

Глубина азотированного слоя для сталей 38Х2МЮА и 38ХС для различных режимов обработки составляла 0,2-0,5 мм. ИПА значительно повышает твердость поверхности обрабатываемых материалов. Для сталей 38Х2МЮА и 38ХС твердость повысилась с 69 до 89 HRN и с 70 до 81 HR15N соответственно.

Результаты МРСА (рисунок 2) показали неоднородное распределение химических элементов по глубине азотированного слоя. По мере удаления от поверхности образца содержание азота и алюминия (для стали 38Х2МЮА) уменьшается. Данные результаты подтверждаются энергодисперсионным анализом, при котором наблюдаются различия в химическом составе у поверхности стали в азотированном слое и в неупрочненной зоне.

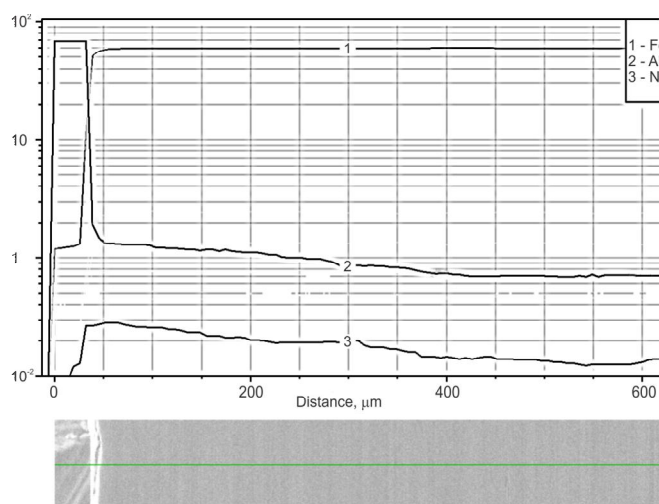


Рисунок 2 – Распределение Fe, Al и N в стали 38Х2МЮА, подвергнутой ИПА, на различном расстоянии от поверхности

УДК 621.317.846

### Получение оксидных пленок алюминия методом высоковольтного электрохимического оксидирования

Магистрант – Паршутто А.А.  
Научный руководитель – Соколов Ю.В.  
Белорусский национальный технический университет  
Багаев С.И., \*Паршутто А.Э., Сергеенко С.Е.  
НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси  
\*РИУП «НТП БНТУ «Политехник»  
г. Минск

Анодирование алюминия и его сплавов представляет собой хорошо освоенный процесс, который широко применяется в различных отраслях машиностроения, микроэлектронике, строительстве и т. д. Несмотря на то, что исследования процесса получения оксидных пленок алюминия проводятся более 50 лет, не угасает интерес к изучению вопросов, связанных с особенностями роста и химического состава оксида алюминия и строения пор. Это связано с тем, что свойства формируемого оксида алюминия зависят от многих параметров, таких как марка сплава алюминия, состав электролита и технологические режимы: температура, рабочая плотность тока, интенсивность перемешивания, способ предварительной подготовки образцов.

В работе использовались плоские прямоугольные пластины из алюминиевого сплава 5052 общей площадью 1 дм<sup>2</sup>. Для проведения высоковольтного

электрохимического оксидирования (ВВЭО) применялся водный раствор щавелевой кислоты с концентрацией 40 г/л. Использовались химические реактивы с маркой «ХЧ». Температура электролита выдерживалась в диапазоне от 5 до 15<sup>0</sup>С. Обработка проводилась в гальваностатическом импульсном анодном режиме при плотности тока от 1 до 5 А/дм<sup>2</sup>, при этом рабочее напряжение в импульсе на электродах достигало 500 В. Время проведения ВВЭО составляло 40 мин. Обработка образцов проводилась на лабораторной установке ВВЭО мощностью 2,5 кВт.

В процессе ВВЭО алюминиевого сплава рабочее напряжение постепенно увеличивается (рисунок 1).

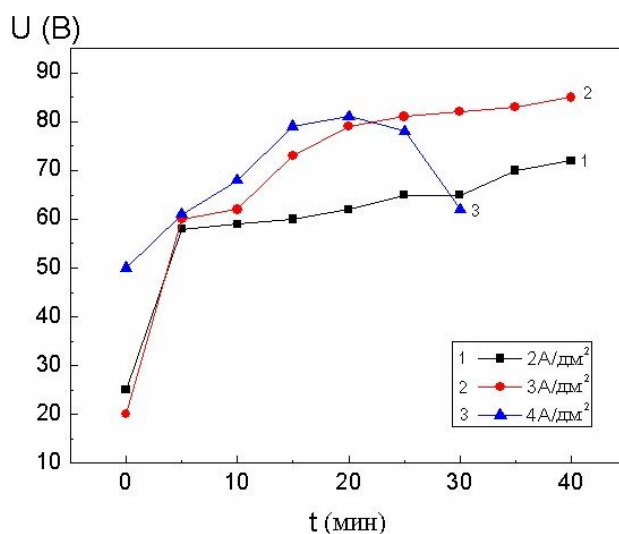


Рисунок 1 - Зависимость рабочего напряжения от времени при проведении ВВЭО алюминиевого сплава 5052

