

УДК 539.1.06:539.23.234

О. Г. Бобрович, кандидат физико-математических наук, доцент (БГТУ)**СМАЧИВАЕМОСТЬ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА МАРКИ Д16,
МОДИФИЦИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЕМ ТИТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ
В УСЛОВИЯХ ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ**

В данной работе проведено исследование смачивания водой поверхности алюминиевого сплава марки Д16 после предварительной обработки поверхности шлифовальной бумагой разной зернистости и последующего ее модифицирования осаждением титанового покрытия в условиях ионного ассистирования. Установлено, что при внедрении сравнимых доз ионов титана в образцы сплава Д16 наибольшее увеличение значения краевого угла смачивания наблюдается для образцов, предварительно обработанных шлифовальной бумагой с размером зерна 40,5 и 46,2 мкм. Причем следует отметить, что до и после модифицирования при $U = 5$ кВ поверхность сплава Д16 была гидрофильной, а после модифицирования при $U = 10$ кВ поверхность стала гидрофобной.

In this work, a study was made of wetting by the water of the surface of the aluminum alloy of the brand 2024 after preliminary processing of a surface sanding paper of different grain sizes and its subsequent modification of deposition of titanium coatings in the conditions of the ion assisting. It is established that the implementation of comparable doses of ions in the specimens of titanium alloy 2024 the greatest increase in the value of wetting angle is observed for the samples treated beforehand with abrasive paper with a grain size of 40.5 and 46.2 μm . It should be noted that prior to inoculation and after the modification at $U = 5$ kV surface alloy 2024 was hydrophilic, and after the modification at $U = 10$ kV surface has been hydrophobic.

Введение. Алюминиевые сплавы широко используются во многих отраслях промышленности, в том числе связанных с развитием энергосберегающих технологий, в качестве конструкционных материалов современной техники [1, 2]. Структура и свойства поверхности и приповерхностных слоев алюминиевых сплавов определяют их функциональные и эксплуатационные характеристики, такие как износостойкость, коррозионная стойкость, микротвердость, смачивание поверхности. Для улучшения физико-механических и физико-химических свойств алюминиевых сплавов используются различные методы ионно-лучевой модификации. Применение ионных пучков вызывает в материале как химические, так и физические изменения. Дефекты, обусловленные бомбардировкой ионами высоких энергий, взаимодействуют как с матрицей, так и с имплантированными ионами [3]. И то, и другое меняет состояние поверхности, которая в ряде случаев обладает уникальными механическими, электрическими, трибологическими свойствами [4].

Цель данной работы заключалась в установлении закономерностей смачивания дистиллированной водой поверхности алюминиевого сплава марки Д16 после предварительной обработки поверхности шлифовальной бумагой разной зернистости и последующего ее модифицирования осаждением титанового покрытия в условиях ионного ассистирования. Для реализации этого метода осаждения покрытия использовался ионный источник, создающий плазму вакуумного электродугового разряда, в

которой одновременно генерируются положительные ионы и нейтральная фракция из материала электродов источника ионов. В качестве материала электродов использовался чистый титан 99,9%.

Основная часть. В настоящей работе в качестве объекта исследования был выбран алюминиевый сплав марки Д16, химический состав которого приведен в табл. 1.

Таблица 1
Химический состав сплава Д16

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn
До 0,5	До 0,5	0,3–0,9	До 0,1	До 0,15	90,9–94,7	3,8–4,9	1,2–1,8	До 0,25

Образцы сплава Д16, размером 1×1 см², вырезанные из плакированных листов толщиной 3 мм, подвергались обработке шлифовальной бумагой разной зернистости. Осаждение титанового покрытия проводили при ускоряющем напряжении $U = 5$ и 10 кВ для ассистирующих ионов Ti^+ и в интегральных потоках $(1-1,6) \cdot 10^{17} \text{Ti}^+/\text{см}^2$. В рабочей камере в процессе создания покрытий поддерживался вакуум $\sim 1 \cdot 10^{-2}$ Па.

Смачивание исходных и модифицированных образцов сплава Д16 дистиллированной водой определяли по краевому углу смачивания Θ (КУС). Краевой угол определяли по основным размерам капель воды, наносимой на исследуемые образцы: высоте h и диаметру основания d , значение $\cos\Theta$ рассчитывали по формуле

$$\cos \Theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2}. \quad (1)$$

Для получения воспроизводимых результатов капли воды, наносимые на образцы, имели примерно одинаковый объем $V = (47,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$ мл. Погрешность в измерении КУС составляла не более 2%.

Работу адгезии между твердым телом и жидкостью определяли с помощью уравнения Дюпре:

$$W_a^{т-ж} = \sigma_{ж-г} (1 + \cos \Theta), \quad (2)$$

где $\sigma_{ж-г}$ – поверхностное натяжение жидкость – газ, значение которого для воды на границе с воздухом при температуре измерения краевого угла смачивания 24°C равно 72,2 мДж/м².

