайка металлов возможна только в случае смачивания соединяемых деталей припоем. Процессы нефтедобычи, обогащения руд также зависят от гидрофильности материалов. С другой стороны, смачивание обшивки самолета, проводов линий электропередач каплями ледяного дождя и, как следствие,

налипание на них снега, часто ведет к катастрофическим последствиям.

Получение материалов с требуемой смачиваемостью, а значит с контролируемой адгезией и трением (микрочипы, биочипы, покрытия со сниженным трением) имеет важное фундаментальное и прикладное значение. В связи с этим, в последние годы наблюдается рост теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение механизмов смачивания для создания универсального метода регулирования смачивания.

Во многих экспериментальных работах используется метод, основанный на применении поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1], что позволяет качественно менять характер контактного взаимодействия жидкости с поверхностью твердого тела. С его помощью возможно гидрофобизировать гидро-

фильные материалы или, напротив, гидрофилизировать гидрофобные подложки. При этом в ряде случаев обработка больших поверхностей ПАВ является экономически невыгодной. Например, из-за больших площадей поверхности обработка линий электропередач растворами-антиобледенителями становится нецелесообразной. В связи с этим все больший интерес проявляется к исследованиям, в которых проблема управления смачиваемостью поверхности решается путем модифицирования ее микроструктуры, что требует создания определенной геометрии рельефа поверхности с нужной степенью шероховатости, которая позволяет придать материалу гидрофобные или гидрофильные свойства в зависимости от требований.

Известно, что морфология поверхности материалов существенно влияет на значение краевого угла смачивания. Согласно теоретическим расчетам, краевой угол смачивания не может превышать 120° на ровной поверхности. Увеличение шероховатости поверхности способно увеличить краевой угол смачивания до значений, превышающих 150° , что соответствует супергидрофобному состоянию. Такие изменения краевого угла смачивания характерны, например, для листьев лотоса, известного своей супергидрофобностью, которая является следствием сочетания микро- и наноструктур в рельефе поверхности растения [2]. Отдельный интерес представляют работы по созданию материалов, поверхность которых обладает способностью переходить из гидрофильного состояния в гидрофобное и наоборот [3,4]. Так, например, в работе [4] показано, что изменяя микроструктуру рельефа поверхности сплава Al-Mg можно осуществить гидрофильно-гидрофобно-гидрофильный переход.

В настоящее время интенсивное развитие научных и производственных отраслей обуславливает необходимость создания материалов с заранее заданными физическими свойствами. Одним из перспективных методов для решения проблемы модифицирования поверхности алюминиевых сплавов с заданными физическими свойствами является технология сверхбыстрой закалки расплава (СБЗР). Установлено, что СБЗР позволяет повысить растворимость легирующих элементов и получать сплавы с более мелкозернистой структурой, что значительно улучшает физические и механические характеристики материала [5].

Анализ литературных источников показывает, что проблеме смачивания быстрозатвердевших (БЗ) алюминиевых сплавов и выделения факторов, определяющих смачивание поверхности БЗ фольг, уделяется недостаточно внимания. Однако из-за широкого

распространения алюминиевых сплавов в промышленности задача изучения поверхностных свойств микро- и наноструктурированных материалов представляют как практический, так и теоретический интерес. Полученные ранее результаты [6] позволяют сделать вывод о возможности управления гидрофобностью и гидрофильностью поверхности алюминиевых материалов, полученных сверхбыстрой закалкой, путем изменения легирующих добавок в БЗ сплавы алюминия.

В работах [6,7] была исследована смачиваемость чистого (99,98%) и промышленного алюминия (АЛ 9ч), а также бинарных сплавов Al-0,8 ат% Cr, Al-6,0 ат.% Zn и Al-0,7 ат.% In. Наибольший эффект увеличения смачиваемости на $\sim 15\%$ наблюдался при введении в алюминий индия. Исходя из этого, целью данной работы было дальнейшее изучение механизмов смачивания и особенностей морфологии поверхности БЗ фольг сплавов Al-In.

Методика эксперимента

Исследовались БЗ фольги чистого алюминия (99,99%) и его бинарных сплавов с различным содержанием индия — 0,35, 0,7, 1,4 и 4,7 ат.%. Фольги получали методом центробежной закалки, когда капля расплава массой 0,2-0,3 г кристаллизовалась на внутренней полированной поверхности вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Линейная скорость поверхности кристаллизатора составляла 15 м/с. Длина и ширина БЗ фольг достигала 7,0 и 1,0 см соответственно. Для исследования использовались образцы толщиной 30-80 мкм. Скорость охлаждения расплава составила $\sim 10^6$ К/с [5].

