

УДК 541.13:615.4

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ КАТОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА КОЛИЧЕСТВО СОРБИРОВАННОГО ВОДОРОДА Al-Sm СПЛАВОМ ИЗ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В. О. Лукьянова[✉], И. Ю. Гоц

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.
410054, Россия, Саратов, Политехническая, 77*

[✉] E-mail: lukyanova.viky@yandex.ru

Поступила в редакцию: 30.04.2020 / Принята: 07.09.2020 / Опубликовано: 21.12.2020

Проведено исследование влияния величины катодной поляризации на скорость сорбции водорода из водноорганического электролита на Al-Sm сплаве с помощью потенциостатического и потенциодинамического методов. Полученные данные позволили рассчитать диффузионно-кинетические характеристики данного процесса, такие как константа внедрения K_B , диффузионная константа $C_H\sqrt{D}$, стационарный ток $i_{\text{стац}}$, коэффициент диффузии D и адсорбция атомов водорода G . Согласно проведенным исследованиям в области потенциалов от -2.0 до -2.4 В уменьшается количество зародышей новой гидридной фазы, но увеличивается их масса и радиус. При этом адсорбция водорода на поверхности возрастает, что подтверждает раннее высказанное утверждение о том, что при более отрицательных потенциалах преобладание разряда атомов водорода происходит по механизму рекомбинации.

Ключевые слова: Al-Sm сплав, катодное внедрение, металлогидридные системы.

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Analysis of the Influence of the Cathodic Polarization Value on the Amount of Hydrogen Sorption of Al-Sm with the Alloy of Electrochemical Measurements

Viktoriya O. Lukyanova[✉], <https://orcid.org/0000-0003-4656-3573>, lukyanova.viky@yandex.ru
Irina Yu. Gots, <https://orcid.org/0000-0001-5839-301X>, irina.gots@mail.ru

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
77 Politechnicheskay St., 410054 Saratov, Russia*

Received: 30 April 2020 / Accepted: 07 September 2020 / Published: 21 December 2020

The effect of cathodic polarization on the rate of hydrogen sorption from an aqueous organic electrolyte on an Al-Sm alloy using the potentiostatic and potentiodynamic methods were studied. The obtained data allowed us to calculate the diffusion-kinetic characteristics of this process, such as the interstitial constant, diffusion constant $C_H\sqrt{D}$, constant current iconst, diffusion coefficient D and adsorption of hydrogen atoms G . The number of nuclei decreases, but their mass and radius increase in the potential range from -2.0 V to -2.4 V. The adsorption of hydrogen on the surface increases; which confirms that predominance of the discharge of hydrogen atoms occurs at more negative potentials according to the recombination mechanism.

Keywords: Al-Sm alloy, cathode insertion, metalhydride systems.

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2020-20-4-206-213>

ВВЕДЕНИЕ

Химические источники тока (ХИТ) представляют собой интенсивно развива-

ющуюся область промышленности. Они используются для энергоснабжения всех современных электронных портативных устройств. В последние десятилетие [1–3]

широко развивается идея применения ХИТ в качестве экологически чистого энергоносителя для автомобильной промышленности [4–10].

Несмотря на прогресс в разработках новых ХИТ в них остается существенный недостаток – это емкость матрицы, которая не способна обеспечить продолжительную работу устройства в автономном режиме. Вышеуказанная проблема является актуальной и перспективной для научного круга специалистов в области электрохимии.

Одним из возможных решений, предлагаемыми учеными [11–15], является использование водородных соединений металлов в качестве катодов для ХИТ. Однако основные усилия, как правило, прилагаются для исследования поведения металлов и сплавов, полученных металлургическим методом. Тем не менее, в последние годы тенденция стала меняться, и все чаще ведутся разработки получения различных интерметаллических соединений электрохимическим методом.

