

УДК 621.794.61

КОМПЛЕКСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РЕАКЦИОННУЮ ЗОНУ ПРИ АНОДИРОВАНИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16

Кусков В.Н., Коленчин Н.Ф., Шадрина П.Н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, e-mail: vnkuskov@yandex.ru

Оценили воздействие вибрации анода, озона, ультразвука на толщину и твердость анодной оксидной пленки, полученной на алюминиевом сплаве Д16 в 10%-ном водном растворе серной кислоты в течение 30 минут при 10 °С. Применение вибрации анода в вертикальной плоскости без барботажа электролита дает максимальные значения толщины и твердости покрытия по сравнению с другими технологиями. Установлено, что введение озона в воздушную смесь для барботажа электролита при анодировании увеличивает конечную толщину оксидного покрытия на 30–67 %, а одновременные ультразвуковое воздействие и продувка электролита озono-воздушной смесью – только на 7 %. Однако твердость покрытия увеличивается на 2–5 HRC в зависимости от расположения электродов и частоты вибрации анода.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, анодирование, озон, ультразвук, вибрация

THE COMPLEX EFFECT ON THE REACTION ZONE DURING ANODIZING OF ALUMINIUM ALLOY D16

Kuskov V.N., Kolenchin N.F., Shadrina P.N.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: vnkuskov@yandex.ru

Evaluated the effects of vibration of the anode, ozone, ultrasound on the thickness and hardness of the anodic oxide film obtained on the aluminium alloy D16 in a 10 % aqueous solution of sulfuric acid during 30 minutes at 10 °C. The application of the vibration of the anode in a vertical plane without bubbling of the electrolyte gives the maximum values of the thickness and hardness of the coating in comparison with other technologies. It is established that the introduction of the ozone-air mixture for bubbling of the electrolyte during anodizing increases the final thickness of the oxide coating by 30–67 %, and simultaneous ultrasonic treatment and bubbling the electrolyte ozone-air mixture is only 7 %. However, the hardness is increased by 2–5 HRC, depending on the location of the electrodes and the frequency of vibration of the anode.

Keywords: aluminum alloy, anodization, ozone, ultrasound, vibration

Анодирование алюминия и его сплавов давно и успешно используется в промышленности благодаря уникальным функциональным характеристикам образующегося оксидного покрытия. С целью дальнейшего повышения служебных свойств и интенсификации процесса разрабатываются новые составы электролитов, применяют импульсные режимы, программное изменение тока и напряжения, более активные окислители и поверхностно-активные вещества, дополнительное физическое воздействие на реакционную зону [2, 3, 6]. В работе оценили воздействие озона, ультразвука (УЗВ) и вибрации анода на толщину и твердость анодной оксидной пленки, полученной на алюминиевом сплаве Д16.

Цель исследования

Определить индивидуальное и совместное влияние указанных факторов и положения электродов в ванне на толщину и твердость оксидной пленки, полученной на сплаве Д16 при анодировании в водном растворе серной кислоты.

Материалы и методы исследования

Анодирование осуществляли в 10%-ном водном растворе серной кислоты в течение 30 минут при 10 °С, используя установку, схема которой приведена

в работах [1, 6]. Использовали образцы алюминиевого сплава Д16 размерами 60х30х3 мм. Начальная плотность тока составляла 5 А/дм², а затем она уменьшалась самопроизвольно. На заданную плотность тока выходили в течение 1 мин. Зазор между электродами указан в таблице. Частота вибрации анода составляла 100, 200 и 300 Гц, его перемещение осуществляли в вертикальной плоскости, а расположение электродов относительно друг друга было вертикальным или горизонтальным.

Осушенный и очищенный воздух пропускали через озонатор, получая 3 мг/л озона в смеси, скорость подачи которой в реакционную зону (барботаж) составляла 2 л/мин. Использовали ультразвуковую ванну УЗВ-13/150-МП-РЭЛТЕК с сочетанием частот 22 и 48 кГц.

Контроль О₃ в газовой и жидкой среде осуществляли с помощью двух озонметров «Медозон – 524/5». Толщину оксидных покрытий определяли многофункциональным электромагнитным толщиномером «Константа К5».

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице приведены некоторые результаты исследования. Их анализ позволяет уточнить механизм комплексного воздействия физических факторов на реакционную зону при анодировании алюминия и его сплавов.

Прежде всего, следует отметить, что толщина и твердость покрытия, получен-

ного при анодировании сплава Д16 без барботажа электролита (образцы №№ 1–3), достигают максимальных значений по срав-

нению с другими технологиями. Этот интересный факт можно объяснить следующим образом.