Данные о гидрофильности/гидрофобности поверхности образцов получали, измеряя равновесный краевой угол смачивания (РКУС) методом покоящейся капли с помощью установки, схема которой приведена на рис.1а [8]. Краевые углы смачивания рассчитывали для поверхности А фольги, контактировавшей с медным цилиндром, и для поверхности Б, контактировавшей при получении фольг с воздухом. Всего было проведено 4 опыта по 5 капель в каждом. В качестве смачивающей жидкости применялась бидистиллированная вода (объем капли $\sim 0,05$ мл). Время стабилизации системы образце-капля составляло 60 с. Температура воздуха при выполнении эксперимента была $\sim 18^\circ\text{C}$. Схема измерения РКУС проиллюстрирована на рис.1б, в. Относительная погрешность измерений оценивалась по методике [9] и составляла $\sim 1\%$.

Для получения изображения топографии поверхности и определения ее шероховатости применялась

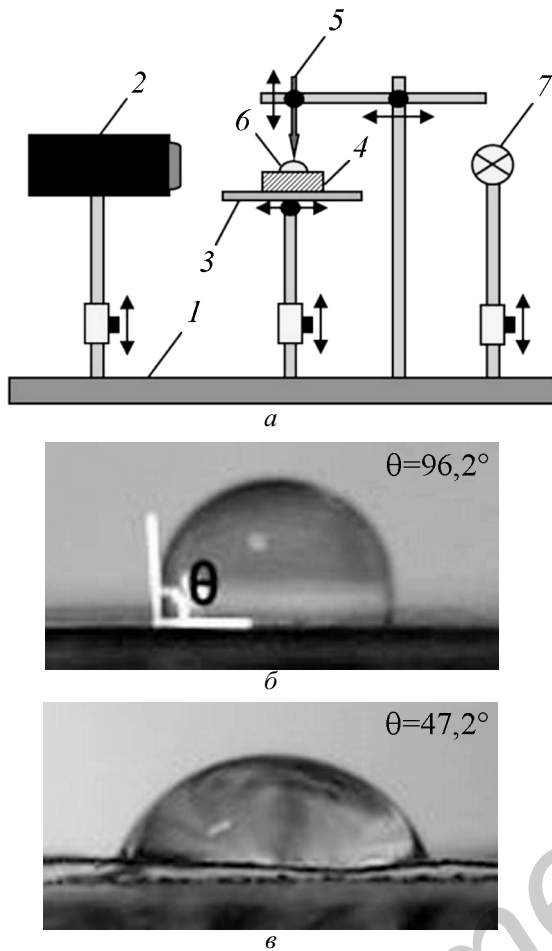


Рис. 1. Измерение РКУС (а) на поверхности А фольг чистого Al (б) и сплава Al-4,7 ат.% In (в). Схема установки (а): 1 — оптическая скамья; 2 — цифровая фотокамера; 3 — устройство позиционирования образца; 4 — образец; 5 — шприц-дозатор; 6 — капля на поверхности образца; 7 — источник монохроматического света.

сканирующая зондовая микроскопия при использовании атомно-силового микроскопа (АСМ) NT-206. Изображения поверхности получали в бесконтактном статистическом режиме работы микроскопа при двухпроходном режиме сканирования. Для оценки значений шероховатости образцов выбирались 7 площадок размером 20×20 мкм, обработка данных проводилась с использованием программы SurfaceView.

Результаты и обсуждение

На рис.2 показаны типичные 3D изображения поверхности БЗ сплавов Al-In. Визуально поверхность фольг, контактировавшая при получении с медным цилиндром, выглядела глянцевой, однако на АСМ изображениях на поверхности А обнаруживается

заметный микрорельеф: наблюдаются неупорядоченные выступы, ложбины (рис.2ж), раковины микронного размера (рис.2в). Появление раковин, по-видимому, связано с разрывом капли при соприкосновении с поверхностью кристаллизатора, как это наблюдалось на поверхности фольг быстрозатвердевших сплавов Al-Zn [10]. В целом, рельеф поверхности А намного многообразнее рельефа поверхности Б, что обусловлено наличием различных форм рельефа: впадин, равнинных участков, остро- и тупоугольных конусообразных структур. Поверхность выступов и ложбин покрыта сеткой остроугольных конусов, высота которых изменяется с ростом концентрации In и на поверхности А в сплаве Al-0,35 ат.% In составляет от 10,4 до 145,6 нм (рис.2а), в сплаве Al-0,7 ат.% In — от 28,2 до 210,0 нм (рис.2б), а в сплаве Al-1,4 ат.% In — от 49,2 до 221,4 нм (рис.2д). На поверхности А сплава Al-4,7 ат.% In формируются тупоугольные конусы высотой $\sim 141,3$ нм. Такие же тупоугольные конусы высотой до 30 нм в небольшом количестве присутствуют и на равнинных участках поверхности А сплава Al-0,7 ат.% In.

