

## Исследование свойств оксидных пленок силуминов, полученных в нестационарных режимах

Паршуто А.А., Степанова-Паршуто Е.А., Климова Е.А., Кохнюк В.Н.  
Физико-технический институт НАН Беларуси

### *Аннотация:*

Благодаря высокому комплексу физико-механических свойств литейные алюминиевые сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов в различных отраслях промышленности. Усовершенствование структуры и механических свойств алюминия и его сплавов, создание новых материалов с расширенными функциональными возможностями способствуют развитию современного машиностроения [1].

### *Текст доклада:*

Развитием методов оксидирования в растворах электролитов является использование специальных методик и оборудования, позволяющее проводить оксидирование с использованием импульсной подачи энергии.

Использование импульсной подачи тока в процессе роста оксидной пленки позволяет увеличить скорость роста оксидной пленки и снизить потребление электроэнергии [2, 3].

В работах [4–5] приводятся преимущества применения импульсной подачи энергии при формировании оксидной пленки на сплавах алюминия, по сравнению с обычными процессами анодирования. Это позволяет значительно повысить скорость роста оксидной пленки и, меняя технологические параметры, такие как концентрация электролита или его температура, влиять на размеры пор.

Данная работа посвящена исследованию физико-механических свойств оксидных пленок, полученных при использовании импульсных режимов оксидирования алюминиевого сплава с содержанием кремния.

В качестве образцов использовались круглые полированные пластины из сплава силумина АК12 (4007) диаметром 30 мм и толщиной 8 мм. Элементный состав сплава АК12 (4007) представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав алюминиевого сплава АК12 (4007) масс. %(ГОСТ 4784-97).

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Zr	Mg	Zn	Примесей
до 1,5	10 -13	до 0,5	до 0,1	84,3 - 90	до 0,6	до 0,1	до 0,1	до 0,3	всего 2,7

Микротвердость образцов измеряли на автоматическом моторизованном микротвердомере AFFRI-DM8 (AFFRI, Италия) по ГОСТ 9450-76

(с 46). Точность измерения HV - 0,1. Микротвердость образцов определялась алмазным индентором - пирамидой Виккерса, выдержка определения отпечатка составляла 11 с для получения точного размера отпечатка.

Толщина оксидного слоя на поверхности образца определялась наблюдением микрошлифа на оптическом микроскопе МИ-1 с CCD камерой. Измерения шероховатости проводились на профилометре-профилографе Surtronic 25 (TaylorHobson). Для каждого образца проводилось не менее 5 измерений, результаты которых усреднялись.

Процесс анодного оксидирования проводили на источнике питания R-SPS3010 с частотным генератором. Рабочее напряжение 20 В для серной кислоты и 30 В для сульфосалициловой кислоты в потенциостатическом режиме. Оксидирование осуществляли в электролитах следующего состава: электролит 1 - 20 мас.%, серная кислота, остальное вода; электролит 2 - 10 мас.%, сульфосалициловая кислота, остальное вода. Время обработки 30 мин, температура электролита  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Для каждого электролита были выбраны параметры частоты тока, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Выбранные параметры частоты тока для исследования

№ образца	1	2	3	4	5
Частота	250	200	167	143	125
№ образца	6	7	8	9	10
Частота	111	100	91	83	постоянный ток(ПТ)

Исследование толщины оксидных слоев, полученных в электролитах 1 и 2 при любых режимах, показали, что толщина находится в диапазоне от 12 до 15 мкм.

На рисунке 1 показано, что значения микротвердости оксидных пленок, полученных при импульсном оксидировании в серной кислоте при любом значении выбранной частоты тока выше в сравнении с микротвердостью оксидной пленки, полученной в стационарном режиме (220 HV). Максимальное значение достигнуто при частоте 91 Гц со значением микротвердости 590 HV.

В случае использования электролита на основе сульфосалициловой кислоты максимальное значение микротвердости оксидного слоя, сформированного при импульсном оксидировании с частотой 91 Гц достигает значения 380 HV, что незначительно отличается от значения твердости оксидной пленки при стационарном режиме (314 HV).

Оксидирование сплава АК12 в сульфосалициловой кислоте при импульсной подаче тока показала схожее влияние частоты тока на микро-

твердость оксидной пленки. Однако, для полной картины влияния частоты тока на свойства оксидных слоев необходимо повышать энергию импульса за счет повышения пикового значения напряжения. Например, применение высоковольтного электрохимического оксидирования [6] в сульфосалициловой кислоте для сплава АК12 при частоте 150 Гц и максимальным значением напряжения в импульсе 520 В показало значение микротвердости достигает значение 520 НВ.

