

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТОНКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

В.Ю. Баринов¹, В.В. Просьянюк², Н.В. Прудников², И.С. Суворов², Т.Г. Акопджанян¹

¹ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, ул. Академика Осипьяна, 8, Черноголовка, Российская Федерация, 142432
E-mail: barinov@ism.ac.ru, tigj@yandex.ru

²ФГБУН «Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук», ул. Профсоюзная, 65, стр. 6, Москва, Российская Федерация, 117342

E-mail: vvp101250@mail.ru, mzairan@mzairan.ru, suvorov_i47@mail.ru

Резервные источники тока в виде батарей высокотемпературных гальванических элементов (ВГЭ), электроды которых выполнены из разнородных малогазовых энергетических конденсированных систем (ЭКС), широко применяются для задействования и питания приборов и устройств различного назначения в экстремальных условиях. Продукты сгорания ВГЭ сохраняют исходные размеры и форму, выполняют функции электродов и электролита. ВГЭ могут быть миниатюрными, адаптированы под конкретные геометрические формы оборудования, их можно устанавливать в любом удобном для потребителя месте. Результаты исследований безгазового горения тонких многослойных ВГЭ с легкоплавким инертным компонентом (электролитом) представляют теоретический и практический интерес для высокотемпературной электрохимии и получения слоевых композиционных материалов различного назначения методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Прямое преобразование химической энергии ЭКС в электрическую энергию в режиме горения является новым направлением высокотемпературной электрохимии.

Ключевые слова: энергетические конденсированные системы, высокотемпературный гальванический элемент, резервный источник тока

FEATURES OF THE FUNCTIONING OF THIN MULTILAYER HIGH-TEMPERATURE GALVANIC CELLS UNDER EXTREME CONDITIONS

V.Yu. Barinov¹, V.V. Prosyanyuk², N.V. Prudnikov², I.S. Suvorov², T.G. Akopdzhanyan¹

¹Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science Russian Academy of Sciences. Academician Osipyan str., 8, Chernogolovka, Moscow Region, Russian Federation, 142432
E-mail: barinov@ism.ac.ru, tigj@yandex.ru

²Federal State Budgetary Institution of Science Interdepartmental Center for Analytical Research in the Field of Physics, Chemistry and Biology under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Profsoyuznaya Street 65, Bild. 6, Moscow, Russian Federation, 117342

E-mail: vvp101250@mail.ru, mzairan@mzairan.ru, suvorov_i47@mail.ru

Reserve current supplies like high-temperature galvanic cell batteries (HGC), which electrodes consist of different low-gas power-condensed compositions (PCC) are widely used for initiation and powering units and different devices in extreme circumstances. The products of combustion of HGC preserve the size and shape of the initial samples, perform the functions of electrodes and electrolyte. HGC can be made miniature, can be adapted to specific geometric shapes of structural elements of onboard equipment. HGC can be made miniature, can be adapted to specific

geometric shapes of structural elements of onboard equipment, can be placed in any convenient for the consumer site.

Researchment results low-gas combustion of multilayer HGC with low-melting inert component have a theoretical and practical interest for high-temperature electrochemistry and a practical interest for self-propagating high-temperature synthesis (SHS) of different-purposed layered composite materials. Direct chemical energy conversion of PCC into electric energy in combustion mode is a new direction of high-temperature electrochemistry.

Key words: power-condensed compositions, high-temperature galvanic cell, reserve current supply

Для цитирования:

Баринов В.Ю., Просьянюк В.В., Прудников Н.В., Суворов И.С., Акопджанян Т.Г. Особенности функционирования тонких многослойных высокотемпературных гальванических элементов в экстремальных условиях. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2024. Т. LXVIII. № 1. С. 30–33. DOI: 10.6060/RCJ.2024681.6.

For citation:

Barinov V.Yu., Prosyanyuk V.V., Prudnikov N.V., Suvorov I.S., Akopdzhanyan T.G. Features of the functioning of thin multilayer high-temperature galvanic cells under extreme conditions. *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. 68. N 1. P. 30–33. DOI: 10.6060/RCJ.2024681.6.

