Влияние магнитного поля на размерные эффекты алюминиевых электродов, модифицированных самарием и водородом, их электрохимические и физико-химические параметры

А. С. Маджуло, И. Ю. Гоц, Г. Г. Нечаев, А. Ю. Кивокурцев

Исследованы влияние напряженности и направления силовых линий магнитного поля на диффузионно-кинетические характеристики Al – Sm – H-электродов. Обнаружено, что увеличение дисперсности и уплотнение структуры Al – Sm электродов после выдержки в магнитном поле приводит к снижению скорости процесса сорбции водорода в 2 – 4 раза. Результаты расчета показывают, что при расположении силовых линий магнитного поля под углом в 45° и перпендикулярно плоскости образцов увеличение напряжения поля приводит к росту числа зародышей и соответственно уменьшению их массы и размера, то есть способствует образованию более мелкодисперсного осадка.

Ключевые слова: Al – Sm-электроды, взаимодействие с водородом, органические растворители, алюминий, самарий.

Введение

Одной из центральных проблем водородной энергетики являются большие затраты на хранение и транспортировку водорода [1, 2]. Проблема связана в первую очередь с очень низкой плотностью водорода в газообразном состоянии. Металлогидридный метод хранения водорода характеризуется высокой компактностью, безопасностью и не очень высокими энергозатратами. Учитывая технологическую гибкость металлогидридного метода, можно заключить, что он имеет хорошие перспективы для создания эффективных комбинированных систем хранения водорода [3 – 5]. Взаимодействие водорода с металлами или сплавами представляет собой сложный многостадийный процесс адсорбции и, помимо адсорбции на поверхности, включает абсорбцию в объеме, диффузию, миграцию, окклюзию, молекулярную абсорбцию, образование гидридов. Природа металла или сплава, наличие дефектов в их структуре оказывают существенное влияние на механизм взаимодействия H_2 с основой. Диффузия, или массоперенос, обычно приводит к образованию твердых растворов внедрения или замещения, или химических соединений. Определяющим фактором процесса сорбции является дефектность кристаллической решетки и существование растворенного в ней водорода в форме протонов. На растворимость водорода и его сорбцию в различные матрицы оказывают влияние такие факторы, как давление, механическая обработка поверхности, размер зерна металла, наличие примесных соединений на поверхности металла, величина pH раствора, состав электролита. Таким образом, поверхностные и объемные свойства материала, сорбирующего водород, количество дефектов (вакантных мест) для его размещения можно изменять, воздействуя различными физико-химическими или электрохимическими способами [4 – 6]. При этом становится возможным использование более широкого ряда металлов и сплавов, в том числе алюминиевых. Разработка новых аккумуляторов водорода с использованием гидридных технологий для хранения водорода имеет большие перспективы [7 – 11].

Цель работы — исследование влияния напряженности магнитного поля на структуру, сорбционную способность и свойства Al – Sm – H электродов.

Методика эксперимента

Матричная накопительная композиция Al – Sm сплава получена электрохимическим способом на тонких фольговых алюминиевых электродах (99,99), что обеспечивает ей высокую степень чистоты продукта. Использование смеси воды с органическим растворителем при сорбции водорода позволяет расширить диапазон рабочих напряжений и температур для внедрения атомарного водорода вглубь матрицы с последующим образованием соответствующих гидридов. Al – Sm-электроды получены обработкой алюминия по методу катодного внедрения [5] в 0,5 М растворе салицилата самария в диметилформамиде (ДМФ) при $E_{кп}$ = –2,9 В (относительно неводного хлорсеребряного электрода) и температуре 25 °С в течение 1 часа. Полученные Al – Sm электроды подвергали обработке в магнитном поле различной напряженности (10, 20 и 30 кЭ) на установке импульсного намагничивания типа УИН-100. Электроды располагали в трех вариантах эксперимента таким образом, что силовые линии поля шли: 1) под углом 45° вдоль длинной стороны образца, 2) вдоль меньшей стороны и 3) перпендикулярно плоскости образца. До и после намагничивания исследовали на микротвердость, шероховатость и микроструктуру обработанных образцов. Затем Al – Sm – H электроды получали импульсным потенциостатическим методом при $E_{кп}$ = –1,6 В в течение 30 мин из смеси ДМФ + H_2O при объемном соотношении (3:7) и температуре 25 °С, длительность начального короткого импульса составляла 800 мс.

Результаты

Анализ бестоковых хронопотенциограмм ($E_{б/т}$, t-кривых) Al – Sm электрода до сорбции водорода показал, что после магнитной обработки значение $E_{б/т}$ смещается в положительную область до –0,86 В по сравнению с ненамагниченным. В случае Al – Sm – H-электродов — до –1,56 В.