Среди металлгидридных систем особый интерес представляют алюмогидриды в области химических источников тока. В последние полвека алюминий использовался в качестве взрывчатого вещества, восстановителя, ракетного топлива, источника водорода для переносных энергосистем и для осаждения алюминиевых пленок. Недавнее возрождение исследований в области хранения водорода в автомобильной промышленности вызвало новый интерес к алюмогидридам из-за малого веса и низкой температуры разложения.

На протяжении многих лет исследовательские группы решают ключевые проблемы, ограничивающие широкое использование гидрида алюминия. В настоящей работе показана возможность применения электрохимического метода определения количества водорода, абсорбированного при катодной поляризации на поверхности Al-Sm электрода, полученного методом катодного внедрения.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Электроды Al-Sm-H получали путем последовательного катодного внедрения самария и водорода в алюминиевую матрицу. Формирование слоя сплава Al-Sm осуществляли путем катодной обработки алюминиевых образцов по методу катодного внедрения в растворе 0.5 М салицилата самария в диметилформамиде (ДМФ) при заданном потенциале -2.9 В (относительно неводного хлоридсеребряного электрода) в течение 1 ч при температуре 25°C . По окончании процесса электроды промывали в ДМФ. Затем пленочные Al-Sm электроды поляризовали в растворе смеси ДМФ и воды в соотношении 3:7 при следующих потенциалах: -1.0 , -1.2 , -1.4 , -1.6 , -1.8 , -2.0 , -2.2 В (относительно водного насыщенного хлоридсеребряного электрода) и температуре 25°C в течение 30 мин.

Электрохимические исследования были проведены в условиях заданного потенциостатического режима с помощью импульсного потенциостата P20-X (ИП «Electrochemical Instruments», Россия).

Хроновольтамперометрические измерения анодного окисления водорода проводили в растворе 0.5 М салицилата самария в смеси H_2O и ДМФ (7:3) при $t = 25^\circ\text{C}$ и скорости линейной развертки потенциала 40 мВ/с, которая задавалась с помощью потенциостата P20-X. Диапазон исследуемых потенциалов составлял от -2.5 до $+1.0$ В.

Рентгенофазовый анализ полученных образцов проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 (НПП «Буревестник», Россия) с $\text{Cu-K}\alpha$ излучением со следующими параметрами съемки: напряжение на рентгеновской трубке $U = 25$ кВ, анодный ток $I = 10$ мА, скорость сканирования – 2 град/мин, скорость движения диаграммной ленты – 600 мм/ч, шаг сканирования 10° .

Для оценки морфологии поверхности использовался автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп MIRA 2 LMU («Tescan», Чехия), оснащенный си-

стемой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350. Исследования проводились в режиме вакуума порядка 10^{-2} Па.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методом снятия вольтамперных кривых наводороживание Al-Sm электродов было охарактеризовано количественно [16]. Сущность этого метода состоит в том, что между катодной и анодной поляризационными кривыми для Al-Sm электрода в водноорганическом электролите есть довольно протяженная область потенциалов от -2 В до 1.5 В, при которых электрохимические реакции протекают с весьма малыми скоростями (рис. 1).

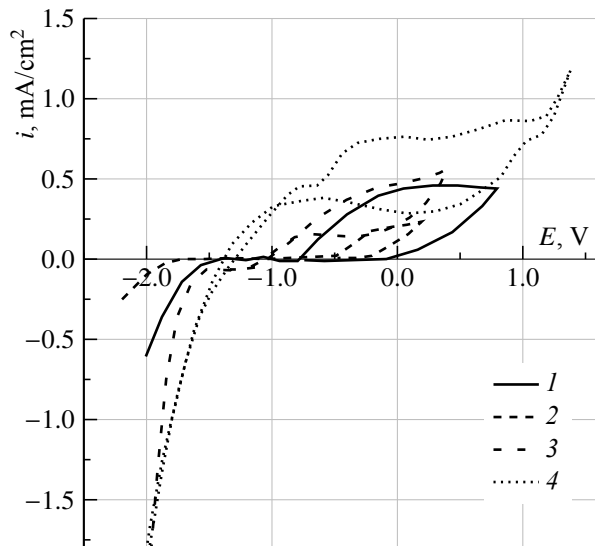


Рис. 1. Вольтамперные кривые Al-Sm-H электрода, снятые со скоростью линейной развертки потенциала 40 мВ/с после катодного внедрения водорода в Al-Sm электрод при потенциалах: 1 – -1.0 , 2 – -1.4 , 3 – -1.8 , 4 – -2.0 В в 0.5 М растворе салицилата самария в смеси воды и ДМФ (7 : 3)