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране проводятся исследования по совершенствованию резервных источников тока нового класса – батарей высокотемпературных гальванических элементов (ВГЭ), предназначенных для задействования и питания приборов и устройств различного назначения в экстремальных условиях (их электроды выполнены из разнородных малогазовых энергетических конденсированных систем (ЭКС) [1].

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ ВГЭ

В качестве рецептурной и структурной основы для формирования вариантов технического облика ВГЭ выбраны пиронагреватели (ПН), предназначенные для приведения в действие термохимических источников тока. Эти изделия толщиной 0,5...1,5 мм воспламеняются и сгорают в безгазовом режиме между металлическими пластинами. Особенности горения ПН изучены достаточно подробно [2, 3].

Процессы воспламенения ВГЭ усложнены тем, что инициирующий импульс воспринимают боковые поверхности ВГЭ и металлических токоотводов, значительная часть тепла, подводимого для зажигания расходуется на плавление электролитного материала. Высокие скорости горения тонких (пластинчатых) образцов в адиабатических условиях и при одностороннем отводе тепла связаны с особенностями передачи тепла из высокотемпературной зоны к подготавливаемым слоям. Открытая поверхность обеспечивает возможность

экзотермического взаимодействия раскалённых продуктов реакции с кислородом и азотом воздуха, нагрев исходной поверхности заряда излучением от пламени, воздействие конвективного двухфазного потока и т.д. [4].

Механизм горения ВГЭ изучен недостаточно. При равной или близкой толщине с ПН и подобными условиями функционирования (между металлическими пластинами-токоотводами) они представляют собой набор из тонких элементов и содержат электролитный материал. Прохождение фронта горения по ВГЭ не означает завершения высокотемпературных окислительно-восстановительных процессов: при генерировании тока происходит восстановление окислителя в катоде и окисление горючего в аноде.

Исследования процессов, протекающих в тонких многослойных композициях с легкоплавким электролитом в экстремальных условиях, актуальны, как для создания батарей ВГЭ (источников тока), так и для получения многослойных композитов различного назначения методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [5–7]. Влияние начальной температуры окружающей среды и толщины ВГЭ на высокотемпературные процессы приведено в таблице.

Как следует из таблицы, при прочих равных условиях с уменьшением толщины ВГЭ скорость горения снижается и растёт влияние начальной температуры. Это обусловлено относительным увеличением доли тепла, отводимого из высокотемпературной зоны в металлические токоотводы.

Зависимость скорости горения ВГЭ от толщины и начальной температуры

Толщина ВГЭ, мм	Скорость горения, мм/с при начальной температуре, °С		Температурный коэффициент, $\beta \cdot 10^3$, 1/град	Среднее квадратическое отклонение
	минус 60	85		
0,65 ± 0,05	32	41	2,51	0,14
0,85 ± 0,10	36	43	1,90	0,13
1,10 ± 0,15	40	46	1,50	0,09

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Создание ВГЭ и их батарей потребовало решения проблем, относящихся к горению ЭКС, высокотемпературной электрохимии и самораспространяющемуся высокотемпературному синтезу (СВС) многослойных композиционных материалов. Основные конструктивные схемы ВГЭ приведены на рис. 1.

ВГЭ по рис. 1а состоит из анодного и катод-

ного электродных элементов, которые контактируют между собой без зазора и содержат электролитный материал, а ВГЭ для длительного генерирования электрического тока (рис. 1б), содержат одно- или многослойный сепаратор, исключая возможность электронного контакта между электродами. Батареи ВГЭ являются резервными источниками тока, не имеющими зарубежных аналогов. Их типовые разрядные кривые приведены на рис. 2.

