

УДК 621.794.61

## СТРОЕНИЕ ОКСИДНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ АНОДИРОВАНИИ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

© 2014 В.Н. Кусков, Н.Ф. Коленчин, А.В. Сафонов

Тюменский государственный нефтегазовый университет

Поступила в редакцию 19.05.2013

Исследовали особенности строения оксидного покрытия при анодировании алюминия А3 и сплава Д16 в водном растворе серной кислоты. Использовали 3 технологии воздействия на электролит: продувание воздушной и озона-воздушной смеси, а также дополнительное ультразвуковое воздействие. Установлено повышенное содержание кислорода в металле перед фронтом растущего оксида (9 – 14 %). Приведены фотографии характерных участков покрытия.

*Ключевые слова:* анодирование, алюминий, оксидное покрытие, строение.

Технология анодирования алюминия и его сплавов активно используется в промышленности благодаря высоким эксплуатационным характеристикам оксидного покрытия, получающегося на поверхности изделия. Однако состояние современного машиностроения ставит задачи дальнейшего совершенствования как режимов процесса, так и его результатов. Требуется повышение износстойкости, твердости покрытия, ускорение его формирования, снижение содержания агрессивных компонентов электролита и т.д.

С целью лучшего понимания закономерностей формирования оксидного покрытия в процессе анодирования исследовали его строение на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6510LV и на зондовом микроскопе НТ-МДТ «Интегра Аура». Структура анодной оксидной пленки будет формироваться в зависимости от условий режима воздействия на покрытие [1] (напряжение, строение двойного электрического слоя, состав электролита, состояние окислителей, конвективный перенос и т.д. и т.п.).

Анодировали образцы алюминия А3 и сплава Д16 размерами 30x30x2 мм при температуре  $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$  и содержании озона в воздушной смеси 3 мг/л, концентрацию серной кислоты в электролите варьировали от 1 до 10 мас. %. Использовали три различные технологии воздействия на электролит: продувку воздухом; продувку озона-воздушной смесью и продувку озона-воздушной смесью с одновременным ультразвуковым воздействием частотой  $2,2 \cdot 10^4$  Гц. Механи-

*Кусков Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов». E-mail: vnkuskov@yandex.ru*

*Коленчин Николай Филиппович, кандидат технических наук, проректор. E-mail: kolenchin@tsogu.ru*

*Сафонов Александр Владимирович, аспирант. E-mail: alekss1987@bk.ru.*

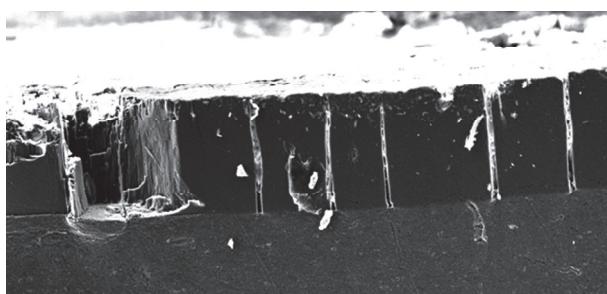
ческие характеристики полученных покрытий приведены в работе [2].

В настоящее время общепризнанной является плазменная теория роста анодной оксидной пленки [3, 4], которая объясняет многие наблюдающиеся при анодировании явления. При этом предполагается шестигранная форма оксидных ячеек, растущих перпендикулярно к поверхности металла, с каналом симметричного сечения в центре каждой ячейки. Через каналы окислитель проникает внутрь оксида и взаимодействует с алюминием.

Общий вид покрытия (рис. 1) при небольших увеличениях в целом соответствует известной схеме. В нижней части фотографии расположен металл (серый цвет), выше – покрытие (черный цвет) толщиной в среднем 190 мкм. Каналы внутри покрытия действительно перпендикулярны поверхности металла, правда, на одном из них видно ответвление.

При больших увеличениях выявляются дополнительные детали. В частности, на поверхности покрытия (рис. 2) сечение каналов имеет трещинообразную форму с различной длиной в перпендикулярных направлениях.

