

а критерием механической устойчивости мембран – величину модуля упругости.

Исследования показали, что наибольшей механической устойчивостью к фильтрации обладает мембрана с составом покрытия «монослой наносфер SiO_2 + 1 бислоем Y-типа поливинилпиридина», модуль упругости которой остался на уровне 90,2–98,7 МПа. Для мембраны с покрытием «монослой наносфер SiO_2 + 1 бислоем Y-типа полиметилметакрилат/полиэтиленмин/2,4-генэйкозандион» модуль упругости уменьшился на 25%.

Исходя из данных, полученных при исследовании силы адгезии, можно сделать вывод о том, что лучшей работоспособностью обладают мембраны, модифицированные монослоем наносфер SiO_2 в комбинации с пленками Ленгмюра–Блоджетт. Для них значения силы адгезии уменьшились после фильтрации: для мембраны с составом покрытия «монослой наносфер SiO_2 + 1 бислоем Y-типа поливинилпиридина» – на 24%, а с составом покрытия «монослой наносфер SiO_2 + 1 бислоем Y-типа полиметилметакрилат/полиэтиленмин/2,4-генэйкозандион» – на 42%.

Учитывая критерии работоспособности и механической устойчивости в процессах фильтрации, установили, что по совокупности характеристик оптимальной для использования является мембрана с составом покрытия «монослой наносфер SiO_2 + 1 бислоем Y-типа поливинилпиридина».

Список использованных источников

1. Погоцкая, И. В. Определение модуля упругости нанопокровтий методом атомно-силовой спектроскопии / И. В. Погоцкая, Т. А. Кузнецова, С. А. Чижик // Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 3(16). – С. 43–45.

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ АЛЮМИНИЯ И ЕГО БИНАРНЫХ СПЛАВОВ

С. М. Барайшук¹, И. И. Ташлыкова-Бушкевич², Ю. С. Яковенко¹

¹Белорусский государственный педагогический университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь

Введение. Управление свойствами поверхности изделий из алюминия и его сплавов играет важную роль в целом ряде прикладных технологических процессов в различных отраслях промышленности, радиотехники. В данной работе рассматривается влияние композиционного состава на топографию поверхности быстрозатвердевших алюминиевых фольг. Рассмотрены поверхностные свойства быстрозатвердевших фольг чистого алюминия, промышленного алюминия, а также бинарных сплавов Al–0,8 ат.% Cr, Al–6,0 ат.% Zn и Al–0,7 ат.% In.

Результаты и их обсуждение. Метод высокоскоростного затвердевания расплава представляет собой современный способ получения сплавов алюминия с улучшенными свойствами. Актуальность изучения поверхностных свойств промышленных материалов на основе алюминия обусловлена высокой долей их производства и использования в аэрокосмической и автомобильной промышленности [1].

Шероховатость является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей и оказывает влияние на эксплуатационные показатели [2]. Она оценивается по неровностям профиля. Анализ топографии поверхности и определение ее шероховатости был проведен с применением атомно-силового микроскопа NT-206. Для оценки значений шероховатости исследуемых образцов были выбраны площадки размером 20×20 мкм² [3].

На рис. 1 представлена морфология обеих, исследованных в данной работе, поверхностей микрокристаллических фольг чистого алюминия. Хорошо заметно, что на поверхностях представленного образца присутствует ячеистая структура. У фольг чистого алюминия, полученных при помощи метода центробежной закалки [4], поверхность, контактирующая с воздухом в процессе получения фольги (рис. 1, *а*), обладает большей шероховатостью и размерами ячеек, нежели поверхность (рис. 1, *б*), контактирующая с цилиндром, как и для большинства исследованных в работе образцов. Наблюдаемое различие в шероховатости не дает возможности говорить о принципиально разной картине топографии: даже при условии отличия в 4–10 раз площади ячеек их высота примерно одинакова. Отдельно необходимо отметить наличие на поверхности ячеек стороны (рис. 1, *а*) более мелких структур, приводящих к увеличению шероховатости.