Параметры анодирования и свойства покрытий

№ образца	Покрытие		Параметры вибрации анода			Технология анодирования
	толщина, мкм	твердость HRC	расположение электродов	частота	зазор	
1	46	74	горизонтальное	100	2	без барботажа
2	53	80	горизонтальное	200	2	
3	60	81	горизонтальное	300	2	
4	23	58	горизонтальное	100	2	барботаж воздушной смесью
5	25	60	горизонтальное	100	3	
6	28	61	горизонтальное	200	3	
7	29	62	горизонтальное	300	3	
8	22	58	вертикальное	100	1	
9	24	59	вертикальное	200	1	
10	27	62	вертикальное	300	1	
11	30	61	вертикальное	100	1	барботаж озоно-воздушной смесью
12	40	63	вертикальное	100	2	
13	39	64	вертикальное	200	2	
14	43	65	вертикальное	300	2	
15	27	60	горизонтальное	100	3	
16	37	62	горизонтальное	200	2	
17	39	63	горизонтальное	300	3	
18	38	65	горизонтальное	100	3	барботаж воздушной смесью + УЗВ
19	35	59	горизонтальное	200	3	
20	40	66	горизонтальное	300	3	
21	30	60	вертикальное	100	3	
22	29	63	вертикальное	200	3	
23	35	65	вертикальное	300	3	
24	32	67	вертикальное	100	2	барботаж озоно-воздушной смесью + УЗВ
25	34	67	вертикальное	200	2	
26	40	69	вертикальное	300	2	
27	26	64	горизонтальное	100	3	
28	35	65	горизонтальное	200	3	
29	37	65	горизонтальное	300	3	

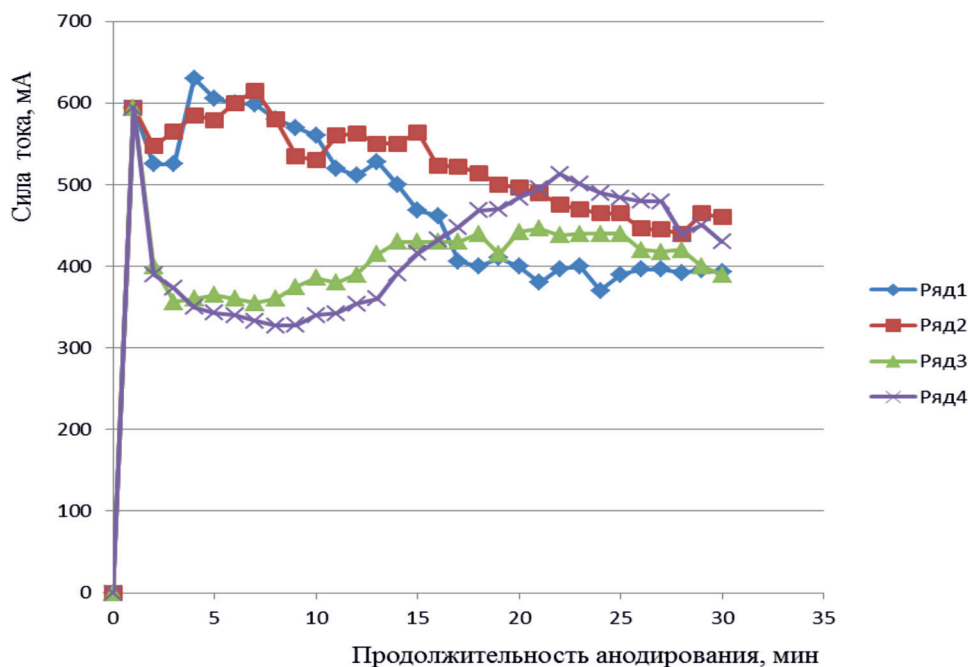
При отсутствии в электролите (и в межэлектродном пространстве, в том числе) специально организованного потока пузырьков газа, частично экранирующих поверхность электродов, сопротивление электролита уменьшается и ток возрастает. В результате увеличения прошедшего количества электричества возрастает толщина покрытия, а при повышении плотности тока и, как следствие, теплового и «электрокристаллизационного» воздействия в большей степени формируются кристаллы γ -оксида алюминия, а не аморфная оксидная пленка [4]. Примеры зависимости тока от времени приведены на рисунке. Видно, что в интервале со 2-й по 15–16-ю минуты величина тока при анодировании без барботажа выше.

При анодировании образцов №№ 1–3 наблюдаются небольших размеров пузыри, но их количество на порядок-два меньше, чем в других исследованных технологиях анодирования. Они представляют собой результат электролиза воды и кислоты: скорее всего, молекулярный водород.

Установлено, что введение озона в смесь с воздухом увеличивает конечную толщину оксида алюминия на 30–67% (образцы №№ 11–17 по сравнению с №№ 4–10). Применение ультразвукового воздействия на электролит снижает интенсивность формирования оксидного покрытия в случае добавления озона в газовую смесь, и конечная толщина покрытия за 30 мин анодирования оказывается

меньше приблизительно на 7 % (образцы №№ 24–29 по сравнению с №№ 11–17), а при использовании барботажа воздухом увеличивается на 75 % (сравните №№ 4–10

и №№ 18–23). Но в обоих случаях твердость покрытия увеличивается на 1–6 HRC в зависимости от расположения электродов и частоты вибрации анода.



