

## ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АМг2

*Предко А.А., Поболь И.Л.*

Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск

**Введение.** Алюминий и его сплавы обладают высоким комплексом физико-химических (пластичность, электропроводность, теплопроводность, коррозионная стойкость и др.) и технологических свойств (жидкотекучесть, штампуемость, свариваемость и др.). Алюминиевые сплавы нашли широкое применение в авиа- и машиностроении, строительстве, транспорте, электронике, электрохимической промышленности и др.

Пассивность алюминия ко многим средам объясняется наличием на его поверхности тонкого слоя оксида  $Al_2O_3$  толщиной порядка 0,01-0,02 мкм. Но этот слой не всегда способен надёжно защитить металл от коррозии. Для увеличения защитных и декоративных свойств алюминия используется оксидирование. В данной работе использовался метод высоковольтного электрохимического оксидирования (ВВЭО), интенсивно изучаемый в ФТИ НАН Беларуси в последние годы. Показано, что метод ВВЭО обеспечивает высокие физико-механические свойства оксидных пленок и характеризуется низким энергопотреблением [1-2].

**Материалы и методика.** Для формирования покрытия использовались образцы из алюминиевого сплава марки АМг2. Обработка образцов проводилась на лабораторной установке ВВЭО мощностью 2,5 кВт в гальваностатическом импульсном режиме с длительностью импульса тока 3,3 мс [1]. Образцы для проведения исследований вырезали из исходного материала, а также из заготовок после выполнения оксидирования.

Предварительная подготовка образцов перед ВВЭО включала механическую шлифовку и полировку (для обеспечения плоской, блестящей и гладкой поверхности с шероховатостью  $Ra = 0,4$  мкм), обезжиривание; травление, осветление и сушку. Промывка деминерализованной водой осуществлялась после каждого этапа химической подготовки поверхности.

ВВЭО проводили при температурах от 5 до 25 °С в водных растворах  $C_2H_2O_4$  (40 г/л),  $Na_2SiO_3$  (1 г/л) (электролит №1) и  $C_4H_6O_6$  (80 г/л),  $H_2SO_4$  (40 г/л) (электролит № 2) в течение 30 мин с плотностью тока 3 А/дм<sup>2</sup>. Микротвердость материала измеряли с использованием AFFRI-DM8, шероховатость поверхности на профилемере-профилографе Surtronic 25. Коррозионные испытания проводили на потенциостате AUTOLAB методом поляризационных кривых.

**Результаты исследования.** После ВВЭО на поверхности сплавов алюминия формируется слой, состоящий из  $Al_2O_3$  в виде аморфного материала и нанокристаллического промежуточного слоя. Топография оксидированной поверхности в значительной степени зависит от температуры электролита: рельеф поверхности становится более развитым с ее повышением, что может быть обусловлено увеличением скорости селективного травления формирующегося слоя оксида [1-2].

Толщина оксидного слоя, полученного ВВЭО, при температуре электролита в диапазоне 5-15 °С в обоих электролитах была практически постоянна и соста-

вила 23 мкм и 45-48 мкм для электролитов №1 и №2 электролита соответственно. После повышения температуры выше 15 °С толщина оксидного слоя уменьшается, что связано с увеличением химической активности ионов электролита (рисунок 1).

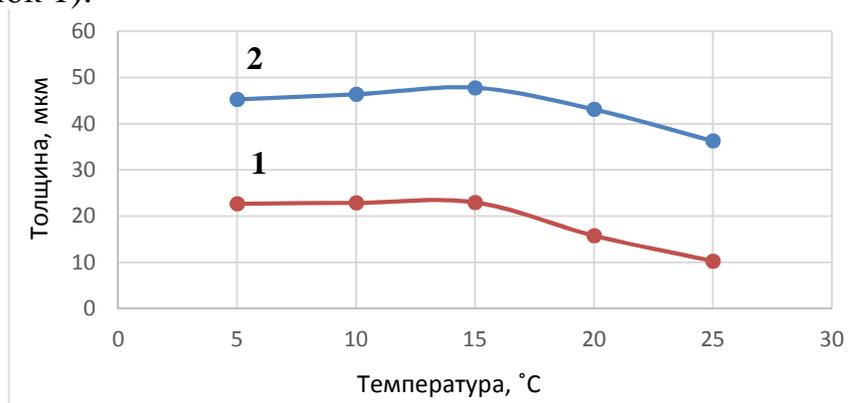


Рисунок 1 – Зависимость толщины оксидных покрытий на образцах из сплава АМг2 от температуры электролитов 1 и 2

После оксидирования в электролите №1 при температуре 5-15 °С микротвёрдость материала оксидного слоя находится в диапазоне HV440-450, а в электролите №2 - в пределах HV470-490 (в исходном состоянии для АМг2 - 77 HV). При температурах оксидирования 20 °С и выше в обоих электролитах наблюдается снижение микротвёрдости материала оксидных слоев до HV 405 и HV 410 соответственно. Это объясняется формированием структуры покрытия с высокой плотностью пор большого диаметра. Следовательно, для получения высокой микротвёрдости оксидов на сплаве АМг2 в использованных электролитах интервал температур оксидирования - 5-15 °С.