Электродная реакция включает изменения в количествах двух фаз, присутствующих в микроструктуре, а это делает необходимой химическую диффузию в одной или обеих фазах. Так как в таких случаях скорость микроструктурного упорядочивания и уравновешивания зависит от процесса химической диффузии, скорость диффузии будет оказывать большое влияние на преобразования в поверхностных слоях таких электродов.

Таким образом, измерение параметров химической диффузии в твердых сплавах, в которых один вид атомных частиц является намного более подвижным по сравнению с другим, является интересным как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Развитый теоретический подход к применению импульсного потенциостатического метода учитывает замедленную диффузию частиц в объеме электрода и затрудненный перенос заряда через границу электрод – раствор. Ключевым фактором, ограничивающим скорость переноса частиц через границу раздела при внедрении (или экстракции), является наличие пассивного поверхностного слоя.

В режиме малого потенциостатического возмущения выражение транзиента тока имеет вид [12, 13]:

$$i = \frac{2\Delta E}{R_s}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\exp\left(-\alpha_n^2 Dt/L^2\right)}{1+2\alpha_n/\sin 2\alpha_n}, \qquad (1)$$

где i — плотность тока, R_s — эффективное удельное электрическое сопротивление границы раздела, D — химический коэффициент диффузии внедряющихся частиц, t — время от момента включения импульса напряжения ΔE, L — толщина слоя материала, α_n — n-й положительный корень характеристического уравнения $\alpha \mathrm{tg}\alpha = hL$, где $h = \frac{dE/dc}{nFDR_s}$ — характеристический параметр, определяющий вид $i(t)$ кривых, dE/dc — производная потенциала электрода E по объемной концентрации c, n — число электронов, F — число Фарадея. Обработка транзиентов тока с целью определения кинетических параметров электрода может быть проведена либо компьютерным моделированием с использованием уравнения (1), либо линеаризацией начального и конечного участков $i(t)$ кривых в соответствии со следующими из уравнения (1) асимптотическими выражениями:

$$i = \frac{\Delta E}{R_s}\left(1-\frac{2h\sqrt{Dt}}{\sqrt{\pi}}\right) \text{ при } t \ll L^2/D, \qquad (2)$$

$$i = \frac{2\Delta E\exp\left(-\alpha_1^2 Dt/L_2\right)}{R_s\left(1+2\alpha_1/\sin 2\alpha_1\right)} \text{ при } t \gg L^2/D. \qquad (3)$$

Зная ΔE и L и комбинируя коэффициенты прямых в координатах $i - t^{1/2}$ и $\lg i - t$, вычисляем по уравнениям (2) и (3) R_s, D, h, и dE/dc.

Благодаря возможности управлять процессом с помощью потенциала, потенциостатический метод позволяет получить ценную информацию о величине D, избегая в течение всего времени поддержания потенциала в пределах области стабильности монофазы сплава, образования зародышей новой фазы.

Величину адсорбции можно рассчитать по уравнению:

$$\Gamma_E = \text{const} = -\frac{i_{t=0}}{nF\left(\partial \ln i / \partial t\right)_E}, \quad (4)$$

Для определения диффузионно-кинетических параметров формирования пленочных электродов начальные участки $i - t$-кривых, отвечающие стадии образования твердого раствора внедряющихся атомов в металле электрода, перестраивали в координатах $i - 1/t^{1/2}$ и по угловому коэффициенту наклона определяли константу внедрения $K_в$ и произведение $C_0D^{1/2}$:

$$C\sqrt{D} = \frac{\sqrt{\pi}}{zF} \cdot \frac{\Delta i}{\Delta\left(1/\sqrt{t}\right)}, \quad (5)$$

где z — число электронов, участвующих в реакции; F — число Фарадея, Кл/моль; c — концентрация внедрившихся атомов (дефектов), моль/см^3; D — коэффициент диффузии внедрившихся атомов, см^2/с;

$$K_{\text{â}} = \frac{\Delta i}{\Delta\left(1/\sqrt{t}\right)}, \text{ мА·см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1/2}. \quad (6)$$

Из зависимости $\ln i - t$ было рассчитано значение адсорбции (Г). Это указывает на сложный характер взаимодействия внедряющихся атомов редкоземельного элемента (РЗЭ) с кристаллической решеткой Al электрода. Данные по рассчитанным параметрам представлены в табл. 1.

Согласно данным табл. 1, увеличение дисперсности и уплотнение структуры Al – Sm после выдержки в магнитном поле приводит к снижению скорости процесса сорбции водорода в 2 – 4 раза, и большая часть водорода абсорбируется в поверхностных слоях.

По количеству электричества $Q_{макс}$, прошедшему через электрод с момента образования первого зародыша, которому соответствует минимум на $i - t$-кривых, и до момента достижения $i_{макс}$, были рассчитаны число зародышей доминирующей новой фазы образовавшегося гидрида алюминия N, их масса m и радиус r.