Микрорельеф поверхности Б образцов существенно отличается от микрорельефа поверхности А. Он представлен аперидической зеренной структурой, наиболее ярко выраженной в сплавах Al-0,35 ат.% In и Al-0,7 ат.% In, средний размер зерен в которых равен $0,63 \times 0,83$ и $0,21 \times 0,28$ мкм соответственно (рис.2б, 2з). Увеличение концентрации In приводит к уменьшению размера зерен на поверхности Б и постепенному “размытию” их границ, а также к появлению остро- и тупоугольных конусов высотой до 230 нм (рис.2е) и 93,8 нм (рис.2з). Средний размер зерен на поверхности Б сплава Al-1,4 ат.% In составляет $0,07 \times 0,09$ мкм. Среди особенностей топографии поверхности Б можно также выделить появление раковин микронного размера в сплаве Al-4,7 ат.% In (рис.2з). Границы зеренной структуры на поверхности Б полностью исчезают при достижении концентрации индия 4,7 ат.%.

Экспериментальные результаты по измерению краевых углов смачивания и шероховатости поверхности БЗ фольг чистого алюминия и сплавов Al-In приведены в Таблице. Из них следует, что характер смачивания поверхностей фольг чистого Al является гидрофобным, в то время как для поверхностей А и Б фольг сплавов Al-In значения РКУС меньше 90° , что указывает на гидрофильные свойства этих поверхностей.

При анализе шероховатости поверхности А исследуемых образцов не наблюдается явной функциональной зависимости между параметром шероховатости R_a и концентрацией легирующего элемента