На рис. 2 приведены типичные 3D-изображения поверхностей фольг, полученных из используемого в промышленности алюминия. В отличие от чистого, на поверхностях представленного образца ячеистая структура не просматривается (рис. 2, *а*) или деградирована (рис. 2, *б*) объединением крупных ячеек в цельные кластеры. На поверхности (рис. 2, *б*) наличие ячеистой струк-

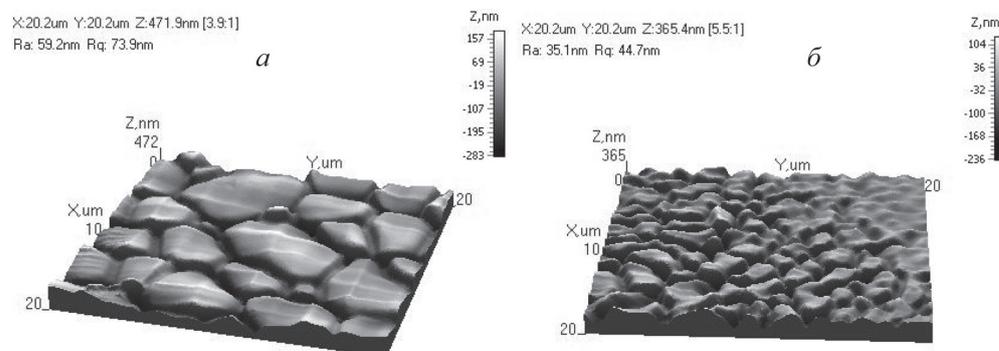


Рис. 1. 3D-изображение топографии поверхностей чистого алюминия, контактирующих: *а* – с воздухом; *б* – с цилиндром

туры определяется только в области между большими ровными кластерами, причем размер неоднородностей значительно меньше, чем у соответствующей поверхности образцов чистого алюминия. На поверхности, контактирующей с воздухом, наблюдается наличие множества мелких неоднородностей, и не просматривается сколько-нибудь значительного упорядочения. Средняя шероховатость поверхностей при анализе достаточного количества различных экспериментальных площадок отличается в пределах 4–6%, что является наименьшим отличием для различных поверхностей одного материала из всех исследованных нами систем на основе алюминия.

У фольг, полученных из расплавов на основе алюминия, наблюдается сходная картина изменения топографии поверхности. На рис. 3, который представляет собой 3D-изображения поверхностей исследованных образцов, видно, что рельеф поверхностей *a* и *б* имеет качественное различие между противоположными поверхностями фольг. Во всех системах поверхность, контактирующая с барабаном в момент застывания, имеет ячеистую структуру с несколько различной степенью выраженности кластеров, все изображения стороны *б* хорошо демонстрируют границы зерен. К особенностям можно отнести наличие помимо «основных» элементов поверхности для систем Al–In мелких кристаллических структур вблизи границ ячеек. Именно эта система в отличие от остальных имеет большую шероховатость поверхности, контактирующей с барабаном, по сравнению с противоположной. Такие различия в рельефе исследованных образцов объясняются отличием скорости кристаллизации для поверхностей *a* и *б* (отвод тепла от поверхности осуществляется интенсивнее нежели от поверхности *a*). В связи с этим оказывается, что поверхности одного и того же сплава имеют различный состав и морфологию, а, значит, и свойства, что принципиально важно в рамках промышленного использования.

Экспериментальные результаты анализа шероховатости поверхности исходных и разработанных бинарных систем приведены в таблице, измерения шероховатости поверхности образцов проведены для площадок размером 20×20 мкм.

