

## Формирование черных МДО покрытий на внутренних поверхностях длинномерных трубчатых изделий

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Будницкий А.С., Янович В.А.  
Белорусский национальный технический университет,

Светопоглощающие покрытия применяются в электронно-оптических системах, в приборостроении для снижения рассеянного светового фона, а также при изготовлении приемников излучения, преобразователей солнечной энергии, устройств оптической обработки информации, которые изготавливаются, как правило, из алюминиевых и титановых сплавов. Такие покрытия обеспечивают ослабление фонового излучения.

Существующие в настоящее время методы получения светопоглощающих покрытий включают химические методы, анодное оксидирование с последующим окрашиванием в анилиновых красителях, электрохимическое осаждение, вакуумно-плазменную обработку, микродуговое оксидирование (МДО). Применяемые методы МДО, обеспечивают высокие прочностные и эксплуатационные характеристики светопоглощающих покрытий: высокую износостойкость, твердость, термостойкость, коррозионную стойкость, хорошую адгезию к основе. Однако основной проблемой является создание на основе метода МДО таких покрытий на внутренних поверхностях длинномерных изделий и изделий сложной формы [1].

В работе разработаны и исследованы режимы МДО, обеспечивающие получение черных покрытий на образцах из алюминиевого сплава АМг2. Для исследования режимов МДО использовался базовый электролит на основе силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 - 1\%$ ) и гидроксида калия ( $\text{KOH} - 0,2\%$ ). Для получения светопоглощающих МДО покрытий в электролит добавлялись компоненты, обеспечивающие в условиях высокотемпературных плазменных процессов на обрабатываемой поверхности окрашивание оксидного слоя в темные цвета – молибдат натрия и ферроцианид калия.

МДО образцов выполнялось в анодно-катодном режиме с бестоковой паузой при амплитуде анодного импульса до 520 В и катодного импульса до 200 В. В зависимости от режимов в результате обработки формировались покрытия с различными структурой и свойствами, которые отличались морфологией, твердостью, прочностью сцепления с подложкой, цветом. Установлено, что наиболее прочное и равномерное черное покрытие формируется при следующих электрических режимах: амплитуда положительного импульса – 300–350 В, соотношение амплитуд положительного и отрицательного импульсов – 3:1, коэффициент заполнения – 25%. Внешний вид покрытий, полученных при различных значениях напряжения, представлен на рис. 1.



Рисунок 1 - Внешний вид покрытий, полученных при различных значениях напряжения

Для решения проблемы получения черных МДО покрытий на внутренних поверхностях разработаны новый метод и оборудование, основным компонентом которого является специальная электродно-гидравлическая система, которая позволяет создавать в зоне обработки необходимые электрические и гидравлические условия для успешного протекания микродугового плазменного процесса [2]. Характеристики оборудования позволяют формировать светопоглощающие покрытия на поверхности образцов с возможностью управления их структурой и свойствами за счет изменения характеристик процесса МДО. Погружение электрода-

инструмента в зону обработки осуществляется с помощью модуля перемещения, который приводится шаговым двигателем через винтовую передачу (рис. 2). Диапазон регулирования скорости привода перемещения электрода-инструмента (от 0 до 146 мм/мин) для обработки внутренних поверхностей обеспечивает возможность точного управления временем воздействия на определенный участок обрабатываемой поверхности.



Рисунок 2 - Оснастка для получения МДО покрытий на внутренних поверхностях трубчатых изделий

На выходе из электрода-инструмента происходит формирование струи электролита кольцевой формы. Кольцевое истечение электролита обеспечивается в широком диапазоне значений расхода электролита. Установлено, что при расходе электролита 1,2 л/мин (рис. 3) струя имеет низкую скорость, что может обеспечить достаточные электрические и гидравлические условия в процессе МДО внутренних поверхностей при зазоре между электродом-инструментом и обрабатываемой поверхностью до 1 мм. Наиболее равномерное и интенсивное распределение прокачиваемого электролита по всему периметру кольцевого зазора обеспечивается при расходе 2,4–3,0 л/мин (рис. 3).



Рисунок 3 - Вид струи электролита, формируемой на выходе из электрода-инструмента

### Литература

1. Formation of Black Ceramic Layer on Aluminum Alloy by Plasma Electrolytic Oxidation in Electrolyte Containing  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  / I. J. Hwang, [et al.]. – Mater. Trans., 2012, Vol. 53, No. 3. – P. 559–564.
2. Электролитно-плазменная обработка внутренних поверхностей трубчатых изделий / Ю. Г. Алексеев [и др.] // Наука и техника. – 2016. – №1. – С. 61 – 68.