Размеры каналов внутри анодных покрытий (рис. 3) колеблются от менее 5 до 25 мкм. Внутри каналов и их стенок присутствуют кристалли-



**Рис. 1.** Общий вид оксидного покрытия с каналами. x 95

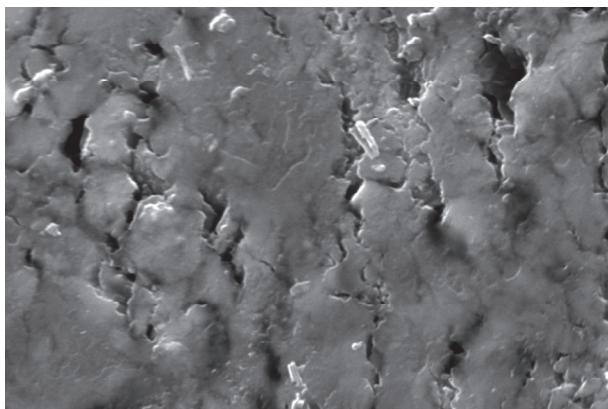


Рис. 2. Поверхность анодного оксидного покрытия. х 6000

ческие образования оксида алюминия (белые угловатые включения на рис. 4). На рис. 5 удалось зафиксировать кристалл в виде классического дендрита.

На рис. 6 приведены примеры распределения кристаллов оксида алюминия в покрытии после анодирования с продувкой электролита воздухом и озона-воздушной смесью. Установлено более равномерное распределение  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в объеме покрытия во втором случае. Помимо увеличения

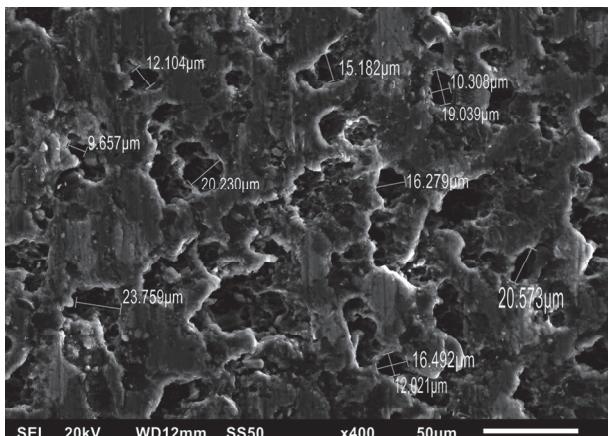


Рис. 3. Размеры каналов внутри анодных покрытий на алюминии А3

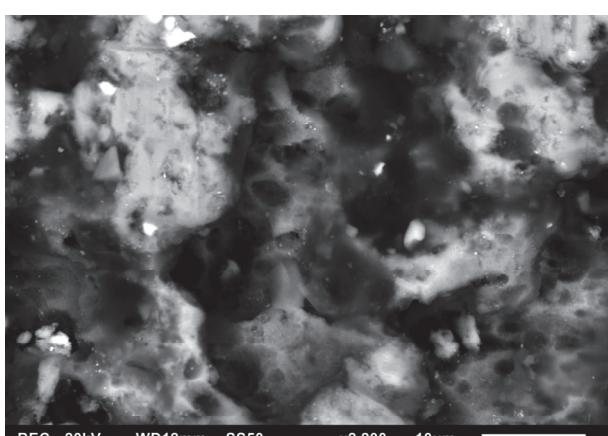


Рис. 4. Кристаллы оксида алюминия в покрытии Д16

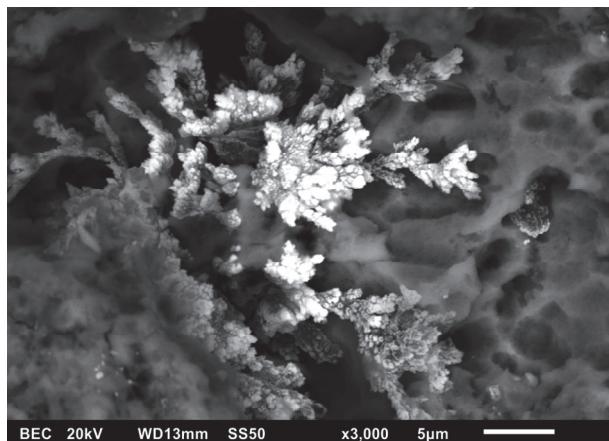


Рис. 5. Дендритообразный кристалл оксида алюминия в покрытии Д16

кристаллической составляющей при наличии озона [2] отмеченное распределение частиц способствует повышению микротвердости и износостойкости поверхностного слоя изделия.

На рис. 7 показано слоистое строение стенок каналов покрытия, что может свидетельствовать об их аморфной основе с включениями кристаллических частиц. Ранее этот факт был установлен рентгеноструктурными исследованиями [2].

На рис. 8 приведена 3-D модель поверхности покрытия (высота указана в нанометрах), которая свидетельствует о неодинаковой скорости роста различных участков анодного покрытия.