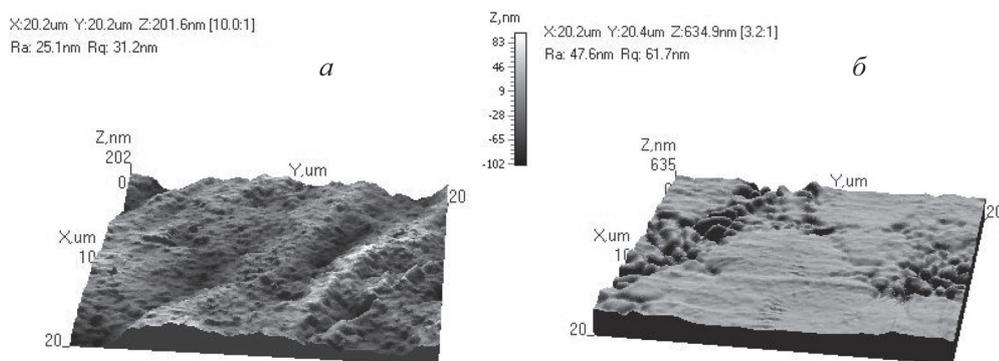


Рис. 2. 3D-изображение топографии поверхностей промышленного алюминия, на которых ячеистая структура: *a* – не просматривается; *б* – деградирована