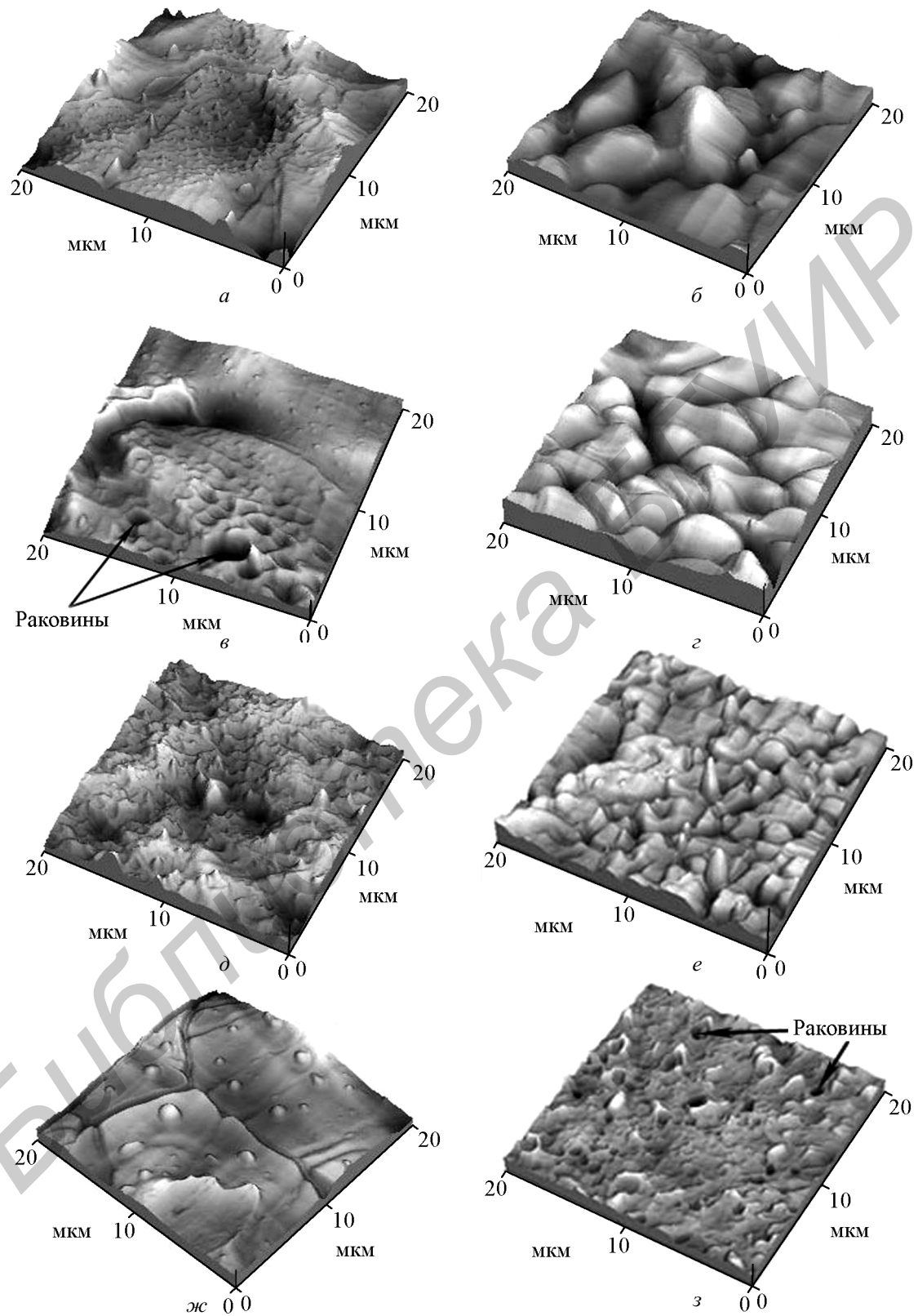


Рис.2. Трехмерное АСМ изображения рельефа поверхности А (а, в, д, ж) и Б (б, з, е, з) сплавов Al-0,35 ат.% In (а, б), Al-0,7 ат.% In (в, з), Al-1,4 ат.% In (д, е) и Al-4,7 ат.% In (ж, з).

Таблица

Материал	Шероховатость поверхности R_a , нм		РКУС, град.	
	А	Б	А	Б
	Al (99,98%)	39,0	25,7	96,2
Al-0,35 ат.% In	25,1	98,6	78,5	40,5
Al-0,7 ат.% In	31,1	72,8	57,4	62,5
Al-1,4 ат.% In	17,2	56,7	65,2	55,2
Al-4,7 ат.% In	24,6	17,0	47,2	35,8

In в сплаве (рис.3а). Для поверхности А фольг чистого алюминия шероховатость составляет 39,0 нм, а для сплавов Al-In величина R_a поверхности А изменяется от 17,2 до 31,1 нм при изменении концентрации In от 0,35 до 4,7 ат.%. По-видимому, это можно объяснить влиянием на топографию поверхности А качества микрорельефа поверхности медного цилиндра.

Было установлено, что введение индия значительно повышает шероховатость поверхности Б быстрозатвердевших фольг. Так, величина R_a , равная 25,7 нм для фольг чистого Al, возрастает до 98,6 нм

для сплава Al-0,35 ат.% In. Однако с увеличением концентрации легирующего элемента шероховатость поверхности уменьшается до 17,0 нм для сплава Al-4,7 ат.% In (рис.3а).

Полученные результаты демонстрируют зависимость характера смачивания поверхности фольг от ее шероховатости. Для поверхности Б с ростом концентрации легирующего элемента от 0,35 до 1,4 ат.% размер зерен уменьшается (ширина — от 0,63 до 0,07 мкм, длина — от 0,83 до 0,09 мкм), а затем видимые границы зерен полностью исчезают в образцах сплава Al-4,7 ат.% In, что приводит к уменьшению шероховатости от 98,6 до 17,0 нм.

Характерный размер неоднородностей на поверхности фольг составлял менее нескольких микрометров, что позволяет говорить о формировании микро- и наноразмерного рельефа и, как следствие, использовать модели Венцеля-Дерягина и Касси-Бакстера для описания смачиваемости образцов, так как размер капли воды заметно превышает характерный масштаб шероховатости поверхности. Как следует из работ [11,12], уравнения Венцеля-Дерягина и Касси-Бакстера справедливы только в том случае, когда линия контакта твердой и жидкой фазы образована неоднородностями микро- и наномасштаба, что позволяет считать угол смачивания неизменным вдоль линии соприкосновения твердой и жидкой фаз. При этом, в отличие от модели Венцеля-Дерягина [13,14], которая рассматривает гомогенный режим смачивания, когда жидкость контактирует со всей поверхностью твердого тела (рис.4а), полностью объясняет поведение капли в случае гетерогенного режима смачивания, при котором неровности поверхности заполнены газом (воздухом) (рис.4б).

Согласно [13,14], смачивающая способность шероховатой поверхности материала при гомогенном смачивании характеризуется величиной РКУС θ^{III} , которая зависит от угла θ для идеально гладкой поверхности того же материала. Таким образом

$$\cos \theta^{\text{III}} = R_{\delta} \cos \theta, \quad (1)$$

где $R_{\delta} = S/S_0$ — коэффициент, который показывает во сколько раз увеличилась фактическая площадь контакта жидкости с шероховатой поверхностью (S) по сравнению с гладкой (S_0). Из уравнения (1) следует, что для гидрофобной поверхности ($\theta > 90^\circ$) выполняются соотношения

$$\cos \theta^{\text{III}} < \cos \theta \quad \text{и} \quad \theta^{\text{III}} > \theta, \quad (2)$$

а для гидрофильной ($\theta < 90^\circ$)

$$\cos \theta^{\text{III}} > \cos \theta \quad \text{и} \quad \theta^{\text{III}} < \theta. \quad (3)$$