Приведенные в табл. 1 результаты рентгеноспектрального анализа (повышенное содержание кислорода в металле) показывают, что впереди фронта растущего покрытия создаются условия для образования оксида (в аморфной или кристаллической форме). При этом следует подчеркнуть, что при ультразвуковом воздействии на анодный процесс концентрация кислорода в металле несколько больше, чем в остальных случаях. Содержание кислорода и алюминия в покрытии практически одинаково во всех случаях (с учетом погрешности анализа).

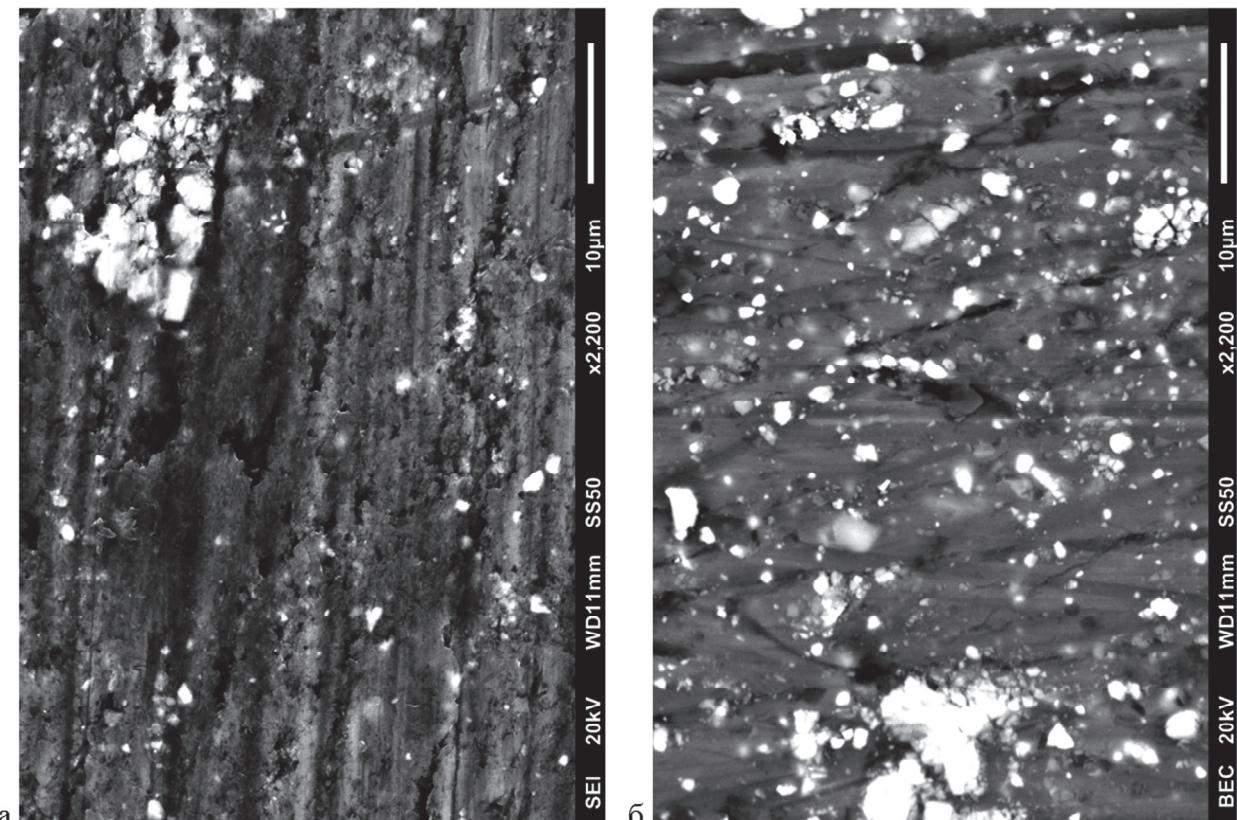
## ВЫВОДЫ

1. Впервые установлено, что впереди фронта растущего покрытия (в металле) присутствует от 9 до 14 % кислорода. При добавлении озона в воздушную смесь концентрация кислорода в металле повышается.