Радиус максимально выросшего зародыша $r_{макс}$ при длительности катодной поляризации, отвечающей максимуму плотности тока на $i - t$-кривой, связан с количеством N зародышей в поверхности уравнением:

$$r_{макс} = 0{,}5\sqrt{\frac{S_{геом}}{N}}. \quad (7)$$

Соответственно массу такого зародыша $m_{макс}$ можно рассчитать по уравнению:

$$m_{макс}N = \frac{\pi}{12}\sqrt{\frac{S_{геом}^3}{N}} \cdot \rho_{Al} \frac{M_{РЗЭ} + M_{Al}}{M_{Al}}, \quad (8)$$

Для массы образующегося монослоя β-фазы в целом справедливо соотношение

$$m_{макс}N = \left(M_{РЗЭ} + M_{Al}\right) \cdot \frac{Q_{макс}}{F}, \quad (9)$$

где $Q_{макс}$ — количество электричества, затраченного на процесс образования интерметаллического соединения с момента образования зародыша и до его максимального разрастания по поверхности, равное площади под $i - t$-кривой в интервале значений t, отвечающих точкам минимума и максимума на $i - t$-кривой:

$$Q_{макс} = \int_{t_{мин}}^{t_{макс}} i dt. \quad (10)$$

Таким образом число зародышей на единице поверхности в момент времени $t_{макс}$ равно

Таблица 1

Зависимость диффузионно-кинетических характеристик Al – Sm – H-электродов от напряженности магнитного поля и направления силовых линий поля

Напряженность магнитного поля, кЭ	$K_в \cdot 10^5$, (А·см^2)/с$^{1/2}$	$i_{(t=0)}$, мА/см^2	$C_0D^{1/2} \cdot 10^{10}$, моль/(см^2·с$^{-1/2}$)	$D \cdot 10^{12}$, см^2/с	$C_0 \cdot 10^4$, моль/см^3	$\Gamma \cdot 10^6$, моль/см^2
Без намагничивания						
	0,58	0,0531	1,062	0,25	2,1	2,85
Под углом в 45° к плоскости						
10	0,20	0,0314	0,126	0,69	0,152	4,79
20	0,14	0,0059	0,088	3,86	0,045	0,15
30	0,29	0,0205	0,177	2,27	0,117	0,89
Вдоль длинной стороны						
10	0,62	0,067	0,380	2,13	0,260	3,02
20	0,34	0,030	0,211	3,41	0,114	0,70
30	0,13	0,027	0,084	0,84	0,092	3,19
Перпендикулярно плоскости						
10	0,12	0,035	0,076	0,57	0,100	6,38
20	0,13	0,0395	0,080	0,50	0,112	8,03
30	0,15	0,088	0,097	0,34	0,116	27,0

Таблица 2

Влияние напряженности и направления силовых линий магнитного поля на процесс зародышеобразования на Al – Sm – H-электрода

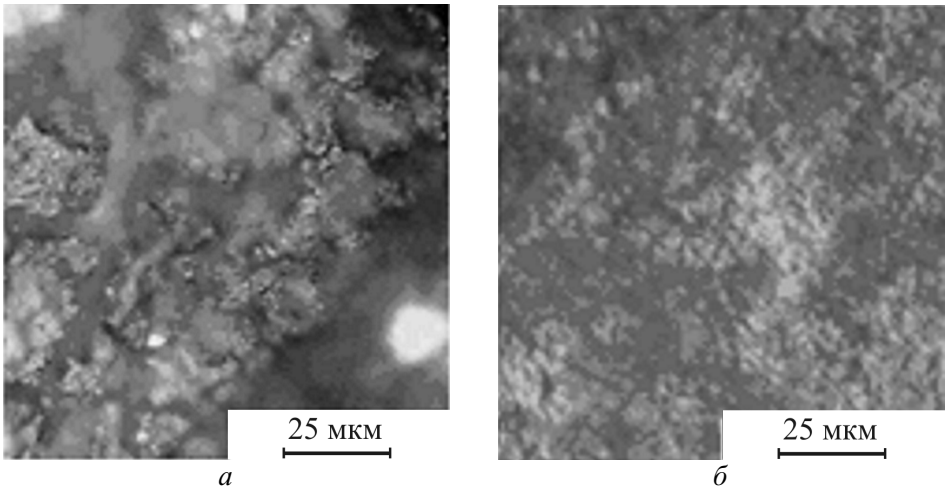
Напряженность магнитного поля, кЭ	Количество электричества $Q \cdot 10^3$, (А·с)/см^2	Число зародышей, $N \cdot 10^{-11}$, см$^{-2}$	Масса зародыша, $m \cdot 10^{18}$, г	Радиус зародыша, $r \cdot 10^9$, нм
Без намагничивания				
	6,32	1,58	11,6	12,53
Под углом 45° к плоскости поверхности				
10	5,87	1,83	58,8	11,7
20	3,75	4,50	15,3	7, 5
30	2,52	9,97	4,6	5,0
Параллельно плоскости поверхности вдоль длинной стороны				
10	2,88	7,63	6,49	5,7
20	3,01	6,98	7,92	6,0
30	3,59	4,89	13,52	7,1
Перпендикулярно плоскости поверхности				
10	9,71	0,67	266	1,9
20	10,30	0,59	317	2,0
30	11,26	0,49	415	2,2