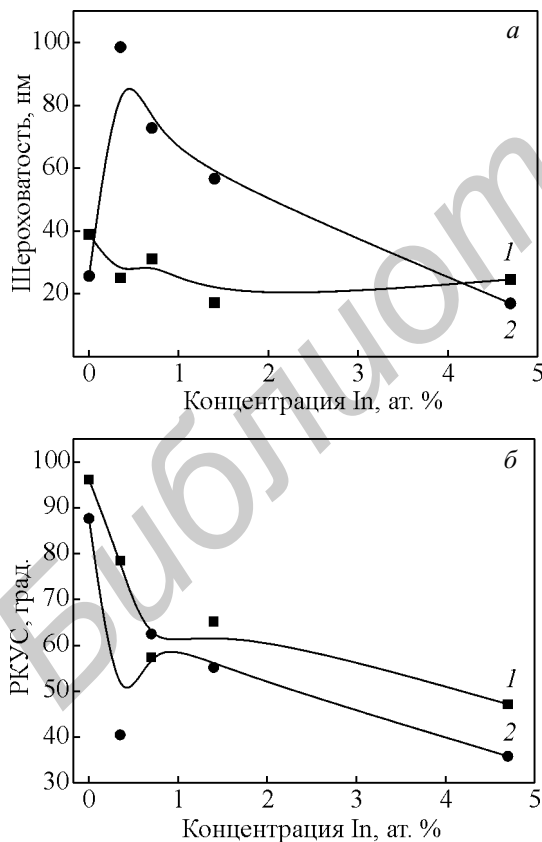


Рис.3. Зависимость шероховатости поверхности фольг (а) и РКУС (б) от концентрации легирующего элемента в сплавах Al-In.

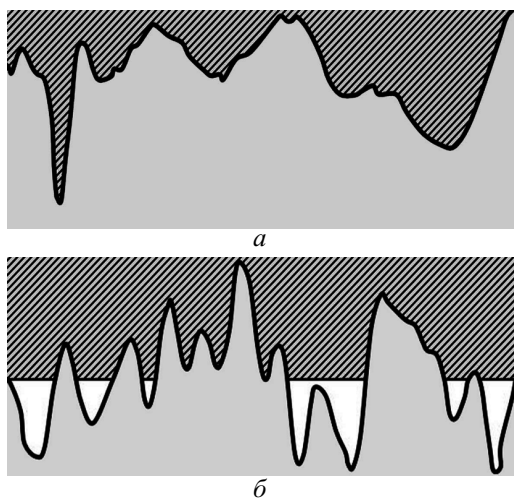


Рис.4. Схема гомогенного (модель Венцеля-Дерягина) (а) и гетерогенного (модель Касси-Бакстера) (б) смачивания шероховатой поверхности.

Таким образом, шероховатость ухудшает смачивание гидрофобной поверхности, и значение краевого угла смачивания для шероховатой поверхности будет больше, чем для гладкой. На гидрофильной поверхности наблюдается обратный эффект — с ростом шероховатости смачивание улучшается, и значение краевого угла смачивания для шероховатой поверхности будет меньше, чем для гладкой. То есть, шероховатые смачиваемые поверхности становятся более гидрофильными, а несмачиваемые — более гидрофобными [13,16].

Гидрофобный характер смачивания поверхности фольг чистого алюминия также можно описать в рамках модели Венцеля-Дерягина. Так как $R_a^A > R_a^B$, то поверхность Б действительно более гидрофобная, и значение $\theta^A=96,2^\circ$ больше, чем $\theta^B=87,7^\circ$. Аналогично, для сплава Al-0,35 ат.% In справедлива следующая зависимость: поверхность Б более гидрофильная, так как ее шероховатость выше, чем у поверхности А ($R_a^B > R_a^A$), вследствие чего $\theta^A > \theta^B$.

При анализе результатов, полученных для поверхности Б чистого алюминия и сплавов Al-In, обнаружено резкое (более чем в 2 раза) снижение РКУС при легировании индием (0,35 ат.%), в то время как шероховатость образцов возрастает в 3,8 раз. Этот результат свидетельствует об изменении типа поверхности фольг — переход от гидрофобного к гидрофильному типу — и описывается моделью Венцеля-Дерягина и уравнением (1). Однако при увеличении концентрации индия от 0,7 до 4,7 ат.% смачиваемость поверхности фольг улучшается, и величина РКУС снижается с уменьшением значения R_a . Подобная зависимость краевого угла θ от величины шероховатости противоречит соотношению (3),

вытекающему из закона Венцеля-Дерягина (1) для гидрофильных поверхностей. Например, для сплава Al-0,7 ат.% In при $R_a^B > R_a^A$ неожиданно получаем $\theta^B > \theta^A$, что подтверждает предположение об изменении характера смачивания от гомогенного к гетерогенному и требует использования модели Касси-Бакстера.

