

В.Р. Мукаева, М.В. Горбатков, Р.Г. Фаррахов, Е.В. Парфенов  
(г.Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет)

## **ДИАГНОСТИКА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ В ХОДЕ ПЭО МАГНИЕВОГО СПЛАВА AZ31**

### **DIAGNOSTICS OF COATING THICKNESS DURING PEO OF MAGNESIUM ALLOY AZ31**

*Рассмотрен вопрос разработки способа определения толщины покрытия в ходе ПЭО магниевого сплава AZ31 по электрическим параметрам с преимуществами точной диагностики на начальном этапе технологического процесса.*

*The issue of coating thickness control during plasma electrolytic oxidation by electrical parameters with the advantages of accurate diagnostics at the initial stage of the technological process is considered.*

*Ключевые слова: оксидирование, магний, косвенное измерение толщины.*

*Keywords: oxidation, magnesium, indirect thickness measurement.*

Магний и его сплавы имеют применение в различных отраслях промышленности, например, в аэрокосмической и автомобильной. Также биосовместимые магниевые сплавы вызывают интерес для изготовления биорезорбируемых имплантатов [1]. Но существуют необходимость улучшения коррозионных свойств поверхности магниевых сплавов за счет формирования на поверхности оксидного покрытия. Для этого могут применяться различные методы химической и электрохимической обработки. В данной работе был исследован перспективный, экологичный и производительный процесс плазменного электролитического оксидирования (ПЭО). Однако, ПЭО сложный и нелинейный процесс, поэтому для повышения точности и воспроизводимости результатов обработки требуются системы автоматизированного управления с идентификацией свойств покрытия в ходе обработки. Исследование посвящено изучению процесса модификации поверхности на начальном этапе технологического процесса, который является ответственным для формирования физико-химических свойств покрытия.

ПЭО образцов сплава AZ31 проводилось на автоматизированной технологической установке с одновременной регистрацией значений тока и напряжения в водном силикатно-щелочном электролите в импульсном униполярном режиме. Частота импульсов составляла 3000-3500 Гц. После запуска установки в течение 45 с производился выход на рабочий режим обработки: амплитуда импульсов напряжения повышалась линейно от 0 до напряжения 460 В, далее амплитуда поддерживалась на постоянном уровне. Исследовались длительности обработки 20 с, 30 с, 40 с, 1 мин, 5 мин и 10 мин.

После обработки измерялась толщина покрытия вихретоковым толщиномером Defelsko Positector 6000.

Был проведен анализ электрических параметров, который показал, что среднее значение напряжения  $U_{cp}$ , зарегистрированное в ходе ПЭО отличается от расчетных средних значений идеальных прямоугольных импульсов той же амплитуды  $U_{имп}$ . Скорость роста  $U_{cp}$  выше при выходе на рабочий режим, и при установке рабочего напряжения  $U_{cp}$  продолжает увеличиваться достигая постоянного значения приблизительно после 6 минут обработки. Это связано с тем, что уже при выходе на рабочий режим оксидное покрытие проходит стадии роста при выделении кислорода, возникновении искровых и микродуговых разрядов в соответствии с ВАХ. Покрытие обладает электрическим сопротивлением и емкостью и вызывает переходные процессы в сигнале напряжения, искажая форму идеальных импульсов, поэтому  $U_{cp} > U_{имп}$  и чем толще покрытие, тем больше величина  $U_{cp}$ . Данные величины могут быть связаны функциональной зависимостью. Для корректного косвенного измерения толщины покрытия  $h$  при росте напряжения предлагается использовать разность  $(U_{cp} - U_{имп})$  по формуле:

$$h = k(U_{cp} - U_{имп}),$$

где  $k = 0,64$  мкм/В – градуировочный коэффициент, рассчитанный по измеренным датчиком значениям толщины покрытия.

Данная закономерность справедлива и после достижения рабочего напряжения. Допущением формулы является то, что удельное сопротивление покрытия принято постоянной во всем объеме покрытия. Коэффициент детерминации модели  $R^2 = 0,94$ . На начальном этапе обработки точность разработанного способа выше, чем у способа, описанного в статье [2]

Таким образом, получено, что в рассматриваемых условиях обработки прирост покрытия на 50-60% от возможной достигаемой толщины происходит на начальном этапе при 45 с при плавном повышении напряжения до рабочих 460 В. Получена зависимость, позволяющая контролировать толщину покрытия в ходе ПЭО магниевого сплава AZ31 при изменяющейся амплитуде импульсов напряжения.

*Исследование ПЭО магниевых сплавов осуществляется в рамках работы по программе Стипендии Президента РФ СП-1962.2019.4.*

#### Список литературы

1. Zheng, Y.F. Biodegradable metals / Y.F. Zheng, X.N. Gu, F. Witte // Mater Sci Eng R Rep. - 2014. - № 77 P. 1-34.
2. Mukaeva, V.R. Diagnostics of the thickness of a plasma electrolytic oxidation coating on a nanostructured Mg-Sr alloy / V.R. Mukaeva, O.B. Kulyasova, R.G. Farrakhov, E.V. Parfenov, Y.F. Zheng // IOP Conf Ser: Mater Sci and Engineering. - 2018. - Vol. 292 (1). - № 134405.

*Материал поступил в редколлегию 09.10.20.*