

Проведенные исследования являются важным этапом в создании коммерческой модели энергоустановки на основе твердооксидных топливных элементов. Работа выполнена в рамках Постановления Правительства РФ № 218 по договору № 02.G25.31.0198 «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных источников тока широкого назначения на базе отечественных высокоэффективных твердооксидных топливных элементов». При проведении исследований использовалось оборудование Центра коллективного пользования "Состав вещества" ИВТЭ УрО РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fergus J. W. Sealants for solid oxide fuel cells // *Journal of Power Sources*. 2005. V. 147. P. 46–57.
2. Lessing P.A. A review of sealing technologies applicable to solid oxide electrolysis cells // *J. Mater. Sci.* 2007. V. 42(10). P. 3465–3476.
3. Mahapatra M.K., Lu K. Glass-based seals for solid oxide fuel and electrolyzer cells-a review // *Materials Science and Engineering R*. 2010. V. 67. P. 65–85.
4. Basu R.N., Blass G., Buchkremer H.P., Stover D., Tietz F., Wessel E., Vinke I.C. Simplified processing of anode-supported thin film planar solid oxide fuel cells // *J. Eur. Ceram. Soc.* 2005. V. 25. P. 463–471.
5. Basu R.N., Das Sharma A., Dutta A., Mukhopadhyay J. Processing of high performance anode supported planar solid oxide fuel cells // *Int. J. Hydrogen Energy*. 2008. V. 33. P. 5748–5754.

УДК 661

#### **РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ**

П.С. Гордиенко, проф., д-р техн. наук (ИХ ДВО РАН, Владивосток);  
В.А. Достовалов, проф., д-р техн. наук;  
В.К. Усольцев, доц., канд. техн. наук  
(ДВФУ, Владивосток)

Решение проблемы получения высокоэффективных защитных покрытий на сплавах алюминия, титана, которые эксплуатируются в коррозионно-активной морской среде, весьма актуально в настоящее время. Разработка специализированного, программируемого источника питания с компьютерным управлением параметрами процесса МДО, регистрацией и обработкой получаемых результатов является важнейшей задачей при решении вопросов получения покрытия с за-

данными свойствами. На основании теоретических и экспериментальных исследований авторами была разработана установка микродугового оксидирования (МДО) включающая в себя в первую очередь источник питания микродугового оксидирования (ИПМДО) и системы управления, регистрации и контроля на базе персонального компьютера. Разработанный источник питания предназначен для питания постоянными и импульсным напряжением гальванической ванны, формирования заданных законов изменения значений тока и напряжения, а также измерения и регистрации мгновенных значений тока и напряжения. ИПМДО состоит из тиристорного источника питания (ТИН) и управляющего комплекса (УК), выполненного на базе персонального компьютера, укомплектованного платой аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования (АЦП/ЦАП) типа L-761. ИПМДО обеспечивает ручное задание значений напряжения и тока потенциометрами, расположенными на лицевой панели, а также их автоматическое задание управляющим комплексом. ТИН конструктивно сделан в виде законченного изделия, связанного с управляющим комплексом через внешние разъёмы. Общий вид разработанной и изготовленной установки представлен на рисунке 4.1

В проведенных экспериментах задающими и регистрируемыми в системе параметрами формирования покрытия являлись: общее время формирования  $\tau_f$  (420 с); время выхода поляризующего напряжения на значение (в экспериментах - 30 с); количество электричества в А·с затраченного в анодный ( $I_A \cdot t$ ) и катодный ( $I_K \cdot t$ ) периоды, энергетические затраты в Вт·с в анодный ( $P_A \cdot t$ ) и катодный ( $P_K \cdot t$ ) периоды формирования оксидного слоя; среднее значение напряжения  $U_{ср}$  формирования покрытия подаваемого от тиристорного источника на электрохимическую ванну; напряжение на обрабатываемом образце  $U_{пл}$ ; длительность импульсов напряжения в данных экспериментах 1-7мс, скважность ( $q$ ) поляризующих импульсов.



**Рисунок 1 - Общий вид установки для МДО**

Все приведенные экспериментальные данные получены для образцов титана марки ВТ1-0 размером 6x30x0,5 мм в фосфатном электролите  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (10 г/л), в котором были ранее получены покрытия [1]. Один временной цикл формирования покрытия составлял 120 с. Скорость нарастания потенциала от тиристорного источника напряжения составляла от 1,5 до 10 В/с. В таблице 1 представлены экспериментальные параметры процесса МДО при формировании покрытия импульсным напряжением различной скважности (общая длительность формирования покрытий 420 с;  $U_{\text{ср}} = 70$  и 100 В).