Таким образом, результаты, полученные для БЗ фольг сплавов Al-In, содержащих от 0,7 до 4,7 ат.% In, можно объяснить в рамках модели Касси-Бакстера [13,15], предполагающей, что смачиваемая поверхность гетерогенная, а дефекты поверхности (впадины, поры и т.д.) частично или полностью заполнены воздухом. В этом случае

$$\cos \theta^{\text{ш}} = -1 + \varphi_S (1 + \cos \theta), \quad (4)$$

где φ_S — доля поверхности, контактирующая с каплей смачивающей жидкости.

Согласно (4), для гидрофильной поверхности увеличение РКУС при одном и том же химическом составе материала происходит за счет снижения смачиваемой площади, что обусловлено тем, что жидкость расположена на своеобразной воздушной подушке, создаваемой пузырьками воздуха внутри полостей рельефа исследуемой поверхности. Однако состояние Касси-Бакстера является метастабильным и при определенных условиях (например, при увеличении лапласовского давления внутри капли) может переходить в состояние Венцеля-Дерягина. Состояние Касси-Бакстера термодинамически устойчиво, если выполняется условие $\cos \theta < \cos \theta_{\text{крит}}$, где $\cos \theta_{\text{крит}} = -[(1 - \varphi_S) / (r - \varphi_S)]$ — критическое значение краевого угла Юнга θ . В случае $\cos \theta > \cos \theta_{\text{крит}}$ устойчивым будет состояние Венцеля-Дерягина [14,17].

В наших результатах для сплавов Al-1,4 ат.% In и Al-4,7 ат.% In не наблюдается прямой зависимости между величиной краевого угла θ и значением шероховатости для поверхностей А и Б образцов одного состава. Это указывает на зависимость угла θ и от концентрации In в приповерхностной области фольг, поскольку известно, что легирующие элементы в результате высокоскоростной кристаллизации распределены по толщине образцов неравномерно [4,7,10,18,19]. Для определения характера данной зависимости РКУС от концентрации In для обеих поверхностей требуется провести послойный анализ элементного состава фольг сплавов Al-In.

Таким образом, установлено, что обе поверхности А и Б быстрозатвердевших фольг сплавов Al-In проявляют гидрофильные свойства, и на таких поверхностях капли воды не скапливаются и легко рассеиваются. Следовательно, на основе этих сплавов можно создать материалы, поверхность которых будет устойчива к коррозии.

Выводы

Изучено влияние морфологии поверхности быстрозатвердевших фольг чистого алюминия и сплавов Al-In на характер их смачивания водой. Установлено, что использование индия в качестве легирующего элемента улучшает смачивание поверхности фольг по сравнению с гидрофобными фольгами чистого алюминия. Смачивание БЗ фольг Al-In сплавов носит гидрофильный характер и в зависимости от концентрации индия описывается в рамках моделей Венцеля-Дерягина или Касси-Бакстера. При концентрации индия 0,7 ат.% наблюдается тенденция к уменьшению величины краевого угла θ при снижении шероховатости поверхности фольг, что указывает на инверсию смачивания, то есть переход от гомогенного режима смачивания к гетерогенному. Наиболее сильно гидрофильные свойства выражены у сплава Al-4,7 ат.% In, для поверхности Б которого, не контактировавшей с поверхностью медного кристаллизатора, величина $\theta=35,8^\circ$.

Продемонстрирована возможность управления свойствами (шероховатость, смачиваемость) поверхности материалов, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава, путем изменения концентрации легирующих элементов.

Работа частично финансировалась в рамках государственной программы научных исследований на 2014-2015 г.г. "Функциональные и машиностроительные материалы, наноматериалы" (задание КМС 1.03), № ГР 20140986.