Fig. 1. Current-voltage curves of the Al-Sm-H electrode, taken at a linear sweep potential of 40 мВ/с after cathodic introduction of hydrogen in the Al-Sm electrode at potentials: 1 – -1.0 , 2 – -1.4 , 3 – -1.8 , 4 – -2.0 В in a 0.5 М solution of samarium salicylate in a mixture of water and DMF (7 : 3)

Как описано в [16], в рассматриваемой области происходит образование гидридов с элементами матрицы, вследствие чего наблюдаются пики при потенциалах -1.0 , -1.5 , -2.0 , -2.5 В (рис. 2).

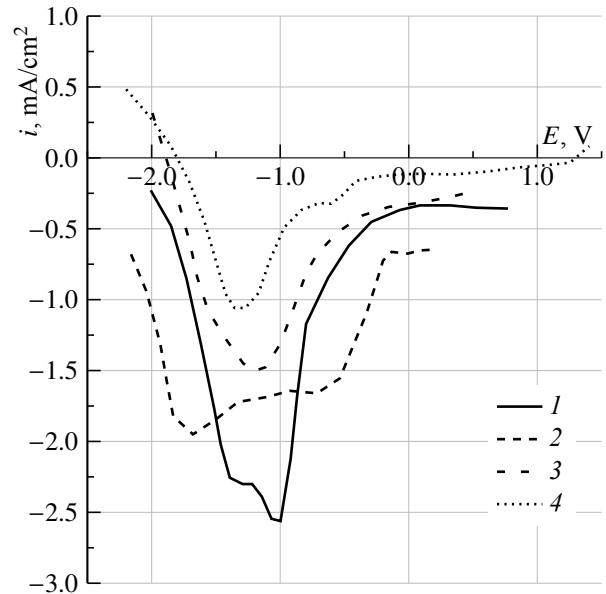


Рис. 2. Вольтамперные кривые Al-Sm-H электрода, снятые со скоростью линейной развертки потенциала 40 мВ/с после наводороживания при потенциалах: 1 – -1.0 , 2 – -1.4 , 3 – -1.8 , 4 – -2.0 В в 0.5 М растворе салицилата самария в смеси воды и ДМФ (7 : 3)

Fig. 2. Volt-ampere curves of the Al-Sm-H electrode with a linear sweep potential of 40 мВ/с after hydrogenation at potentials of: 1 – -1.0 , 2 – -1.4 , 3 – -1.8 , 4 – -2.0 В in a 0.5 М solution of samarium salicylate in a mixture of water and DMF (7 : 3)

Поскольку образуются гидриды, то при анодной поляризации концентрация водорода в поверхностных слоях снижается и возникает градиент концентрации, что вызывает нестационарную диффузию водорода к поверхности электрода. При этом происходит снижение тока во времени при потенциале ионизации водорода. Для дальнейшего определения количества водорода были рассчитаны диффузионно-кинетические характеристик Al-Sm-H-электродов по методике, описанной в [17] (табл. 1).