На рис. 1 для примера приведены снимки капли воды на исходном и модифицированных в разных условиях образцах сплава Д16, предварительно обработанных шлифовальной бумагой с размером зерна 76,5 ± 13,5 мкм.

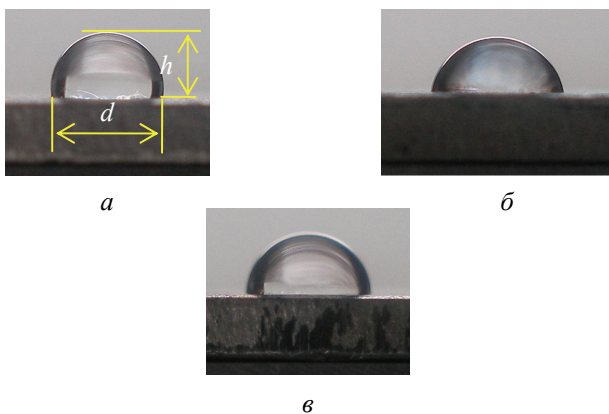


Рис. 1. Снимки капель дистиллированной воды на алюминиевом сплаве марки Д16: исходный образец (а) и образцы, модифицированные осаждением титана в условиях ассистирования ионами Ti^{+} при $U = 5$ кВ (б) и $U = 10$ кВ (в)

На рис. 2 показаны экспериментальные зависимости краевого угла смачивания титана, исходного и модифицированного алюминиевого сплава от размера зерна шлифовальной бумаги. При внедрении сравнимых доз ионов титана в образцы сплава Д16 наибольшее увеличение значения КУС наблюдается для образцов, обработанных шлифовальной бумагой с размером зерна 40,5 ± 1,5 и 46,2 ± 1,5 мкм. Причем следует отметить, что до модифицирования ($\Theta = 53,3^\circ$ и $\Theta = 55,5^\circ$) и после его при $U = 5$ кВ ($\Theta = 67,1^\circ$ и $\Theta = 87,5^\circ$) поверхность сплава Д16 была гидрофильной.

Из приведенных зависимостей следует также, что в покрытиях титан, по всей видимости, находится в связанном состоянии с образованием

карбидов и оксидов осаждаемого металла, которые ранее идентифицировались в наших работах [5] в аналогичных покрытиях. Этот вывод вытекает из сравнения значений КУС поверхности чистого титана (кривая 3, рис. 2) и сплава Д16, модифицированного осаждением титана в условиях ассистирования ионами Ti^{+} (кривая 2, рис. 2).

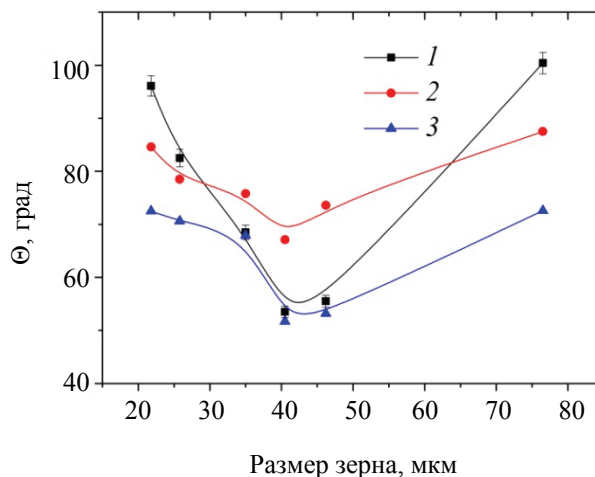


Рис. 2. Зависимость КУС дистиллированной водой от размера зерна шлифовальной бумаги: 1 – поверхности сплава марки Д16 до осаждения титана; 2 – после осаждения в условиях ассистирования ионами Ti^{+} при $U = 5$ кВ; 3 – поверхности чистого титана

В табл. 2 приведены экспериментальные значения КУС поверхности алюминиевого сплава исходного и модифицированного, а также размер зерна шлифовальной бумаги, используемой для шлифовки модифицируемых образцов. Анализ данных табл. 2 показывает, что для образцов сплава Д16, обработанных шлифовальной бумагой с размером зерна 40,5 ± 1,5 и 46,2 ± 1,5 мкм и затем модифицированных при $U = 10$ кВ, поверхность становится гидрофобной ($\Theta = 92,9^\circ$ и $\Theta = 96,0^\circ$). Для образцов, обработанных шлифовальной бумагой с размером зерна 21,8 ± 1,0 и 76,5 ± 13,5 мкм наблюдается обратная зависимость, до модифицирования – поверхность гидрофобная ($\Theta = 96,1^\circ$ и $\Theta = 100,4^\circ$), а после модифицирования при $U = 10$ кВ поверхность стала гидрофильной ($\Theta = 81,9^\circ$ и $\Theta = 89,0^\circ$).

