

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ В СЕРНОКИСЛОМ РАСТВОРЕ

Анодно-оксидные покрытия на алюминии и его сплавах получили широкое распространение в промышленности, что связано с их разнообразием функционального применения, определяемого в основном особенностью механических, диэлектрических и физико-химических свойств полученных оксидных пленок. Процесс получения таких покрытий обычно проводят в стационарном режиме электролиза с применением раствора содержащем 180-200 г/дм³ серной кислоты, отличающийся дешевизной, а полученные оксидные пленки обладают хорошими эксплуатационными характеристиками. Однако, в настоящий момент времени актуальным остается вопрос модификации анодно-оксидных покрытий на алюминии и его сплавах с целью увеличения физико-химических и триботехнических свойств применяя различные режимы анодирования и составы электролитов. Одним из таких режимов является анодирование с использованием импульсной подачи тока (импульсное анодирование), которое можно охарактеризовать как комбинацию нормального и экстремального анодирования [1]. В результате такого анодного оксидирования возможно получение упорядоченного нанопористого анодного оксида алюминия со сложной внутренней структурой пор [2]. Используя различные параметры импульсного процесса, среди которых время, температура, предел плотности тока, частота и скважность, можно получить толстые и твердые анодные оксиды с хорошей межфазной адгезией, обладающие повышенной коррозионной стойкостью и сопротивлением истиранию [3].

В настоящей работе исследовалось влияние импульсной токовой нагрузки на свойства получаемых анодно-оксидных покрытий на образцах из сплава алюминия АД31, который широко используется в автомобильной, авиационной, легкой и мебельной промышленности.

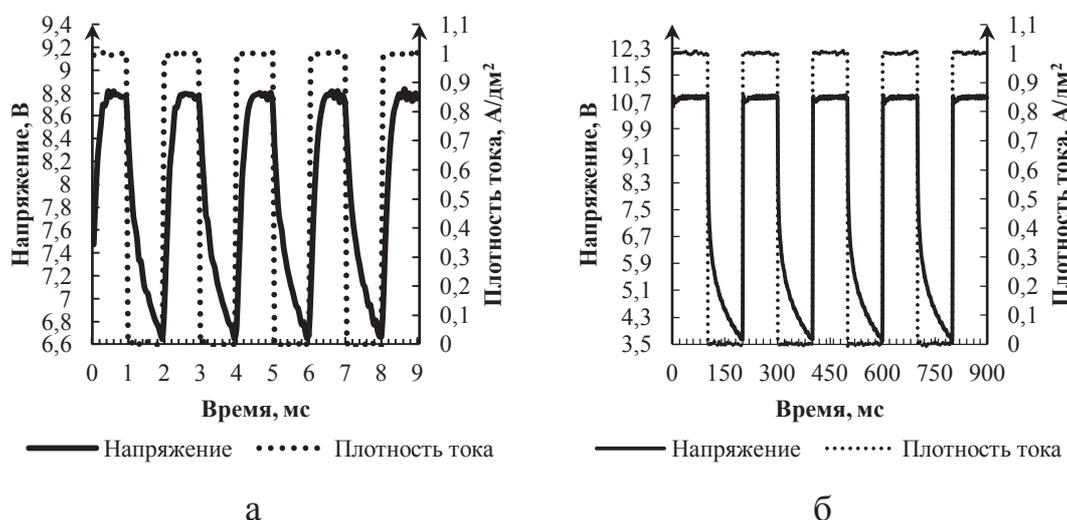
Процесс анодирования проводили в гальваностатическом режиме при импульсной и стационарной токовой нагрузке в электролите содержащем 180 г/дм³ серной кислоты. Режимы импульсного анодирования сплава алюминия АД31 представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Режимы импульсного анодирования сплава АД31

Соотношение импульса к паузе ($\tau_{и}:\tau_{п}$)	Длительность амплитуды тока, мс				D	S
	1	10	50	100		
1:1	1:1	10:10	50:50	100:100	0,5	2
2:1	1:0,5	10:5	50:25	100:50	0,667	1,5
5:1	1:0,2	10:2	50:10	100:20	0,833	1,2
10:1	1:0,1	10:1	50:5	100:10	0,909	1,1

Электролиз проводили при плотности тока 1 А/дм^2 и температуре электролита $18-21 \text{ }^\circ\text{C}$. Длительность электролиза составляла 30 минут.

При проведении исследования процесса импульсного анодирования сплава алюминия АД31 получены осциллограммы тока и напряжения, представленные на рисунке 1.



Продолжительность импульса анодного тока, мс: а – 1; б – 100.

Рисунок 1 – Осциллограммы тока и напряжения процесса анодирования сплава АД31 в сернокислом электролите при скважности 2

При скважности импульсов, равной 2, значение амплитуды напряжения процесса возрастает от 8,8 до 10,7 В с увеличением длительности анодного импульса от 1 до 100 мс, что может указывать на инерционность процесса роста пленки (рисунок 1). При коротких импульсах тока образуется тонкий барьерный слой оксида, а роста оксидной пористой части пленки почти не происходит. За время релаксации в течение бестоковой паузы часть оксида взаимодействует с электролитом, толщина пленки на локальных участках снижается. При подаче следующего импульса процесс образования оксида повторяется, напряжение при этом возрастает до квазистационарного

значения и устанавливается вне зависимости от длительности паузы в течение 0,3-0,4 мс, что свидетельствует о наличии закономерности образования и роста пленки в нестационарном режиме.

