

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 τ_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 _{пл} , 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

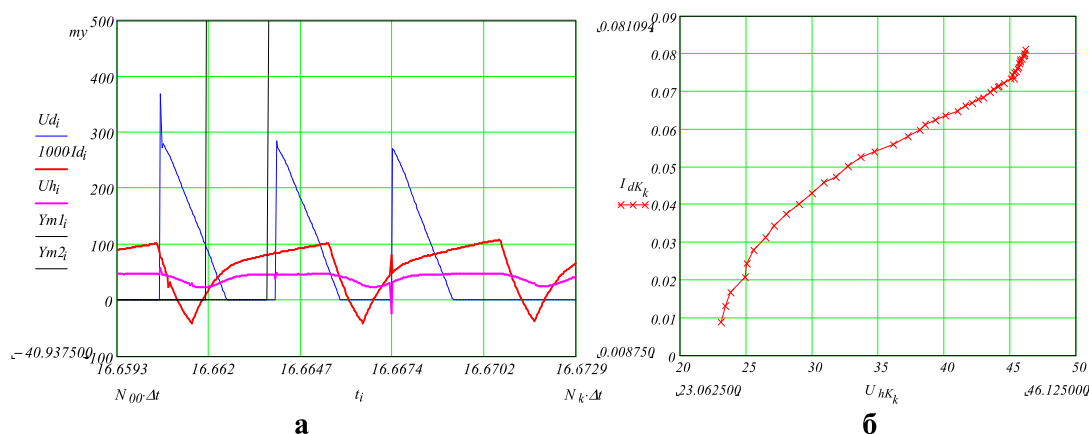


Рисунок 2 - Зависимость тока, напряжения на пленке ($U_{пл}$) и входного поляризующего импульса от времени (а) и вольтамперная характеристика (ВАХ) оксидной пленки (б)

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 МПК⁷ 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.