Литература

- Bracco G., Holst B. Surface science techniques. NY: Springer, 2013, 663 p.
- Moradi S, Kamal S, Englezos P., Hatzikiriakos S.G. Femtosecond laser irradiation of metallic surfaces: effects of laser parameters on superhydrophobicity. Nanotechnology, 2013, v.24, No.41, pap.415302.
- Murakami D., Jinnai H., Takahara A. Wetting transition from the Cassie-Baxter state to the Wenzel state on textured polymer surfaces. Langmuir, 2014, v.30, iss.8, p.2061-2067. DOI: 10.1021/la4049067.
- Baiping Lu, Ning Li. Versatile aluminum alloy surface with various wettability. Applied Surface Science, 2015, v.326, p.168-173.
- Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М.: Металлургия, 1982, 168 с.
- Ташлыкова-Бушкевич И.И., Ташлыков И.С., Барайшук С.М., Яковенко Ю.С., Шепелевич В.Г. Влияние композиционного состава на смачиваемость поверхности быстрозатвердевших фольг алюминия. Вести БГПУ, 2012, №2, с.14-16.
- Ташлыкова-Бушкевич И.И., Яковенко Ю.С., Куликаускас В.С., Барайшук С.М., Шепелевич В.Г., Ташлыков И.С. Послойное распределение In в сплавах алюминия, получаемых высокоскоростной кристаллизацией из расплава. Тез. XLIV междунар. Тулиновской конф. по Физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. Москва, 27-29 мая 2014. Ред. М.И.Панасюк. М.: Университетская книга, 2014, с.116.
- Ташлыков И.С., Барайшук С.М. Элементный состав, топография и смачиваемость поверхности графита, модифицированного ионно-ассистированным осаждением покрытий. Изв.ВУЗов, Порошковая металлургия и функциональные покрытия, 2008, №1, с.30-35.
- Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений и порядок ее проведения. МИ 2955-2005, М.: ВНИИМС, 2005; <http://rosnorm.ru/Data2/1/4293835/4293835778.htm>.
- Ташлыкова-Бушкевич И.И., Гутько Е.С., Шепелевич В.Г. Микроструктура, фазовый и элементный состав быстрозатвердевших сплавов Al-Zn. Перспективные материалы, 2005, №1, с.59-65.
- Gao L., McCarthy T.J. How Wenzel and Cassie were wrong. Langmuir, 2007, v.23, iss.7, p.3762-3765. DOI: 10.1021/la062634a.
- Gao L., McCarthy T.J. Wetting 101°. Langmuir, 2009, v.25, iss.24, p.14105-14115. DOI: 10.1021/la902206c.
- Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. М.: Химия, 1994, 413 с.
- Wenzel R.N. Resistance of solid surfaces to wetting by water. Ind.Eng.Chem., 1936, v.28, No.8, p.988-994. DOI: 10.1021/ie50320a024.
- Baxter S., Cassie A.B.D. The water repellency of fabrics and new water repellence test. J.Text.Inst., 1945, v.36, pp.67-90.
- Бойнович Л.Б., Домантовский А.Г., Емельяненко А.М., Миллер А.Б., Потапов Ю.Ф., Ходан А.Н. Противообледенительные свойства супергидрофобных покрытий на алюминии и нержавеющей стали. Изв. Академии Наук, сер. Химическая, 2013, №2, с.383-390.
- Shibuichi S., Onda T., Satoh N., Tsujii K. Super water-repellent surfaces resulting from fractal structure. J.Phys.Chem., 1996, v.100, iss.50, p.19512-19517; DOI: 10.1021/jp9616728.
- Zhang X., Liu J., Tang J., Li L., Chen M., Liu S., Zhu B. Element segregation on the surfaces of pure aluminum foils. Appl.Surf.Sci., 2010, v.256, pp.7300-7304.
- Anusionwu B.C., Adebayo G.A., Madu C.A. Thermodynamics and surface properties of liquid Al-Ga and Al-Ge alloys. Appl.Phys.A: Mater.Sci.Proc., 2009, No.97, iss.3, pp.533-541; DOI 10.1007/s00339-009-5428-3.

References

- Bracco G., Holst B. Surface science techniques. NY: Springer, 2013, 663 p.
- Moradi S, Kamal S, Englezos P., Hatzikiriakos S.G. Femtosecond laser irradiation of metallic surfaces: effects of laser parameters on superhydrophobicity. Nanotechnology, 2013, v.24, No.41, pap.415302.