При проведении исследований процесса импульсного анодирования сплава алюминия АД31 определено влияние скважности и длительностей гальваностатических импульсов на защитные, электроизоляционные и другие свойства анодно-оксидных покрытий (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная характеристика свойств анодно-оксидных покрытий, полученных в импульсных режимах электролиза

№ п/п	Режим импульсного анодирования	Исследуемые параметры				
		Пробивное напряжение, В	Защитная способность, мин	Микро-твердость, НВ	Вт, %	δ, мкм
1	2	3	4	5	6	7
$S = 2 (Q = 0,250 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2)$						
1	$\tau_{\text{и}} = 1 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 1 \text{ мс}$	150	10,06	151	66,7	3,02
2	$\tau_{\text{и}} = 10 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 10 \text{ мс}$	207	10,58	222	64,9	2,94
3	$\tau_{\text{и}} = 50 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 50 \text{ мс}$	206	9,81	–	70,9	3,21
4	$\tau_{\text{и}} = 100 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 100 \text{ мс}$	202	9,89	–	75,7	3,43
$S = 1,5 (Q = 0,333 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2)$						
5	$\tau_{\text{и}} = 1 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 0,5 \text{ мс}$	180	9,83	223	62,2	3,76
6	$\tau_{\text{и}} = 10 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 5 \text{ мс}$	240	10,73	288	66,2	4,00
7	$\tau_{\text{и}} = 50 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 25 \text{ мс}$	202	11,44	266	69,9	4,22
8	$\tau_{\text{и}} = 100 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 50 \text{ мс}$	204	12,84	–	71,2	4,30
$S = 1,2 (Q = 0,417 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2)$						
9	$\tau_{\text{и}} = 1 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 0,2 \text{ мс}$	230	10,86	–	63,8	4,82
10	$\tau_{\text{и}} = 10 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 2 \text{ мс}$	260	11,82	–	64,2	4,84
11	$\tau_{\text{и}} = 50 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 10 \text{ мс}$	227	9,53	–	65,3	4,93
12	$\tau_{\text{и}} = 100 \text{ мс}$ $\tau_{\text{п}} = 20 \text{ мс}$	235	9,75	–	65,6	4,95
$S = 1,1 (Q = 0,455 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2)$						

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
13	$\tau_{и} = 1 \text{ мс}$ $\tau_{п} = 0,1 \text{ мс}$	250	10,42	–	63,8	5,25
14	$\tau_{и} = 10 \text{ мс}$ $\tau_{п} = 1 \text{ мс}$	больше 260	10,93	–	63,8	5,25
15	$\tau_{и} = 50 \text{ мс}$ $\tau_{п} = 5 \text{ мс}$	255	11,34	–	67,4	5,55
16	$\tau_{и} = 100 \text{ мс}$ $\tau_{п} = 10 \text{ мс}$	255	10,58	–	65,4	5,39
Стационарный режим анодирования						
17	$Q = 0,250 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2$	135	6,67	–	73,3	3,32
18	$Q = 0,333 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2$	200	9,62	–	65,9	3,97
19	$Q = 0,417 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2$	200	9,43	–	64,9	4,90
20	$Q = 0,455 \text{ А} \cdot \text{ч/дм}^2$	202	9,37	–	65,8	5,41

Защитная способность оксидных пленок в большинстве случаев не зависит от толщины пленки и изменяется в пределах от 6,67 до 12,84 минут (таблица 2), что в несколько раз превышает рекомендуемые показатели для аналогичных покрытий, осажденных из серноокислых электролитов. Пробивное напряжение анодных пленок достигает максимальных значений при длительности импульса 10 мс (таблица 2). Это может говорить о том, что при указанной длительности происходит формирование плотных и равномерных слоев анодного оксида. Наиболее вероятно при более коротких импульсах оксид формируется на локальных участках с постепенным заполнением всей поверхности в последующих импульсах. Увеличение длительности импульса более 10 мс приводит к разрыхлению пленки, вследствие локального разогрева поверхности и интенсификации точечных химических реакций оксида с электролитом.

Таким образом, использование импульсного режима анодирования позволяет повысить электроизоляционные и защитные свойства анодных покрытий на поверхности сплава алюминия АД31 до 30 % и более по сравнению со стационарным режимом электролиза. Наиболее высокие значения указанных показателей соответствуют импульсному режиму с длительностью импульсов 10 мс и скважностью процесса 1.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров, Я. А. Морфология анодного оксида алюминия и методы ее модификации / Я. А. Захаров, А. Н. Плиговка, А. А. Позняк //

- НАНБ. Порошковая металлургия. Физико-химические исследования материалов. – 2021. – № 43. – С.106-115.
2. Медведева, Н. В. Модулирование пор анодного оксида алюминия в процессе его получения для формирования фотонных кристаллов / Н. В. Медведева // Вестник БГУИР. Электронные системы и технологии. – 2021. – С.216-218.
 3. Паршутто, А. А. Сравнительная оценка эффективности различных методов оксидирования / А. А. Паршутто // Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Металлургия. – 2020. – № 41. – С.125-131.