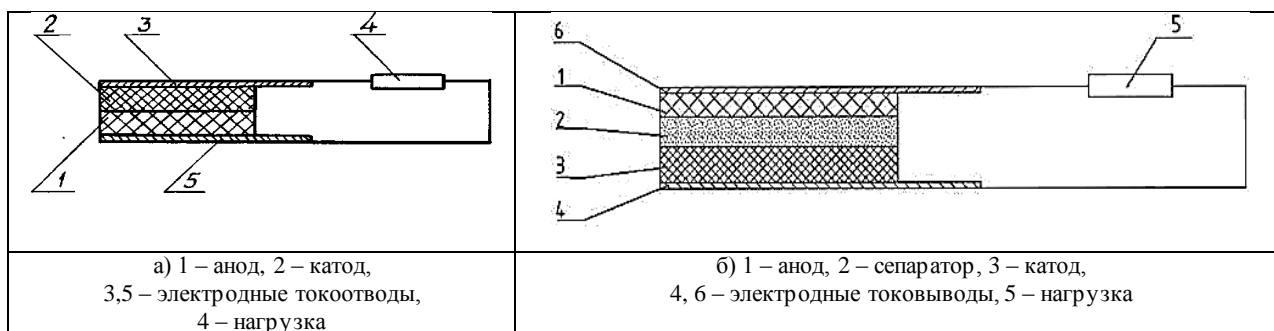


Рис. 1. Конструктивные схемы ВГЭ

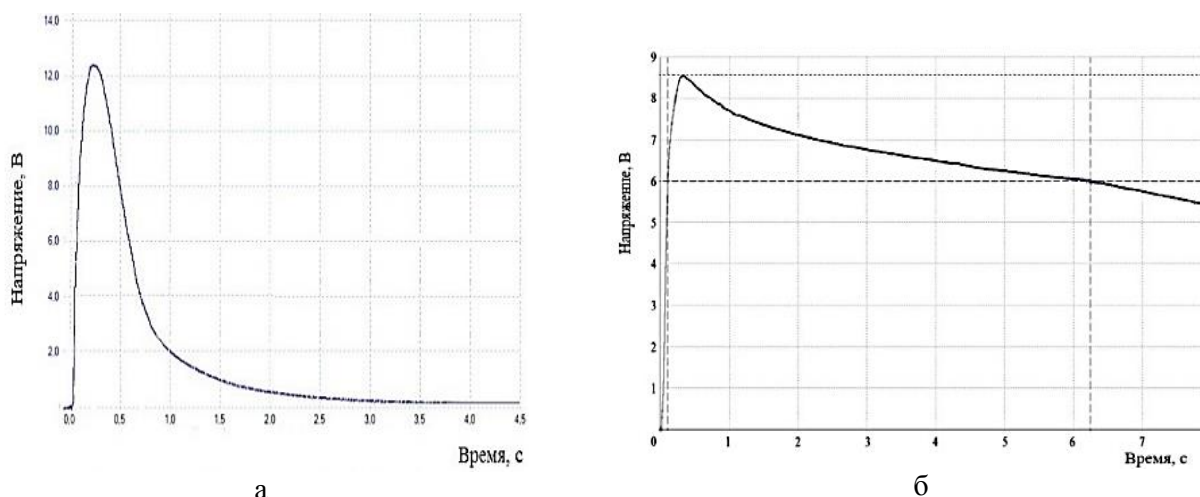


Рис. 2 Типовые разрядные кривые батарей ВГЭ импульсного (а) и длительного (б) действия

Генерирование электрического тока прекращается при размыкании цепи, израсходовании

хотя бы одного из активных электродных реагентов, или кристаллизации электролита [1–3].

Температура окружающей среды от минус 60 до 85 °С, разрежение и избыточное давление не оказывают существенного влияния на генерирование электрического тока, т.к. процессы протекают в конденсированной фазе при температурах от плавления электролита до ~1200 °С, что подтверждено испытаниями при разрежении и избыточном давлении [8, 9]. Разрядные кривые ВГЭ в аргоне и на воздухе приведены на рис. 3.

