

Объяснить полученную закономерность следует следующим образом: на рассматриваемой стадии синтеза диоксида кремния происходит образование зародышей. При высокой температуре раствора (что соответствует повышенной растворимости осаждаемого вещества, образуется относительно небольшое количество центров (зародышей), на которых впоследствии осаждается выделяющийся из раствора нанокремнезем. Поскольку количество зародышей ограничено, то размер формирующихся частиц  $\text{SiO}_2$  возрастает. Наоборот, пониженная температура синтеза на этой стадии приводит к увеличению количества зародышей, что эквивалентно снижению диаметра частиц конечного продукта.

#### Литература

1. Осажденный диоксид кремния и способ его получения: пат. RU2087417: МПК C01B 33/193, C08K 3/00, C08L 101/00 / Ивонник Шевалье, Эвелин Прат; дата заявки: 1994.09.29, дата публ.: 1997.08.20.

2. Синтез и характеристика нанодисперсного кремнезема, получаемого переодическим кислотным способом / И.М. Терещенко [и др.] // Нефтехимия-2018: материалы методической научно-технической конференции, 27–30 ноября 2018. – Минск: БГТУ, 2018. – Ч.2. – С. 83–86.

### **ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЯМИ МАРГАНЦА АНОДНО-ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Потихонин Д.Е., Махнориллов В.И., Осипенко М.А., Курило И.И. к.х.н., доц.

*Белорусский государственный технологический университет, Минск*

Процесс анодирования находит широкое применение для защиты изделий из алюминия и его сплавов от негативного воздействия окружающей среды, для обеспечения надежного сцепления гальванических покрытий с алюминиевой матрицей, а также создания подслоя перед окрашиванием. В качестве электролитов анодирования используют растворы на основе серной, ортофосфорной, щавелевой и других кислот, а также их смесей. Анодирование в фосфорнокислых электролитах позволяет получать анодно-оксидные покрытия (АОП) с порами существенно большего размера и, как следствие, с лучшей адгезией к поверхности по сравнению с покрытиями, сформированными в сернокислых электролитах [1].

Для улучшения защитных свойств АОП подвергаются уплотнению, что приводит к закрытию пор образующимся бемитом и соединениями металлов, присутствующих в электролитах. В настоящее время широко используется гидротермальное уплотнение, а также уплотнение в растворах хроматов, что позволяет получать АОП, обладающие эффектом «самозалечивания». В ряде работ показана эффективность использования перманганата калия в качестве ингибитора коррозии, что делает целесообразным исследование возможности его использования в составах растворов уплотнения в качестве альтернативы экологически опасным и канцерогенным соединениям хрома [2,3]

Целью данной работы является установление влияния параметров процесса анодирования сплава алюминия АД31 и уплотнения в растворах перманганата калия полученных анодно-оксидных покрытий на их защитные свойства.

Объектом исследования в данной работе является медьсодержащий сплав алюминия марки АД31, номинального состава, масс. %: Si – (0.20–0.60); Fe – 0.50; Cu – 0.10; Mn – 0.10; Mg – (0.45–0.90); Zn – 0.20; Ti – 0.15; Al – баланс.

В исследованиях использовали образцы круглой формы диаметром 40 мм и толщиной 1 мм. Образцы перед анодированием предварительно проходили подготовку согласно ГОСТ 9.402–2004.

Анодирование проводили в растворе  $\text{H}_3\text{PO}_4$  с концентрацией  $200 \text{ г/дм}^3$  в течение 40 мин при комнатной температуре ( $\approx 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и напряжении, равном 10, 20 и 30 В. Материал катодов – свинец.

Уплотнение АОП проводили в 0.2 М растворе  $\text{KMnO}_4$  при температуре  $100 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Время уплотнения – 20 мин. После уплотнения образцы модифицированных АОП промывали горячей дистиллированной водой и сушили с помощью термовоздуходувки.

Для изучения коррозионной стойкости образцов АОП, полученных при различных параметрах электролиза, а также в отсутствие и при наличии уплотнения в растворах перманганата калия, использовали метод линейной поляризации в 0.5 М растворе хлорида натрия.

Электрохимические параметры, полученные из анализа потенциодинамических поляризационных кривых для сформированных АОП, представлены в таблице 1.

Как видно из полученных данных, в отсутствие уплотнения для АОП, сформированных при напряжении 10 В, ток коррозии составляет  $3.12 \cdot 10^{-6} \text{ А/см}^2$ . Увеличение напряжения в процессе анодирования приводит к снижению тока коррозии примерно в 1.8 раз.