Изменение величины тока со временем при анодировании образцов №№ 1 (ряд 1), 3 (ряд 2), 5 (ряд 3) и 7 (ряд 4)

При использовании ультразвука температура и давление в кавитационном пузыре могут достигать 10000 К и 100 МПа, а при его схлопывании распространяется ударная волна [5]. В таких условиях алюмогель покрытия может не только уплотняться механически, но и переходить в кристаллическую фазу [1, 6], что приведет к увеличению микротвердости и, как следствие, износостойкости. Сочетание вибрации с ультразвуком ухудшает результат анодирования. Предположительно, происходит «расфокусировка» ультразвуковой волны, что снижает энергетическое воздействие кавитационных пузырьков на поверхность растущего оксида. Это может быть обусловлено изменением толщины и строения двойного электрического слоя на границе твердого тела с электролитом.

Анализ экспериментальных данных позволяет выбрать параметры вибрации анода, позволяющие получить лучшие по толщине и твердости покрытия. В частности, зазор между электродами должен составлять 2–3 мм (образцы №№ 4–5 и 11–12), частота вибрации – 300 Гц. В процессе анодирования с барботажем воздушной смесью (в том числе, и с воздействием ультразвука)

предпочтительнее горизонтальное расположение электродов, а при использовании озono-воздушной смеси – вертикальное. Дело в том, что газовые смеси продуваются снизу (со дна ванны) и катод при горизонтальном расположении экранирует реакционную зону. При этом доступ озона к аноду затрудняется, воздух же изначально растворен в электролите межэлектродного пространства и взаимодействует с алюминиевым сплавом.

Выводы

1. Применение вибрации анода в вертикальной плоскости без барботажа электролита дает максимальные значения толщины и твердости покрытия, полученного при анодировании сплава Д16, по сравнению с другими технологиями. Использование дополнительных воздействий на реакционную зону заметно ухудшает свойства оксидной пленки.

2. Установлено, что введение озона в воздушную смесь для барботажа электролита при анодировании алюминиевого сплава Д16 в 10%-ном водном растворе серной кислоты увеличивает конечную толщину оксидного покрытия на 30–67%, а од-

современные ультразвуковое воздействие и продувка электролита озono-воздушной смесью – только на 7%. Однако твердость покрытия увеличивается на 2–5 HRC в зависимости от расположения электродов и частоты вибрации анода.

3. Ухудшение свойств (толщины и твердости) оксидного покрытия при совместном использовании вибрации и ультразвука происходит, предположительно, из-за «расфокусировки» ультразвуковой волны, что снижает энергетическое воздействие кавитационных пузырьков на поверхность растущего оксида. Это может быть обусловлено изменением толщины и строения двойного электрического слоя на границе твердого тела с электролитом.

Список литературы

1. Влияние озона и ультразвука на формирование и свойства анодного покрытия на алюминии и его сплавах / Н.Ф. Коленчин, В.Н. Кусков, А.В. Сафронов, П.Н. Шадрин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г.И. Носова. – 2013. – № 2. – С. 52–55.
2. Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н. Применение озono-воздушной смеси для интенсификации процессов анодирования алюминиевого сплава АК7ч // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 2. – С. 6–8.
3. Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н. Увеличение срока эксплуатации нефтепромыслового оборудования за счет замены материала деталей // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 1–2. – С. 456–458.
4. Особенности роста покрытия при микродуговом оксидировании алюминиевых сплавов / В.Н. Кусков, Ю.Н. Ку-

сков, И.М. Ковенский, Н.И. Матвеев // Физика и химия обработки материалов. – 1990. – № 6. – С. 101–103.

5. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ. – 2008. – Т. 14, № 14. – С. 861–869.

6. Кусков В.Н., Коленчин Н.Ф., Шадрин П.Н., Сафронов А.В. Структура и свойства анодной оксидной пленки на алюминии и сплаве Д16 / В.Н. Кусков. – С. 625–629.

References

1. Kolenchin N.F., Kuskov V.N., Safronov A.V., Shadrina P.N. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta imeni G.I. Nosova. 2013. no 2. pp. 52–55.
2. Kolenchin N.F., Kuskov V.N. Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. 2013. no 2. pp. 6–8.
3. Kolenchin N.F., Kuskov V.N. Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2011. T. 13. no 1. 2. pp. 456–458.
4. Kuskov V.N., Kuskov Ju.N., Kovenskij I.M., Matveev N.I. Fizika i himija obrabotki materialov. 1990. no 6. pp. 101–103.
5. Promtov M.A. Vestnik TGTU. 2008. T. 14. no 14. pp. 861–869.
6. Kuskov V.N., Kolenchin N.F., Shadrina P.N., Safronov A.V. Fundamental'nye issledovanija. – 2012. no 11 (chast' 3). pp. 625–629.

Рецензенты:

Овчинников В.П., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, г. Тюмень;

Тарасенко А.А., д.т.н., профессор, генеральный директор ТРО ООО «АИОР», г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.12.2014.