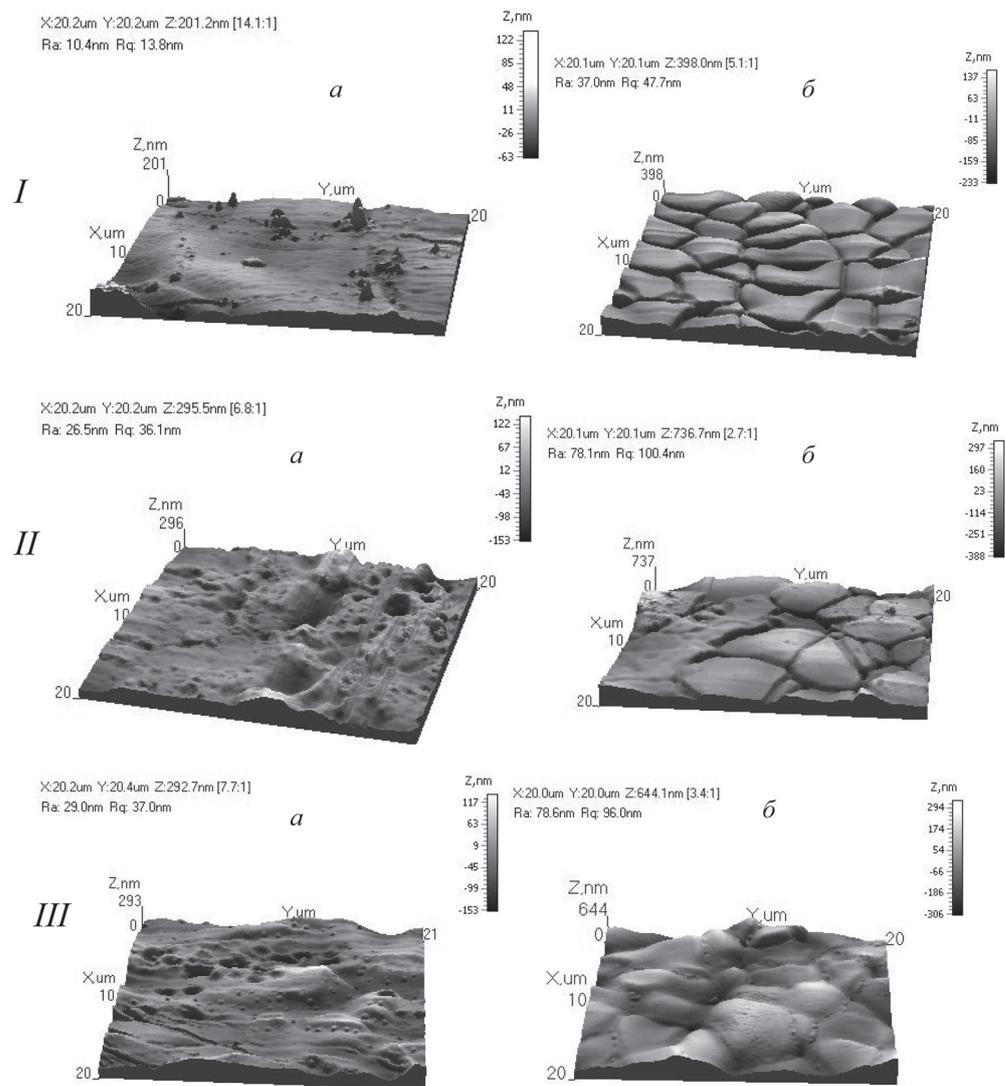


Рис. 3. 3D-изображение топографии поверхностей (а) и (б) быстрозакаленных фольг бинарных сплавов: I – Al–Cr; II – Al–Zn; III – Al–In

В ранее проведенных исследованиях была показана принципиальная важность изменения топографии, и, в частности, шероховатости на растекании контактирующей жидкости по исследуемым поверхностям. Анализ полученных экспериментальных результатов по изменению шероховатости поверхности систем позволяет сделать вывод о возможности управления такими свойствами, как смачиваемость поверхности алюминиевых материалов, полученных сверхбыстрой закалкой путем введения легирующих добавок в сплавы алюминия и формированием требуемой морфологии поверхности [5].

**Результаты измерения шероховатости поверхностей
быстро затвердевших образцов**

Образец	Поверхность	Шероховатость, нм
Чистый алюминий (Al 99,98%)	<i>a</i>	39,0
	<i>б</i>	25,7
Al 9 ч	<i>a</i>	48,9
	<i>б</i>	45,9
Al-0,8 ат.% Cr	<i>a</i>	29,4
	<i>б</i>	26,9
Al-6,0 ат.% Zn	<i>a</i>	79,7
	<i>б</i>	31,6
Al-0,7 ат.% In	<i>a</i>	14,5
	<i>б</i>	25,8

Заключение. Изучение вопросов изменения свойств поверхности алюминиевых материалов представляет практический интерес в силу большой доли производства изделий из алюминиевых сплавов. Полученные результаты демонстрируют возможность управления смачиваемостью поверхности фольг алюминия путем введения легирующих примесей. Продолжение данных исследований является перспективным направлением дальнейшего развития инженерии поверхности.

Список использованных источников

1. Das, S. Aluminum fabrication industry / S. Das, W. Yin // Journal of Materials. – 2007. – Vol. 59. – P. 83–87.
2. Состав, структура и смачиваемость поверхности изделий, модифицированных ионно-ассистированным нанесением покрытий / И. С. Ташлыков [и др.] // New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation : proc. IV int. conf. Zakopane, Poland, 21–24 June, 2005 / Lublin univ. of technol. ; ed. P.Wegierek [et al.]. – Lublin, 2005. – P. 171–174.
3. Использование программного пакета «Surfacexplorer» для обработки и визуализации АСМ-изображений / А. А. Суслов, Д. И. Шашолко // Методологич. аспекты АСМ VII междунар. семинара, Минск, 1–3 ноября 2006 г. – Минск, 2006. – С. 195–202.
4. Tashlykova-Bushkevich, I. I. Hydrogen depth-profiling and desorption kinetics in rapidly solidified Al-Fe alloys / I. I. Tashlykova-Bushkevich, G. Itoh // Aluminum alloys: Proc. 13 Int. Conf. ICAA13, Pittsburgh, June 3–7, 2012, USA / Carnegie Mellon Univ., TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) ; ed. H. Weiland [et al.]. – Pittsburgh, 2012. – P. 49–54.
5. Влияние композиционного состава поверхности на смачиваемость быстрозатвердевших фольг алюминия / И. И. Ташлыкова-Бушкевич [и др.] // Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами : тез. докл. XLII Междунар. Тулиновской конф., Москва, 29–31 мая 2012 г. / МГУ ; редкол.: Ю. А. Ермаков [и др.]. – М., 2012. – С. 167.