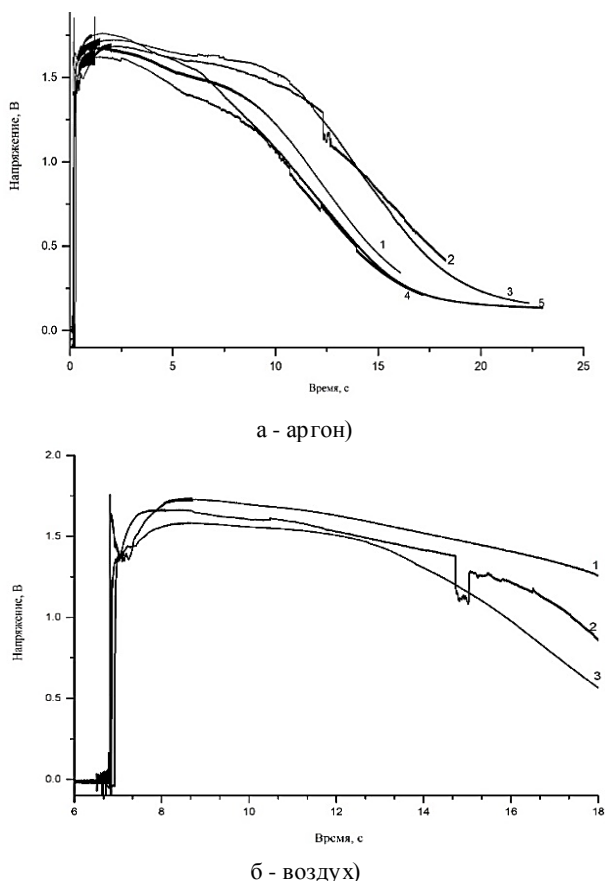


Рис. 3 Типовые разрядные кривые ВГЭ в аргоне и воздухе
а): 1 – 0,1 МПа; 2 – 0,5 МПа; 3 – 1,0 МПа; 4 – 2,0 МПа;
5 – 5,0 МПа б): 1 – 1 МПа; 2 – 5 МПа; 3 – 0,1 МПа

Максимальное значение напряжения разомкнутой цепи ВГЭ в аргоне и воздухе в пределах $1,6 \pm 0,1$ В. При избыточном давлении 0,1 МПа

напряжение достигает:

- 0,5 В ~ за 15 с в аргоне и ~ за 11 с на воздухе;
- 1,0 В ~ за 12 с в аргоне и ~ за 9 с на воздухе;
- 1,25 В ~ за 10,1 с в аргоне и ~ за 7,1 с на воздухе.

При 1 МПа напряжение 1,25 В достигается за 12,5 с в аргоне и за 11 с на воздухе, а при 5 МПа – до 1,25 В ~ за 9 с в аргоне и ~ за 8 с на воздухе.

ВЫВОДЫ

Генерирование электрического тока в режиме горения ВГЭ является новым направлением высокотемпературной электрохимии, представляет теоретический и практический интерес для получения слоистых композиционных материалов различного назначения методом СВС.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Prosyanyuk V.V., Suvorov I.S., Prudnikov N.V. Ros. Khim. Zh. 2021. V. 65. N 3. P. 67–71. DOI: 10.6060/rcj/2021653.9 (in Russian).
2. Chemical current sources: handbook / edited by N.V. Korovin and A.M. Skundin. Moscow: MPEI Publishing House. 2003. 740 с.
3. Deniskin A. G. Autonom. energetika. 2014. N 5. P. 46–51.
4. Ikornikov D.M., Sanin V.N., Yukhvid V.I. Physics of Combustion and Explosion. 2011. N 6. P. 91–97.
5. Prokofev V.G., Lapshin O.V., Smoljakov V.K. Tomsk state bull. Mathem. and mechan. 2018. N 52. P. 102–113. DOI: 10.17223/19988621/52/10. (in Russian).
6. Prokofev V.G., Smoljakov V.K. Fiz. goreniya i vzryva. 2018. V. 54. N 1. P. 27–32. DOI: 10.15372/FGV 20180105. (in Russian).
7. Prokofev V.G., Smolyakov V.K. Physics of Combustion and Explosion. 2016. № 1. P. 70–75.
8. Barinov V.Yu., Kovalev D.Yu., Vadchenko S.G., Golosova O.A., Prosyanyuk V.V., Suvorov I.S., Gilbert S.V. Comb., Explosion, and Shock Waves. 2019. V. 55. N 6. P. 678–685. DOI: 10.1134/S0010508219060078.
9. Barinov V. Yu., Vadchenko S. G., Shchukin A. S. Uspekhi sovremennoy nauki. 2016. V. 11. N 6. P. 7–12.

Поступила в редакцию 05.06.2023
Принята к опубликованию 14.12.2023

Received 05.06.2023
Accepted 14.12.2023