

В.Р. Мукаева, А.Е. Шарипов, О.В. Мельничук, Е.В. Парфенов  
(г.Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет)

## ДИАГНОСТИКА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ В ХОДЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ТИТАНА

### DIAGNOSTICS OF THE COATING THICKNESS DURING THE ELECTROLYTIC-PLASMA OXIDATION OF TITANIUM

*Рассмотрены вопросы разработки математической модели изменения толщины покрытия в ходе плазменно-электролитического оксидирования, статистической оценки повторяемости экспериментов, сравнению толщины покрытия, полученной на поверхности титана с крупнозернистой и нано-структурированной.*

*The issues of developing a mathematical model for changing the thickness of the coating during plasma electrolytic oxidation, statistical evaluation of the repeatability of experiments, comparing the thickness of the coating obtained on the surface of titanium with a coarse- and nano-grained structure.*

*Ключевые слова: оксидирование, диагностика, моделирование, наноструктурирование титана.*

*Keywords: oxidation, diagnostics, modeling, nanostructuring of titanium.*

Для повышения надежности нефтяных насосов и увеличение их срока службы актуальной задачей является защита алюминиевых и титановых деталей оксидными покрытиями. В данном направлении большими перспективами обладает экологичная и производительная технология плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО). ПЭО покрытие позволяет повысить износо- и коррозионную стойкость деталей [1,2]. Однако возникающие в ходе ПЭО вблизи обрабатываемой поверхности электроразрядные явления, наряду с повышением эффективности обработки, существенно усложняют механизм процесса, поэтому актуальна задача построения математических моделей для планирования и диагностики свойств покрытия. В работе построена модель изменения толщины покрытия во времени, проведена статистическая оценка повторяемости экспериментов; выполнено сравнение толщин покрытия, на поверхности титана с различным размером зерна.

Экспериментальные исследования были проведены с использованием автоматизированной установки для изучения процессов ПЭО в импульсном режиме с амплитудой положительных и отрицательных импульсов 470 В и -40 В соответственно. В качестве электролита использовался водный фосфатный электролит, частота импульсов 200-500 Гц. Для построения модели динамики толщин покрытия эксперименты проводились различной

длительности  $t = 40$  с; 1 мин; 1,5 мин; 2 мин; 3 мин; 4 мин; и 5 мин на образцах крупнозернистого титана. Для статистической оценки повторяемости экспериментов проведено по 25 эксперимента по 5 минут на образцах крупнозернистого и наноструктурированного титана.

После обработки измерялась толщина покрытия  $h$  вихретоковым толщиномером Defelsko Positector 6000. Экспериментальные данные были аппроксимированы в среде MatLab следующим уравнением:

$$h(t) = h_{\max}(1 - e^{(-t/\tau)}),$$

где  $h_{\max} = 20,22 \pm 1$  мкм – коэффициент, характеризующий максимальную толщину покрытия в данных условиях обработки;

$\tau = 1,257 \pm 0,18$  мин – постоянная времени. Коэффициент детерминации модели  $R^2 = 0,98$ .

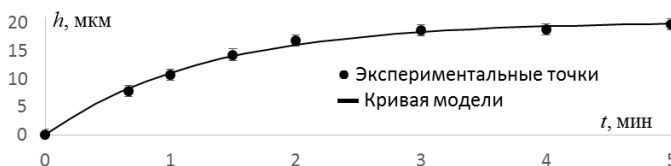


Рис. 1. Экспериментальные точки и кривая модели толщины ПЭО покрытия на Ti

Сравнение толщины покрытия, полученной на поверхности титана с крупнозернистой и наноструктурой за 5 минут обработки показало, что с измельчением зерна можно достичь большей толщины покрытия. Среднее значение толщины покрытия составило  $18,9 \pm 1,1$  мкм для образцов из крупнозернистого титана и  $21,6 \pm 1,3$  мкм для образцов из наноструктурированного титана.

Таким образом получена математическая модель, позволяющая прогнозировать толщину покрытия при различных длительностях обработки, которая может быть в составе АСУ ТП процессом ПЭО. Показано, что процесс ПЭО обладает хорошей воспроизводимостью. Получено, что наноструктурирование влияет на протекание процесса ПЭО, что отражается в большей толщине получаемого покрытия.

*Исследование осуществлялось в рамках работы по программе гранта РФФИ № 20-08-01172 А.*

### Список литературы

1. Парфенов, Е.В. Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление: монография/ Е. В. Парфенов, Р. Р. Невьянцева, С. А. Горбатков, А. Л. Ерохин. - Москва: Машиностроение, 2014. – 380 с.
2. Суминов, И.В. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. В 2-х томах. / И.В. Суминов, П.Н. Белкин, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, Б.Л. Криг, А.М. Борисов. – М.: Техносфера, 2011. – Т.2. – 512 с.

*Материал поступил в редколлегию 09.10.20.*