Чем больше применяемая плотность тока, тем быстрее повышается рабочее напряжение. При плотности тока 2 А/дм<sup>2</sup> напряжение возрастает до 70 В, а при 3 А/дм<sup>2</sup> — до 80 В. Необходимо отметить, что на графике приведены средние значения рабочего напряжения, тогда как реальные значения напряжения в импульсе достигают 220-270 В при ВВЭО в течение 40 мин. При больших плотностях тока возможен пробой слоя оксида алюминия в результате его локального разогрева. Такая ситуация достигается при плотности тока 4 А/дм<sup>2</sup>, снижение рабочего напряжения наблюдается через 20 мин (рис.1, кривая 3). Поэтому для получения качественных покрытий оксида алюминия плотность тока при обработке ВВЭО должна быть ниже 4 А/дм<sup>2</sup>.

В результате проведения ВВЭО поверхности алюминиевых образцов получены оксидные слои толщиной до 60 мкм. Образцы в зависимости от температуры формирования имели равномерно окрашенную цветовую гамму от темно-серого до желтого.

Шероховатость оксидированных образцов зависит от исходного состояния поверхности, предварительной обработки и плотности рабочего тока. В процессе ВВЭО происходит увеличение шероховатости поверхности до R<sub>a</sub> 0,67 мкм при исходной шероховатости 0,44 мкм. Полученный оксид алюминия термостабилен и имеет рентгеноаморфную структуру. Твердость оксидного материала составляет 5 - 6,5 ГПа. Коэффициент трения — 1,0-1,1 относительно рубина. Максимум износостойкости 5·10<sup>-8</sup> мм<sup>3</sup>/Н·м был достигнут при плотности тока 3 А/дм<sup>2</sup>. Значение пробивного напряжения для всех полученных образцов было не менее 500 В. Теплопроводность оксида алюминия, измеренная методом импульсных динамических решеток, достигала 3,4 Вт/м·К.

Наиболее плотные пленки оксида алюминия получены при температуре ниже 10°C. На рисунке 2а представлена морфология поверхности образца традиционного анодирования, которое характеризуется глобулярной структурой и наличием большого количества пор. Образец 2б, полученный методом микродугового оксидирования, имеет рыхлую, хорошо развитую поверхность, с порами большого диаметра (до нескольких мкм). На поверхности образца, изготовленного в процессе ВВЭО (рис. 2в), также наблюдается глобулярная структура. Однако, в отличие от традиционного анодирования, она имеет более плотную структуру с низкой шероховатостью и меньшим количеством пор.

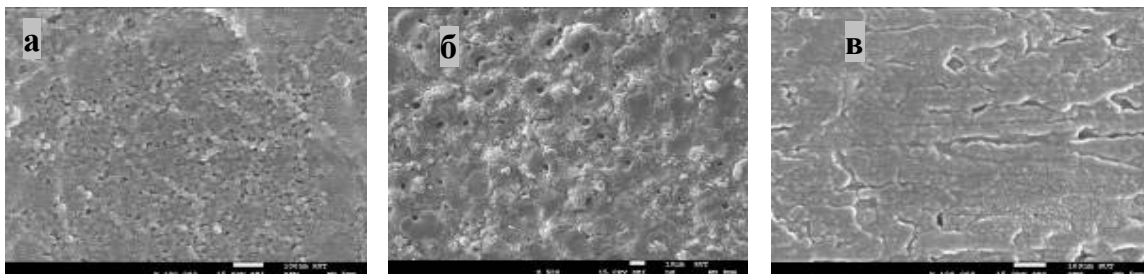


Рисунок 2 - Морфология поверхности образцов: а) традиционное анодирование, б) микродуговое оксидирование, в) высоковольтное электрохимическое оксидирование

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что технология ВВЭО позволяет формировать на поверхности сплавов алюминия слои, обладающие высокой твердостью и износостойкостью с низкой шероховатостью.

Анодированные алюминиевые подложки с теплоотводящими слоем могут быть использованы при изготовлении печатных плат, используемых как основа для размещения LED элементов для осветительной аппаратуры при конструировании гибридных микросборок на крупногабаритных подложках, объединяющих бескорпусные кристаллы, тонкопленочные гибридные интегральные схемы с многоуровневыми системами межсоединений.

УДК621.791.722

### **Получение неразъемного соединения при изготовлении ротора турбокомпрессора для ОАО «Борисовский завод агрегатов»**

Студент гр. 304815 Поболь А.И.  
Научный руководитель – Горанский Г.Г.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Среди ведущих мировых производителей и разработчиков дизельных двигателей сформировалась концепция, что система турбонаддува рассматривается как средство форсирования двигателей и подавляющее большинство современных моделей дизелей проектируются и разрабатываются с наддувом. При этом система турбонаддува является неотъемлемым компонентом современного экологически чистого двигателя.

Смысл наддува двигателя внутреннего сгорания – принудительная подача сжатого воздуха в цилиндры двигателя за счет использования энергии выхлопных газов. Тем самым обеспечивается полнота сгорания увеличенной дозы топлива, что позволяет при прежнем рабочем объеме и тех же оборотах двигателя получать большую мощность.