Согласно данным, приведенным в табл. 1, с ростом величины потенциала катодной поляризации значения константы внедрения K_b и $C_0\sqrt{D}$ монотонно возрастают, при этом адсорбция водорода на поверхности электрода возрастает на порядок, а коэффициент диффузии уменьшается. Это подтверждает предположение, что при более высоких потенциалах разряд атомов

Таблица 1 / Table 1

Зависимость диффузионно-кинетических характеристик Al-Sm-H-электродов, полученных при различных потенциалах катодной поляризации в водноорганическом электролите

Dependence of the diffusion-kinetic characteristics of Al-Sm-H electrodes obtained at various cathodic polarization potentials in an aqueous-organic electrolyte

Потенциал катодной поляризации ($E_{кп}$), В	Константа внедрения ($K_B \cdot 10^6$), $A \cdot cm^2 / c^{1/2}$	Диффузионная составляющая процесса ($C_0 \sqrt{D} \cdot 10^{10}$), $mol / cm^2 \cdot c^{-1/2}$	Плотность стационарного тока ($i_{стац}$), mA / cm^2	Величина адсорбции ($\Gamma \cdot 10^5$), mol / cm^2	Химический коэффициент диффузии внедряющихся частиц ($D \cdot 10^{12}$), cm^2 / c
-1.0	5.12	0.94	0.008	5.19	7.03
-1.4	9.65	1.77	0.021	17.57	5.41
-1.8	16.88	3.09	0.041	29.88	5.14
-2.0	18.39	3.37	0.060	34.54	4.87

водорода протекает не по диффузионному механизму, а по механизму рекомбинации.

Количество водорода, находящееся в системе Al-Sm, рассчитывали исходя из проведенных трех параллельных опытов по формуле [16]:

$$i_H = 0.4465 (nF)^{3/2} C_H^0 (vD_H)^{1/2} (RT)^{-1/2},$$

где i_H – пик тока на циклической вольтамперограмме, A / cm^2 ; n – число электронов, участвующих в реакции; F – число Фарадея, Кл/моль; C_H^0 – концентрация водорода в образце, моль/ cm^3 ; v – скорость развертки, мВ/с; D_H – коэффициент диффузии водорода в металле, cm^2 / c ; R – универсальная газовая постоянная, Дж·К⁻¹·моль⁻¹; T – температура, К.

Как видно из табл. 2, в зависимости от потенциала катодной поляризации можно наблюдать различное количество водорода в сплаве, которое колеблется от $(0.758 \pm 0.002) \cdot 10^{-6}$ до $(26.643 \pm 0.002) \times 10^{-6}$ моль/ cm^2 в исследуемой области катодной поляризации от -1.0 до -2.0 В [16].

Двухкомпонентная система Al-Sm состоит из гидридообразующего металла (алюминий) и катализатора гидридообразования (РЗЭ). Подобно металлам щелочного и щелочноземельного рядов, редкоземельные металлы обладают высокой электрохимической активностью, что приводит

к изменению скорости взаимодействия с водородом [18]. С помощью сканирующего микроскопа показано, что внедрение водорода в алюминиевый катод сопровождается образованием на поверхности электрода шаровидных кристаллов, которые со временем укрупняются и разрастаются на поверхности. Вместе с тем растет количество мелких кристаллов (рис. 3).

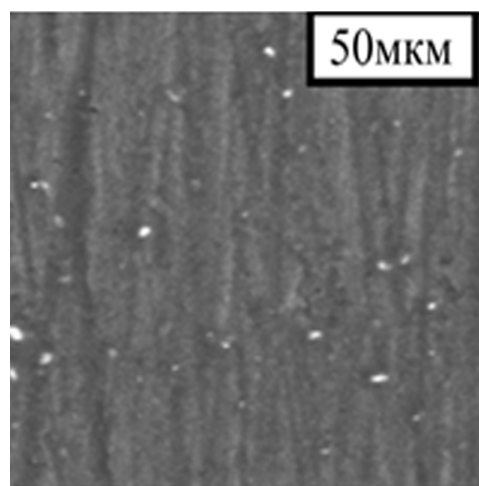


Рис. 3. СЭМ изображение при 500-кратном увеличении поверхности электрода Al-Sm-H, полученного при потенциале -1.4 В в растворе воды и ДМФ в соотношении 3 : 7 в течение 30 мин при температуре 25°C

Fig. 3. SEM image at 500x magnification of the Al-Sm-H electrode surface obtained at the potential of -1.4 V in a solution of water and DMF in the ratio 3 : 7 during 30 minutes at the temperature of 25°C