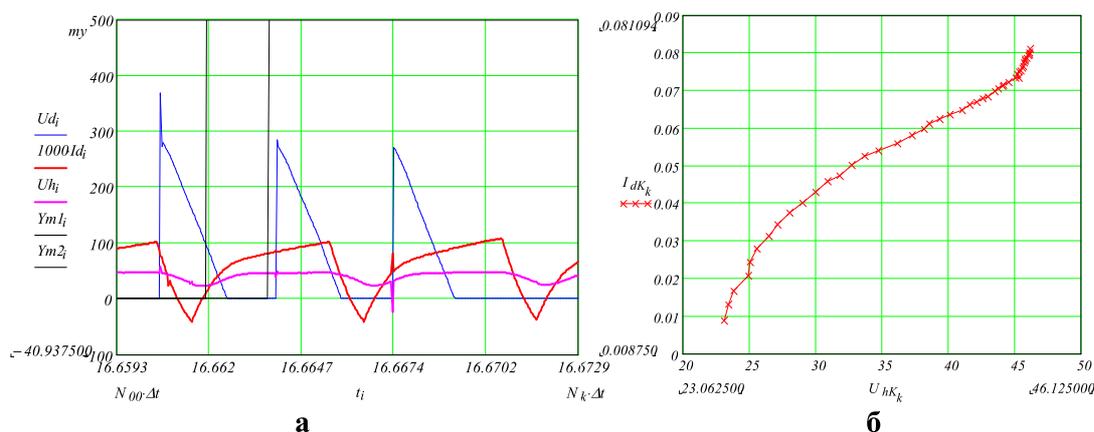
**Таблица 1 – Параметры процесса МДО ( $T_{\text{им}}=5$  мс,  $U_{\text{ср}}=70$  и 100 В)**

№ опыта	q	$U_{\text{ср}}$ , В	U <sub>пл</sub> , В	$I_A \cdot t$ , А·с	$I_K \cdot t$ , А·с	$P_A \cdot t$ , Вт·с	$P_K \cdot t$ , Вт·с
420 - 41	0,2	70	24,31	15,76	6,41	267,94	49,7
420 - 42	0,4		109,43	19,67	14,13	1056,85	188,00
420 - 43	0,6		111,56	19,01	12,81	1107,29	207,48
420 - 44	0,8		100,81	12,28	6,67	692,26	198,55
420 - 45	0,2	100	70,18	19,46	13,31	700,29	120,21
420 - 46	0,4		142,25	23,59	14,55	1918,33	221,23
42 - 47	0,6		134	26,44	14,14	2258,64	266,01
420 - 48	0,8		142,12	14,16	7,86	1177,53	270,51

Толщина покрытия на титановом сплаве за 420 с., при различных режимах практически оставалась постоянной и составляла в пределах 5-7 мкм. Такие покрытия используются, как антикоррозионные в судомеханических изделиях для уменьшения токов гальванокоррозии. Полученные зависимости тока от напряжения и данные по количеству электричества в анодный период в момент подачи поляризирующего импульса представлены на рис. 2.

Предложенный метод управления электрохимическими процессами, разработанное оборудование и программы открывает новые возможности: в исследовании механизма роста оксидных слоев при критических параметрах – высоких потенциалах и плотностях тока; по установлению влияния теплового и электрохимического факторов на механизм формирования покрытий; в создании новых энергосберегающих технологических процессов обработки металлов и сплавов в электролитах; в проведении электрохимической обработки специальных сплавов, например, алюминиевых, применяемых в авиационной и спецтехнике, где необходим контроль поверхностной тепловой нагрузки; в формировании оксидных покрытий с управляемой дефектностью и морфологией.

Разработанная компьютерная система позволяет задавать параметры формирования покрытия и получать данные о процессе его



**Рисунок 2 - Зависимость тока, напряжения на пленке ( $U_{пл}$ ) и входного поляризующего импульса от времени (а) и вольтамперная характеристика (ВАХ) оксидной пленки (б)**

**Образец 420-48,  $\tau_{\phi} = 16,65$  с;  $I_a = 0,58$  А·с;  $I_k = 0,02$  А·с;  $P = 17,14$  Вт·с.**

формирования в зависимости от параметров: частоты следования поляризующих импульсов, скважности, скорости подъема потенциала на электроде, а также регистрировать за время действия импульса фронт нарастания тока и напряжения, фиксировать катодные процессы, вести учет количества затраченного электричества в анодный и катодный периоды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гордиенко П.С., Достовалов В.А., Ефименко А.В. Микродуговое оксидирование металлов и сплавов (монография) // Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2013. -522 с.
2. Патент РФ №2333299 от 09 сентября 2008 г. Устройство для микродугового оксидирования металлов и их сплавов / Гордиенко П.С., Достовалов В.А., Герасимов В.А., Усольцев В.К.
3. Патент России № 2283901 МПК<sup>7</sup> С25Д 11/02. Способ электролитического оксидирования вентильных металлов / Гордиенко П.С., Буланова С.Б., Достовалов Д.В., Коркош С.В., Жирнов А.Д. Заявл.11.05.05.
4. Гордиенко П.С., Буланова С.Б., Достовалов Д.В., Жирнов А.Д., Коркош С.В. Формирование покрытий на вентильных металлах и сплавах в электролитах с индуктивным регулированием энергии при микродуговом оксидировании // Защита металлов. 2006. Т. 42. № 5. С. 500-505.
5. Гордиенко П.С., Василенко О.С., Харченко У. В., Усольцев В. К., Влияние скважности на катодные релаксационные процессы и на электрохимические свойства формируемых покрытий на титане // Перспективные материалы. 2013. № 11. С. 59-64.