По всей видимости, это связано с гетерогенностью поверхности, которая обусловлена различием в кристаллической структуре и химическом составе исходных и модифицированных в разных условиях образцов алюминиевого сплава Д16.

На рис. 3 изображена зависимость работы адгезии между модифицированным сплавом Д16 и дистиллированной водой, определяемой по формуле (2), от интегрального потока ассистирующих ионов титана.

Таблица 2

Значения краевого угла смачивания поверхности алюминиевого сплава марки Д16 и размер зерна шлифовальной бумаги, используемой для предварительной шлифовки образцов

Режим обработки	Краевой угол смачивания Θ , град					
	96,1	82,5	68,5	53,3	55,5	100,4
Исходный образец сплава Д16	96,1	82,5	68,5	53,3	55,5	100,4
Модифицированный образец сплава Д16 при $U = 5$ кВ	84,6	78,5	78,6	67,1	87,5	84,6
Модифицированный образец сплава Д16 при $U = 10$ кВ	81,9	87,1	79,6	92,9	96,0	89,0
Размер зерна шлифовальной бумаги, мкм	$21,8 \pm 1,0$	$25,8 \pm 1,0$	$35,0 \pm 1,5$	$40,5 \pm 1,5$	$46,2 \pm 1,5$	$76,5 \pm 13,5$

Как видно из рис. 3 увеличение размера зерна шлифовальной бумаги способствует росту значений работы адгезии при одинаковых дозах ассистирующих ионов Ti^+ , т. е. поверхность модифицированного сплава Д16 становится более гидрофильной.

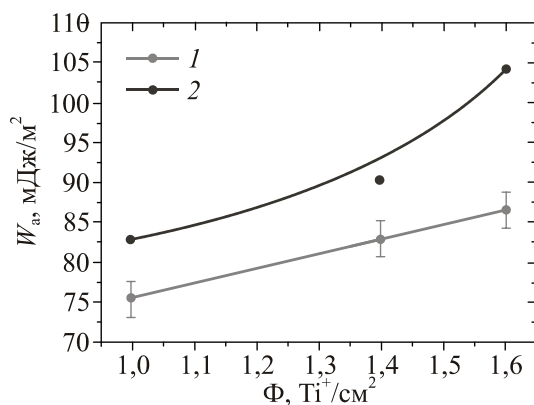


Рис. 3. Зависимость работы адгезии между модифицированным сплавом Д16 и дистиллированной водой от интегрального потока ассистирующих ионов Ti^+ при $U = 10$ кВ. Образцы сплава Д16 обработаны шлифовальной бумагой с размером зерна:
1 – $21,8 \pm 1$ мкм; 2 – $40,5 \pm 1,5$ мкм

Заключение. По результатам выполненной работы можно заключить, что значение краевого угла смачивания поверхности алюминиевого сплава марки Д16 водой зависит как от качества предварительной подготовки поверхности перед модифицированием, так и от режимов модифицирования. Требуется провести дополнительное исследование структуры и химического состава поверхности для объяснения представленных результатов.

Литература

1. Давыдов, В. Г. О некоторых актуальных проблемах разработки алюминиевых сплавов и технологий для авиакосмического применения // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2001. – № 4. – С. 32–36.
2. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / под ред. Дж. М. Поута [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.
3. Анищик, В. М. Структурно-фазовая стабильность дисперсионно-твердеющего сплава Д16 при высокоэнергетической имплантации ионов криптона / В. М. Анищик, С. И. Жукова, Л. А. Васильева // Взаимодействие излучения с твердым телом: материалы III Междунар. науч. конф., Минск, 6–8 окт. 1999 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1999. – Ч. 2. – С. 13–15.
4. Углов, В. В. Трибологические свойства углеродных покрытий, осажденных на алюминий / В. В. Углов, Н. Н. Черенда, А. К. Кулешов // Взаимодействие излучения с твердым телом: материалы III Междунар. науч. конф., Минск, 6–8 окт. 1999 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т. – Минск, 1999. – Ч. 2. – С. 270–272.
5. Ташлыков, И. С. Структура металлосодержащих (Ti, W) покрытий, нанесенных на кремний в условиях ионного ассистирования / И. С. Ташлыков, О. Г. Бобрович, О. М. Михалкович // Физика взаимодействия заряженных частиц с кристаллами: тез. докл. XXXVI Междунар. конф., Москва, 30 мая – 1 июня 2006 г. / Науч.-исслед. ин-т ядерной физики. – М., 2006. – С. 136.

Поступила 15.03.2013