Таблица 2 / Table 2

Количество сорбированного водорода в Al-Sm сплаве (m) на единицу геометрической поверхности электрода в зависимости от потенциала наводороживания

The amount of hydrogen sorption in the Al-Sm alloy (m) per unit of the geometric surface of the electrode depending on the hydrogenation potential

Потенциал катодной поляризации ($E_{\text{кп}}$), В	Плотность тока насыщения ($i_{\text{н}}$), мА/см ²	Потенциал наводороживания ($-E_{\text{н}}$), В	Количество сорбированного водорода (m), моль/см ²
-1.0	0.003	1.0	$(0.758 \pm 0.002) \cdot 10^{-6}$
-1.4	0.012	1.6	$(3.033 \pm 0.002) \cdot 10^{-6}$
-1.8	0.05	1.2	$(12.966 \pm 0.002) \cdot 10^{-6}$
-2.0	0.10	1.4	$(26.643 \pm 0.002) \cdot 10^{-6}$

Согласно данным рентгенофазового анализа (табл. 3), в результате катодной обработки сплава Al-Sm в растворе воды и ДМФ в соотношении 3:7 образуются соединения водорода следующего состава: AlH_3 , Sm_3H_7 [19].

Таблица 3 / Table 3

Результаты рентгенофазового анализа образца Al-Sm-H

The results of the X-ray phase analysis of the sample Al-Sm-H

Образец Al-Sm-H			
Фаза	Кристаллографическое направление (hkl)	Расстояние между плоскостями кристаллической решетки (d), Å	Номер карточки
Sm_3H_7	(101)	3.094	36-941
AlH_3	(012)	3.214	23-761

На рис. 3 видно, что на поверхности электрода образуются частицы гидрида алюминия, при этом создается повышенная концентрация ядер зародышеобразования, которые начинают активно разрастаться в ходе дегидрирования, превращаясь в видимые на СЭМ зародыши новой фазы. Наиболее вероятно, что при химическом взаимодействии с водородом, атомы алюминия позволяют зародиться новой фа-

зе в виде AlH_3 . Очевидно, что образование AlH_3 будет происходить за счет объединения нескольких атомов алюминия, изначально находившихся в узлах решетки исходного гидрида [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование влияния величины катодной поляризации на скорость сорбции водорода из водноорганического электролита на Al-Sm сплаве показали, что с увеличением потенциала монотонно возрастают диффузионно-кинетические характеристики данного процесса, такие как константа внедрения $K_{\text{В}}$, диффузионная константа $S_{\text{H}} \sqrt{D}$, стационарный ток $i_{\text{стац}}$, адсорбция атомов водорода Γ . При этом уменьшается количество зародышей и коэффициент диффузии D , но увеличиваются их масса и радиус. Это указывает на то, что при более отрицательных потенциалах преобладание разряда атомов водорода происходит не по диффузионному механизму, а по механизму рекомбинации. Рентгенофазовый анализ показал, что в результате катодной обработки сплава Al-Sm в растворе смеси воды и ДМФ образуются соединения водорода следующего состава: AlH_3 , Sm_3H_7 .

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-33-90150).