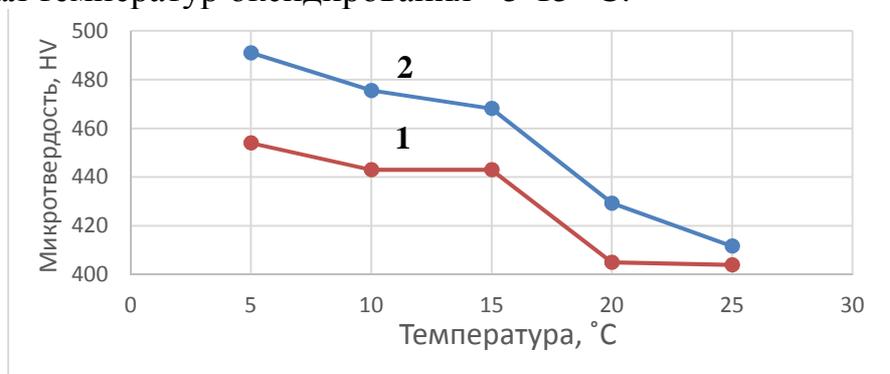


Рисунок 2 – Зависимость микротвёрдости оксидных слоев, полученных на сплаве АМг2, от температуры электролитов 1 и 2

После ВВЭО в электролите №1 шероховатость поверхностного слоя снижается благодаря метасиликату натрия, который выступает в роли выравнивающей добавки и формирует оксидный слой с параметром шероховатости в пределах Ra=0,32-0,41 мкм при всех значениях температуры (рисунок 3). В электролите №2 наблюдается рост шероховатости поверхности на 1,5-2 мкм. Такой характер изменения морфологии поверхности связан с повышением интенсивности образования пор и роста их диаметра при росте температуры электролита, а также с особенностями применения кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, которая при электролизе частично растворяла оксидный слой.

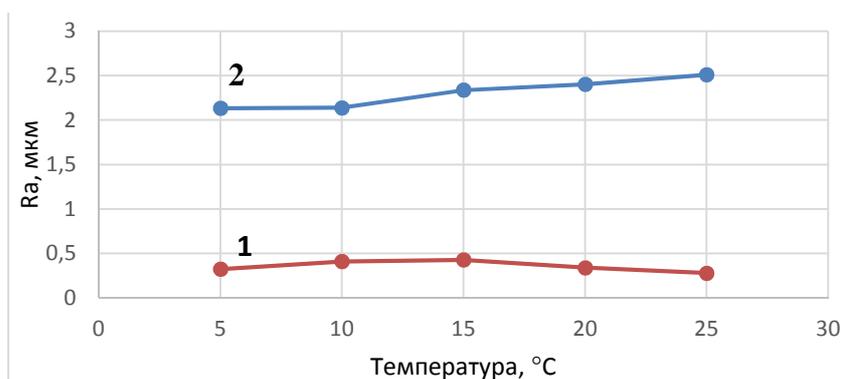


Рисунок 3– Зависимость шероховатости поверхности оксидных слоев, полученных на сплаве АМг2, от температуры электролитов 1 и 2

Для коррозионных испытаний в качестве среды использовался 3 %-ный водный раствор NaCl комнатной температуры. Коррозионная стойкость естественного оксидного слоя исходного сплава АМг2 составляет 0,02 мм/год. Исследования показали, что с повышением температуры процесса оксидирования коррозионная стойкость оксидного слоя уменьшается, что объясняется ростом диаметра нанопор. Чем крупнее нанопора, тем проще доступ коррозионной среды к её основанию. Образцы, полученные в электролите №2, менее склонны к коррозии при повышенных температурах оксидирования, чем образцы, полученные в электролите №1.

Однако, при температуре оксидирования 5 °С у образцов, оксидированных в электролите №2, коррозионная стойкость выше. Скорость коррозионных процессов в электролите №2 составила от  $5,4 \cdot 10^{-3}$  до  $3,5 \cdot 10^{-6}$  мм/год. Это хорошие показатели относительно коррозионной стойкости чистого сплава АМг2. В электролите №1 образцы, полученные при температуре процесса 5 °С, показали самую высокую коррозионную стойкость –  $7,16 \cdot 10^{-7}$  мм/год. Однако, скорость коррозии зависит от морфологии покрытия, которая становится более развитой с повышением температуры оксидирования, и при температуре ВВЭО 25 °С ее значение достигает 0,19 мм/год.

**Выводы.** В процессе ВВЭО с ростом температуры электролита (особенно при 15 °С и выше) снижается микротвердость, толщина, коррозионная стойкость оксидного слоя и повышается шероховатость поверхности.

С ростом температуры увеличивается скорость растворения оксида, уменьшается толщина слоя и увеличивается его пористость, которая напрямую влияет на коррозионную стойкость. Поэтому выращивание толстых пленок в данных электролитах рекомендуется проводить при температуре до 15°С.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Паршуту, А.А. Технология получения многофункциональных оксидных покрытий на деталях из алюминиевых сплавов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.02.07 / А. А. Паршуту – Минск, 2016 – 163 л.

2. Nmadu, D. Технология формирования защитно-декоративных керамических покрытий на сплавах алюминия высоковольтным электрохимическим оксидированием: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.02.07 / D. Nmadu. – Минск, 2018. – 152 л.

3. Поболь, И.Л. Высоковольтное электрохимическое оксидирование сплавов АД1 И АМг2 / И. Л. Поболь, Д. Нмаду // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 17-й Международной научно-технической конференции, Одесса, 29 мая – 02 июня 2017 г. – Киев, 2017. – С. 145 –147.