3. Murakami D., Jinnai H., Takahara A. Wetting transition from the Cassie–Baxter state to the Wenzel state on textured polymer surfaces. *Langmuir*, 2014, v.30, iss.8, p.2061-2067. DOI: 10.1021/la4049067.
4. Baiping Lu, Ning Li. Versatile aluminum alloy surface with various wettability. *Applied Surface Science*, 2015, v.326, p.168-173.
5. Miroshnichenko I.S. Zakalka iz zhidkogo sostoyaniya [Quenching from the liquid state], Moscow: Metallurgiya Publ., 1982, 168 p. (In Russ.).
6. Tashlykova-Bushkevich I.I., Tashlykov I.S., Baraishuk S.M., Yakovenko Yu.S., Shepelevich V.G. Vliyanie kompozitsionnogo sostava na smachivaemost poverkhnosti bystrozatverdevshikh folg alyuminiya [Effect of composition on the surface wettability of rapidly solidified aluminium foils]. *Vesti Belorusskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Herald of the Belarus State Pedagogical Univ.]*, 2012, No.2, p.14-16. (In Russ.).
7. Tashlykova-Bushkevich I.I., Yakovenko Yu.S., Kulikauskas V.S., Baraishuk S.M., Shepelevich V.G., Tashlykov I.S. Posloynoie raspredelenie In v splavakh alyuminiya, poluchaemykh vysokoskorostnoy kristallizatsiey iz rasplava [Layered distribution of In in aluminium alloys produced by rapid solidification from melt]. Abs. XLIV Int. Tulinov conf. on Physics of Interaction of charged particles with crystals. May 27-29, 2014, Moscow. Ed. M.I.Panasuk. Moscow: Universitetskaja kniga Publ., 2014, p.116. (In Russ.).
8. Tashlykov I.S., Baraishuk S.M. Elemental composition, topography, and wettability of the surface of graphite modified by ion-assisted deposition of chromium coatings. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2008, v.49, No.4, pp.303-307; DOI: 10.3103/S1067821208040172.
9. Typical methods of assessment of software measurement tools and procedures for its implementation. MI 2955-2005, Moscow: All-Russia Scientific and Research Institute of Metrological Service (VNIIMS), 2005; <http://rosnorm.ru/Data2/1/4293835/4293835778.htm>. (In Russ.).
10. Tashlykova-Bushkevich I.I., Gytko E.S., Shepelevich V.G. Mikrostruktyra, fazovy i elementny sostav bystrozatverdevshikh splavov Al-Zn [Microstructure, phase and elemental composition of rapidly solidified Al-Zn alloys]. *Perspektivnie Materially [Advanced Materials]*, 2005, No.1, p.59-65. (In Russ.).
11. Gao L., McCarthy T.J. How Wenzel and Cassie were wrong. *Langmuir*, 2007, v.23, iss.7, p.3762-3765. DOI: 10.1021/la062634a.
12. Gao L., McCarthy T.J. Wetting 101°. *Langmuir*, 2009, v.25, iss.24, p.14105-14115. DOI: 10.1021/la902206c.
13. Zimon A.D. Adgeziya zhidkosti i smachivanie [Adhesion and wetting of liquid]. Moscow: Khimiya Publ., 1994, 413 p. (In Russ.).
14. Wenzel R.N. Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Ind.Eng.Chem.*, 1936, v.28, No.8, p.988-994. DOI: 10.1021/ie50320a024.
15. Baxter S., Cassie A.B.D. The water repellency of fabrics and new water repellence test. *J.Text.Inst.*, 1945, v.36, pp.67-90.
16. Boinovich L.B., Emelyanenko A.M., Khodan A.N., Domantovskii A.G., Miller A.B., Potapov Yu.F. Antiicing performance of superhydrophobic coatings on aluminum and stainless steel. *Russian Chemical Bulletin*, 2013, v.62, No.2, p.380-387.
17. Shibuichi S., Onda T., Satoh N., Tsujii K. Super water-repellent surfaces resulting from fractal structure. *J.Phys.Chem.*, 1996, v.100, iss.50, p.19512-19517; DOI: 10.1021/jp9616728.
18. Zhang X., Liu J., Tang J., Li L., Chen M., Liu S., Zhu B. Element segregation on the surfaces of pure aluminum foils. *Appl.Surf.Sci.*, 2010, v.256, pp.7300-7304.
19. Anusionwu B.C., Adebayo G.A., Madu C.A. Thermodynamics and surface properties of liquid Al-Ga and Al-Ge alloys. *Appl.Phys.A: Mater.Sci.Proc.*, 2009, No.97, iss.3, pp.533-541; DOI 10.1007/s00339-009-5428-3.

Effects of composition and microrelief on the wetting behavior of the surface of rapidly solidified Al-In foils

I.I. Tashlykova-Bushkevich¹, Yu.S. Yakovenko², V.G. Shepelevich³, I.S. Tashlykov²

¹ Belarus state university of informatics and radioelectronics, 6 P.Brovki str., 220013 Minsk, Belarus

E-mail: iya.itb@bsuir.by

² M.Tank Belarus state pedagogical university, 18 Sovetskaya str., 220050 Minsk, Belarus

E-mail: panta_07@mail.ru; tashl@bspu.by

³ Belarus state university, 4 pr. Nezavisimosti, 220030 Minsk, Belarus

E-mail: shepelevich@bsu.by

Morphology and wettability of rapidly solidified foils of pure Al (99.99%) and Al-In alloys (0.35, 0.7, 1.4, 4.7 at.% In) have been investigated by the sessile drop method and atomic force microscopy. All of the foil surfaces showed hydrophilic properties instead of pure Al foil. The value of contact angle varies from 35.8° to 78.5° for the alloys. Correlation between the values of the surface roughness and contact angle was considered in the framework of the Wenzel-Deryagin and the Cassie-Baxter models. The possibility of production of rapidly solidified Al alloys with controlled wettability is demonstrated.

Keywords: wetting, rapid solidification, Al-In alloys, atomic force microscopy, morphology.