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-33-90150).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов Б. П., Бурашова В. В., Лотоцкий М. В., Яртысь В. А. Методы хранения водорода и возможности использования металлогидридов // *Альтернативная энергетика и экология*. 2005. № 12. С. 14–37.
2. Белоглазов С. М. Наводороживание металла при электрохимических процессах. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 312 с.
3. Кузнецов В. В., Халдеев Г. В., Кичигин В. И. Наводороживание металлов в электролитах. М.: Машиностроение, 1993. 244 с.
4. Скундин А. М., Осетрова Н. В. Использование алюминия в низкотемпературных химических источниках тока // *Электрохимическая энергетика*. 2005. Т. 5, № 1. С. 3–15.
5. Tai Yang, Qiang Li, Chunyong Liang, Xinghua Wang, Chaoqun Xia, Hongshui Wang, Fuxing Yin, Yanghuan Zhang. Microstructure and hydrogen absorption / desorption properties of Mg₂₄Y₃M (M = Ni, Co, Cu, Al) alloys // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43, № 18. P. 8877–8887. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.02.199>
6. Youn J. S., Phan D. T., Park C. M., Jeon K. J. Enhancement of hydrogen sorption properties of MgH₂ with a MgF₂ catalyst // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42. P. 20120–20124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.130>
7. Wang P. J., Fang Z. Z., Ma L. P., Kang X. D., Wang P. Effect of SWNTs on the reversible hydrogen storage properties of LiBH₄-MgH₂ composite // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2008. Vol. 33. P. 5611–5616. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.07.045>
8. Yang J., Sudik A., Siegel D. J., Halliday D., Drews A., Carter R., Wolverson C., Lewis G. J., Sachtler A., Low J., Faheem S. A., Lesch D., Ozolinš V. A Self Catalyzing Hydrogen Storage // *Angewandte Chemie*. 2008. Vol. 47. P. 882–887. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.200703756>
9. Li L., Jiang G., Tian H., Wang Y. Effect of the hierarchical Co@C nanoflowers on the hydrogen storage properties of MgH₂ // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42. P. 28464–28472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.09.160>
10. Sadhasivama T., Kim H. T., Jung S., Roh S. H., Park J. H., Jung H. Y. Dimensional effects of nanostructured Mg/MgH₂ for hydrogen storage applications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 72. P. 523–534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.107>
11. Ren J., Musyoka N. M., Langmi H. W., Mathe M., Liao S. Current research trends and perspectives on materials-based hydrogen storage solutions: A critical review // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42. P. 289–311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.195>
12. Wood B., Stavila V., Poonyayant N., Heo T., Ray K. G., Klebanoff L. E., Udovic T. J., Lee J. R. I., Angboonpong N., Sugar J. D., Pakawatpanurut P. Nanointerface-driven reversible hydrogen storage in the nanoconfined Li-N-H system // *Advanced Materials Interfaces*. 2017. Vol. 4. P. 1600803 (7). DOI: <https://doi.org/10.1002/admi.201600803>
13. Farha O. K., Yazaydin A. O., Eryazici I., Malliakas C. D., Hauser B. G., Kanatzidis M. G., Nguyen S. T., Snurr R. Q., Hupp J. T. De novo synthesis of a metal-organic framework material featuring ultrahigh surface area and gas storage capacities // *Nature Chemistry*. 2010. Vol. 2. P. 944–948. DOI: <https://doi.org/10.1038/nchem.834>
14. Gómez-Gualdrón D. A., Wang T. C., García-Holley P., Sawelewa R. M., Argueta E., Snurr R. Q., Hupp J. T., Yildirim T., Farha O. K. Understanding volumetric and gravimetric hydrogen adsorption trade-off in metal-organic frameworks // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2017. Vol. 9. P. 33419–33428. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b01190>
15. Ahmed A., Liu Y., Purewal J., Tran L. D., Wong-Foy A. G., Veenstra M., Veenstra M., Matzger A. J., Siegel D. J. Balancing gravimetric and volumetric hydrogen density in MOFs // *Energy & Environmental Science*. 2017. Vol. 10. P. 2459–2471. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7EE02477K>
16. Гаврилова Н. В., Кудряш В. И., Лутейнов Ю. В., Харченко Е. Л., Шалимов Ю. Н. Оценка аналитических возможностей методов определения содержания водорода в металлах // *Альтернативная энергетика и экология*. 2008. № 8. С. 10–26.
17. Маджуро А. С., Гоц И. Ю., Нечаев Г. Г., Кивокурцев А. Ю. Влияние магнитного поля на размерные эффекты алюминиевых электродов, модифицированных самарием и водородом, их электрохимические и физико-химические параметры // *Перспективные материалы*. 2016. № 1. С. 24–31.
18. Фатеев В. Н., Алексеева О. К., Коробцев С. В., Серегина Е. А., Фатеева Т. В., Григорьев А. С., Алиев А. Ш. Проблемы аккумуляирования и хранения водорода // *Kimya Problemleri*. 2018. № 4. С. 453–483. DOI: <https://doi.org/10.32737/2221-8688-2018-4-453-483>
19. Гоц И. Ю., Климов А. С., Маджуро А. С., Нечаев Г. Г. Влияние соотношения воды в органическом электролите на диффузионно-кинетические характеристики и структуру Al-Sm сплава при потенциалах сорбции водорода // *Вестн. Сарат. гос. техн. ун-та*. 2012. Т. 3, № 1 (67). С. 67–72.
20. Добротворский М. А., Елец Д. И., Дуля М. С., Евард Е. А., Войт А. П., Габис И. Е. Способы активации гидрида алюминия // *Вестн. Санкт-Петерб. ун-та. Сер. 4. Физика. Химия*. 2012. № 1. С. 15–23.