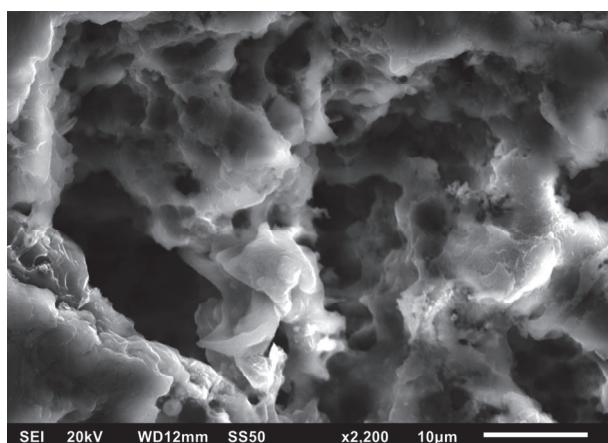
2. Исследовано строение анодного оксидного покрытия на алюминии и его сплаве при увеличениях до 3000 крат. Скорректированы известные ранее представления о строении покрытия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

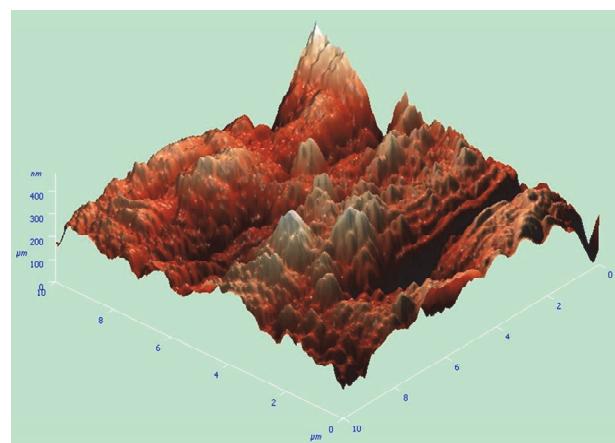
- Патент РФ № 206108 / 27.05.1996. Кусков В.Н. Спо-



**Рис. 6.** Распределение кристаллов оксида алюминия в покрытии Д16 после анодирования с продувкой электролита:  
а – воздухом; б – озono-воздушной смесью



**Рис. 7.** Слоистое строение стенок каналов покрытия Д16



**Рис. 8.** 3-Д модель поверхности покрытия Д16 в процессе ее роста

- соб термической обработки стальных изделий // Бюллетень. 1996. № 15. Заявлено 93017148/02, 02.04.1993.
2. Влияние ультразвука на формирование и свойства оксидного покрытия при анодировании алюминия и его сплавов / Н.Ф. Коленчин, В.Н. Кусков, П.Н. Шадрина, А.В. Сафонов // Известия Самарского науч-

- ного центра РАН, т. 15. 2013. № 4. С. 96 – 98.  
3. Богоявленский, А.Ф. О химизме анодного окисления металлов // Анодное окисление металлов. Казань: Изд-во КАИ, 1983. С. 3 – 7.  
4. Аверьянов Е.Е. Вопросы теории образования и формирования анодных оксидов: дис. ... докт. техн. наук. Казань, 2004. 276 с.

**Таблица 1.** Технология анодирования, содержание кислорода и алюминия в металле перед фронтом растущего оксида

№ п/п	Технология анодирования				Содержание в металле, вес. %		
	время, мин	содержание $H_2SO_4$ , %	температура электролита, °C	Применение		O	Al
				озыва	ультразвука		
1	90	8	0			9	81
2	90	8	0	да		13	86
3	80	1	0			10	59
4	80	1	0	да		13	41
5	30	10	10			8	76
6	30	10	10	да		12	55
7	30	10	10	да	да	14	51

### **THE STRUCTURE OF THE OXIDE COATING WITH ANODIZED ALUMINUM AND ITS ALLOYS**

© 2014 V.N. Kuskov, N.F. Kolenchin, A.V. Safronov

Tyumen State Oil and Gas University

Investigated features of the structure of the oxide coating with anodized aluminum A3 and alloy D16 in water solution of sulfuric acid. Used 3 technology impact on the electrolyte: blowing off the air and ozone-air mixture, as well as additional ultrasonic influence. A higher content of oxygen in metal front growing of oxide (9 – 14 %). Photos are specific areas of coverage.

*Keywords:* anodizing, aluminum, oxide coating, structure.

*Viktor Kuskov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Hydrocarbon Resources Transport Department.*

*E-mail: vnkuskov @ yandex.ru*

*Nikolay Kolenchin, Candidate of Technical Sciences, Deputy Rector. E-mail: kolenchin @ tsogu.ru*

*Aleksandr Safronov, Graduate Student.*

*E-mail: alekss1987@bk.ru*