Таблица 1 – Электрохимические параметры, полученные из анализа потенциодинамических поляризационных кривых

Вид обработки	$b_k, \text{ В}$	$a_k, \text{ В}$	$b_a, \text{ В}$	$a_a, \text{ В}$	$i_{\text{корр}}, \text{ А/см}^2$
$\text{H}_3\text{PO}_4$ 10 В	-0.0230	-0.7517	0.0180	-0.5260	$3.12 \cdot 10^{-6}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$ 20 В	-0.0432	-0.8632	0.0278	-0.4641	$2.39 \cdot 10^{-6}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$ 30 В	-0.0467	-0.8495	0.0054	-0.5488	$1.69 \cdot 10^{-6}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$ 10 В + уплотнение в $\text{KMnO}_4$	-0.0210	-0.7750	0.0080	-0.5982	$8.00 \cdot 10^{-7}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$ 20 В + уплотнение в $\text{KMnO}_4$	-0.0304	-0.7802	0.0162	-0.4877	$5.28 \cdot 10^{-7}$
$\text{H}_3\text{PO}_4$ 30 В + уплотнение в $\text{KMnO}_4$	-0.0232	-0.8738	0.0219	-0.5873	$4.44 \cdot 10^{-7}$

Аналогичная зависимость наблюдается и для АОП с уплотнением, для которых токи коррозии составляют  $8.00 \cdot 10^{-7}$ ,  $5.28 \cdot 10^{-7}$  и  $4.44 \cdot 10^{-7}$  при напряжении анодирования 10, 20 и 30 В соответственно. Увеличение защитных свойств объясняется тем, что при более высоком напряжении процесса происходит формирование однородных, упорядоченных пор одинакового размера. В пользу этого предположения также свидетельствует образование более интенсивно окрашенных покрытий.

В свою очередь гидротермическое уплотнение пористого слоя полученных АОП в растворе перманганата калия приводит к запечатыванию пор бемитно-марганцовыми структурами и, как следствие, к затруднению миграции хлорид-ионов через анодно-оксидный слой к алюминиевой подложке. При этом токи коррозии уменьшаются примерно в 3.9, 4.5 и 3.8 раза для покрытий, сформированных при напряжениях 10, 20 и 30 В соответственно.

Таким образом, проведенные исследования показали, что увеличение напряжения в процессе анодирования сплавов алюминия, а также уплотнение сформированных АОП в растворах перманганата калия позволяет существенно уменьшить ток коррозии, а, следовательно, повысить защитный эффект поверхности.

Литература

1. E. Rocca, D. Vantelon, S. Reguer, and F. Mirambet, "Structural evolution in nanoporous anodic aluminium oxide," *Mater. Chem. Phys.*, Vol. 134, No. 2–3, P. 905–911, 2012.
2. Осипенко М.А. Изучение коррозионного поведения сплава алюминия АД31 в присутствии перманганата калия в кислой среде / М.А. Осипенко, Д.С. Харитонов, И.В. Макарова, И. И. Курило // *Коррозия: материалы, защита.* – 2020. – № 1. С. 22–27.
3. Харитонов Д.С. Механизм получения и защитные свойства конверсионных покрытий на основе соединений марганца на поверхности сплава алюминия АД31 / Д.С. Харитонов, И.В. Макарова, М. А. Осипенко [и др.] // *Физикохимия поверхности и защита материалов.* – 2020. – Т. 56, № 1. С. 91–103.

### **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СТЕКОЛ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО СТЕКЛОВОЛОКНА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $MgO-CaO-Al_2O_3-SiO_2$**

Папко Л.Ф. к.т.н., доц., Кравчук А.П. к.т.н., доц., Пупышев И.Е., Чайкина А.О.

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (г. Минск)*

Высокопрочное высокомодульное волокно (ВМП или тип S) используется для изготовления композиционных материалов, которые работают в условиях высоких нагрузок, под воздействием экстремальных температур и коррозионных сред. Упруго-прочностные характеристики таких волокон более чем на 30% превосходят аналогичные показатели алюмоборосиликатных стеклянных волокон (тип E). Кроме этого, волокна из стекла типа S обладают существенно более высокой прочностью при длительных нагрузках, а также термо- и водостойкостью. Показатели прочности промышленных высокопрочных волокон составляют 4,4–4,7 ГПа, модуль упругости 82–89 ГПа. Показатели модуля упругости экспериментальных материалов такого типа могут достигать 100–130 МПа, прочности – до 5,1 ГПа. Волокна типа S могут быть сравнены по показателям прочности с арамидными, углеродными, керамическими волокнами и другими эффективными материалами, при этом иметь относительную низкую стоимость [1–3].

Волокна типа S и материалы на их основе используются в аэрокосмической, авиационной, автомобильной, электротехнической и электронной промышленности, индустрии спортивных товаров и военной технике. На авиакосмическом и авиационном рынках волокна из S-стекла используются из-за их высоких прочностных свойств, в частности высокой устойчивости к разрушению (ударной вязкости) Перспективной сферой применения композиционных материалов, армированных высокопрочным волокном, является медицина.

Развитие рынка композиционных материалов требует увеличения объемов производства высокопрочного высокомодульного стекловолокна, разработки стекломатериалов с различным сочетанием показателей прочности и упругости [1]. Фактором, сдерживающим расширение объемов производства материалов такого типа, являются тугоплавкость стекол, получаемых на основе системы  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ , высокая вязкость стеклорасплава и, как следствие, высокая температура формования волокна. Соответственно производство высокопрочного волокна является энергозатратным и низкопроизводительным процессом. Высокопрочные высокомодульные волокна, полученные на основе стекол системы  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ , производятся по энергозатратной двухстадийной технологии, которая включает варку стекла и формование заготовок на первой стадии процесса, плавление заготовок и вытягивание волокна на второй стадии.

В этой связи возникает необходимость в разработке составов стекол для получения волокна, сочетающих высокую прочность и приемлемые для одностадийной выработки технологические свойства.