REFERENCES

1. Tarasov B. P., Burnasheva V. V., Lotockij M. V., Yartys' V. A. Methods of water storage and the possibility of using metal hydrides. *Alternative Energy and Ecology*, 2005, no. 12, pp. 14–37 (in Russian).
2. Beloglazov C. M. *Navodorozhivanie metalla pri elektrohimicheskikh processah* [Hydrogenation of metal during electrochemical processes]. Leningrad, Izd-vo Leningr un-ta, 1974. 312 p. (in Russian).
3. Kuznecov V. V., Haldeev G. V., Kichigin V. I. *Navodorozhivanie metallov v elektrolitah* [Hydrogenation of metals in electrolytes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1993. 244 p. (in Russian).
4. Skundin A. M., Osetrova N. V. The use of aluminum in low-temperature chemical power sources. *Electrochemical Energetics*, 2005, vol. 5, no. 1, pp. 3–15 (in Russian).
5. Tai Yang, Qiang Li, Chunyong Liang, Xinghua Wang, Chaoqun Xia, Hongshui Wang, Fuxing Yin, Yanghuan Zhang. Microstructure and hydrogen absorption / desorption properties of Mg₂₄Y₃M (M = Ni, Co, Cu, Al) alloys. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018, vol. 43, no. 18, pp. 8877–8887. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.02.199>
6. Youn J. S., Phan D. T., Park C. M., Jeon K. J. Enhancement of hydrogen sorption properties of MgH₂ with a MgF₂ catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, vol. 42, pp. 20120–20124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.130>
7. Wang P. J., Fang Z. Z., Ma L. P., Kang X. D., Wang P. Effect of SWNTs on the reversible hydrogen storage properties of LiBH₄–MgH₂ composite. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008, vol. 33, pp. 5611–5616. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.07.045>
8. Yang J., Sudik A., Siegel D. J., Halliday D., Drews A., Carter R., Wolverton C., Lewis G. J., Sachtler A., Low J., Faheem S. A., Lesch D., Ozolinš V. A Self Catalyzing Hydrogen Storage. *Angewandte Chemie*, 2008, vol. 47, pp. 882–887. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.200703756>
9. Li L., Jiang G., Tian H., Wang Y. Effect of the hierarchical Co@C nanoflowers on the hydrogen storage properties of MgH₂. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, vol. 42, pp. 28464–28472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.09.160>
10. Sadhasivama T., Kim H. T., Jung S., Roh S. H., Park J. H., Jung H. Y. Dimensional effects of nanostructured Mg/MgH₂ for hydrogen storage applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 72, pp. 523–534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.107>
11. Ren J., Musyoka N. M., Langmi H. W., Mathe M., Liao S. Current research trends and perspectives on materials-based hydrogen storage solutions: A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, vol. 42, pp. 289–311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.195>
12. Wood B., Stavila V., Poonyayant N., Heo T., Ray K. G., Klebanoff L. E., Udovic T. J., Lee J. R. I., Angboonpong N., Sugar J. D., Pakawatpanurut P. Nanointerface-driven reversible hydrogen storage in the nanoconfined Li–N–H system. *Advanced Materials Interfaces*, 2017, vol. 4, pp. 1600803 (7). DOI: <https://doi.org/10.1002/admi.201600803>
13. Farha O. K., Yazaydin A. O., Eryazici I., Malliakas C. D., Hauser B. G., Kanatzidis M. G., Nguyen S. T., Snurr R. Q., Hupp J. T. De novo synthesis of a metal–organic framework material featuring ultrahigh surface area and gas storage capacities. *Nature Chemistry*, 2010, vol. 2, pp. 944–948. DOI: <https://doi.org/10.1038/nchem.834>