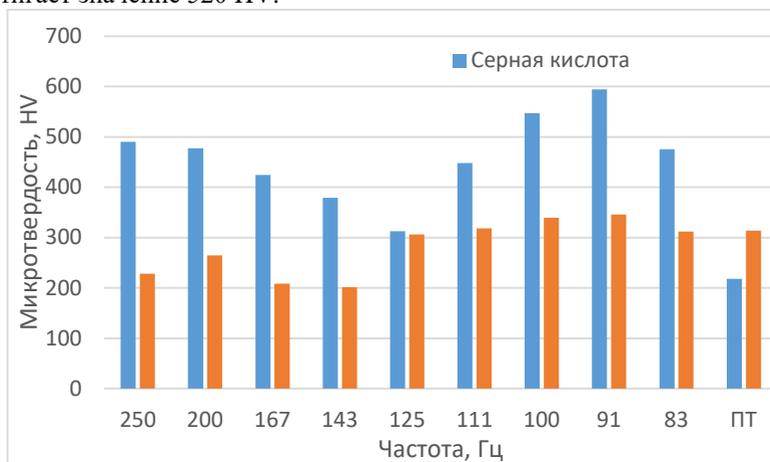


Рисунок 1 –Микротвердость оксидной пленки на сплаве алюминия АК12 полученной при импульсном электролизе

На рисунке 2 приведена шероховатость оксидной пленки силуминов. Видно, что в случае использования в качестве электролита серной кислоты при импульсном оксидировании значения шероховатости значительно не отличаются от данной величины при использовании стационарного режима. В случае использования сульфосалициловой кислоты шероховатость оксидной пленки, полученной при импульсном оксидировании при частоте 143 Гц в 1,7 раза больше чем в случае использования стационарного режима.

Таким образом, применение нестационарного электролиза алюминиевого сплава с содержанием кремния (АК12) положительно сказывается на повышение эксплуатационных свойств. Однако, для поиска наиболее оптимальных параметров необходимо учитывать такие факторы как: температура и состав электролита, амплитуда и частота тока, длительность импульса и длительность бестоковой паузы.

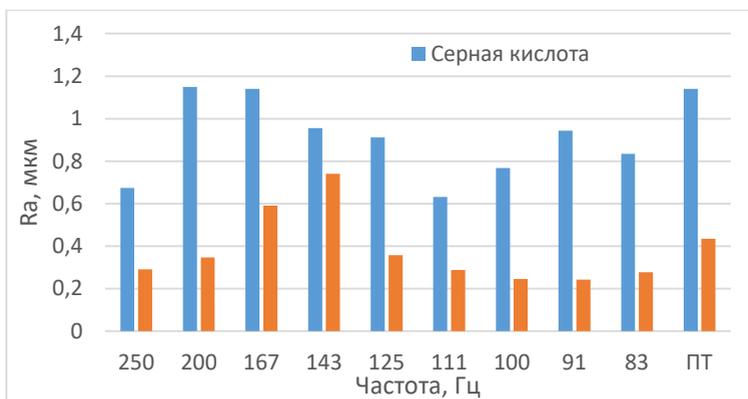


Рисунок 2 – Параметр шероховатости  $Ra$  оксидной пленки сформированной на сплаве алюминия АК12 при импульсном электролизе

### Литература

1. Структурообразование доэвтектических силуминов после воздействия на расплав электрического тока / С. С. Петров, А. Г. Пригунова, С. В. Пригунов // МТОМ. – 2006. – № 4. – С. 43-52.
2. Лукашук, Т. С. Формирование наноструктурированных анодных оксидов алюминия в щавелевой кислоте / Т. С. Лукашук, В. И. Ларин, С. В. Пшеничная // ВісникХарківськогонаціональногоуніверситету. – 2010. – № 932. – Хімія. Вип. 19(42). – С. 112–118.
3. Juhl, A. A New Approach to Pulse Anodizing. Decreasing energy Consumption/ A. Juhl // Increasing Productivity World Congress; 6th, Aluminium two thousand, Italy, – 2007.
4. Chung, C. K. Effect of oxalic acid concentration on the formation of anodic aluminum oxide using pulse anodization at room temperature / C.K. Chung, T.Y. Liu, W.T. Chang //Microsystem Technologies. – 2010. – Vol. 16. – № 8. – P. 1451-1456.
5. Lee, W. A continuous process for structurally well-defined Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanotubes based on pulse anodization of aluminum / W. Lee, R. Scholz, U. Gosele //Nano letters. – 2008. – Vol. 8. – №. 8. – P. 2155-2160.
6. Степанова-Паршута, Е.А. Применение углеродных частиц в качестве добавок в электролит при высоковольтном электрохимическом оксидировании алюминийско-кремниевых сплавов / Е.А. Степанова-Паршута, А.А. Изюмов, А.А. Паршута, И.П. Смягликов // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. научных трудов / редколлегия: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.].-Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2019.- С.304-310.