14. Gómez-Gualdrón D. A., Wang T. C., García-Holley P., Sawelewa R. M., Argueta E., Snurr R. Q., Hupp J. T., Yildirim T., Farha O. K. Understanding volumetric and gravimetric hydrogen adsorption trade-off in metal–organic frameworks. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2017, vol. 9, pp. 33419–33428. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b01190>
15. Ahmed A., Liu Y., Purewal J., Tran L. D., Wong-Foy A. G., Veenstra M., Veenstra M., Matzger A. J., Siegel D. J. Balancing gravimetric and volumetric hydrogen density in MOFs. *Energy & Environmental Science*, 2017, vol. 10, pp. 2459–2471. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7EE02477K>
16. GavriloVA N. V., Kudrjash V. I., Litvinov Yu. V., Harchenko E. L., Shalimov Yu. N. Evaluation of analytical possibilities methods for hydrogen determination in metals. *Alternative Energy and Ecology*, 2008, no. 8, pp. 10–26 (in Russian).
17. Madzhulo A. S., Gots I. Yu., Nechaev G. G., Kivokurcev A. Yu. Influence of magnetic field on dimensional effects of aluminum electrodes modified by samarium and hydrogen, their electrochemical and physical and chemical parameters. *Perspektivnye materialy* [Perspective materials], 2016, no. 1, pp. 24–31 (in Russian).
18. Fateev V. N., Alekseeva O. K., Korobcev S. V., Seregina E. A., Fateeva T. V., Grigor'ev A. S., Aliev A. Sh. Problems of hydrogen storage and storage. *Kimya Problemleri*, 2018, no. 4, pp. 453–483. DOI: <https://doi.org/10.32737/2221-8688-2018-4-453-483> (in Russian).
19. Gots I. Yu., Klimov A. S., Madzhulo A. S., Nechaev G. G. Impact of the water ratio in the organic electrolyte on the diffusion-kinetic properties and structure of the alloy at the potentials of hydrogen sorption. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 3, no. 1 (67), pp. 66–72.
20. Dobrotvorskij M. A., Elec D. I., Dulya M. S., Evard E. A., Vojt A. P., Gabis I. E. Ways to activate aluminum hydride. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 4. Fizika. Himiya*, 2012, no. 1, pp. 15–23.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лукьянова Виктория Олеговна – аспирант кафедры «Химия и химическая технология материалов», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. Служебный телефон: +7 (908) 553-96-85, e-mail: lukyanova.viky@yandex.ru

Гоц Ирина Юрьевна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Материаловедение и биомедицинская инженерия», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А. Служебный телефон: +7 (917) 207-10-50, e-mail: irina.gots@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Лукьянова В. О., Гоц И. Ю. Анализ влияния величины катодной поляризации на количество сорбированного водорода Al-Sm сплавом из электрохимических измерений // Электрохимическая энергетика. 2020. Т. 20, № 4. С. 206–213. DOI: <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2020-20-4-206-213>

For citation

Lukyanova V. O., Gots I. Yu. Analysis of the Influence of the Cathodic Polarization Value on the Amount of Hydrogen Sorption of Al-Sm with the Alloy of Electrochemical Measurements. *Electrochemical Energetics*, 2020, vol. 20, no. 4, pp.206–213 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2020-20-4-206-213>