$$N = \frac{\pi^2}{144} S_{\text{геом}}^3 \left(\frac{\rho_{\text{Al}} F}{M_{\text{Al}} Q_{\text{макс}}} \right)^2. \qquad (11)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 2. Из табл. 2 следует, что при расположении силовых линий магнитного поля под углом в 45° и перпендикулярно плоскости образцов увеличение напряженности поля приводит к росту числа зародышей и соответственно уменьшению их массы и размера, то есть способствует образованию более мелкодисперсного осадка. Наложение магнитного поля вдоль длинной стороны образца дает прямо противоположный эффект. Линейный характер зависимости $\lg(i/t^2) - t^3$ указывает на образование преимущественно трехмерных зародышей. Микрофотографии электродов до и после магнитной обработки, полученные с помощью микроскопа Альтами МЕТ 5С, представлены на рис. 1.

Сопоставление данных по определению шероховатости на Al – Sm и Al – Sm – H электродах показало, что среднеарифметическое отклонение уменьшается на два порядка, а высота и максимальная высота неровностей уменьшаются более, чем в 10 раз, то есть идет образование более мелкодисперсных осадков, которые, как следствие, обладают большей плотностью. Это подтверждается и результатами определения микротвердости, а также результатами сканирующей грануло- и порометрии.

Согласно результатам исследования образцов методом сканирующей поро- и гравиметрии внедрение водорода в Al – Sm-электроды приводит к увеличению размера зерен в 8 – 10 раз, в то же время размер



а *б*

Рис. 1. Микрофотографии электродов Al – Sm: *а* — без магнитной обработки; *б* — после магнитной обработки.

пор остается неизменным. Это связано с тем, твердые растворы на основе алюминия с минимальным содержанием второго компонента (до 1 ат.%) Al, Cd, In, Pb, Y, Zn и Ga, In или механические смеси алюмния гидридообразующими металлами и интерметаллическими соединениями (Pd, V, $LaNi_5$, TiFe) заметно превосходят индивидуальный алюминий по скорости взаимодействия с водородом. Большинство ИМС-абсорбентов водорода типа AB_5 кристаллизуется в структурном типе $CaCu_5$. Nb, Ti, РЗМ — образуют бинарные гидриды, которые за счет изменения стехиометрии могут служить “водородными насосами” [9 – 11].

В результате внедрения водорода в алюминий-самариевую матрицу, согласно проведенному рентгенофазовому анализу на рентгеновском дифрактометре Дрон-3.0 (Cu K_α-излучение), кроме гидрида алюминия AlH_3, в растворах воды в ДМФ образуются и бинаргые соединения водорода с самарием следующего состава: SmH_3, SmH_2. Процесс внедрения идет с увеличением параметров кристаллической решетки алюминия.

Микротвердость (по Виккерсу) Al – Sm сплава составляла 45 кг/мм^2. Диффузия водорода в его кристаллическую структуру привела к увеличению значения микротвердости до 130, 96 кг/мм^2. Следовательно, рост твердости и хрупкости материала указывает на то, что диффузия водорода в металлической матрице идет с достаточно высокими скоростями и сопровождается ее новодороживанием, приводя к изменению структуры и свойств образующегося водород-накопителя.

Поверхность Al – Sm-электродов до воздействия магнитным полем состоит из крупных поликристаллов размером до 10 – 15 мкм. После воздействия магнитного поля поверхность становится мелкозернистой. Следовательно, обработка магнитным полем напряженностью $7{,}96\cdot10^4 – 2{,}39\cdot10^5$ А/м вызывает изменение структуры поверхности Al – Sm-электродов.

Обсуждение результатов

В [14] рассмотрено насколько механизмов влияния магнитного поля на механические характеристики металла при объемной плотности магнитной энергии $W_0 \cong 10^5 – 10^6$ Дж/м^3. Данная величина является основной для сравнения с другими энергетическими показателями процесса намагничивания, в частности: энергией магнитной анизотропии, энергией магнитострикции, энергией доменных стенок, энергией границ зерен, энергией дефектов и дислокаций. Сравнение плотностей этих видов энергии с плотностью магнитной энергии W_0 дает возможность выявить основные причины и механизм влияния магнитного поля на механические свойства. Основным процессом, который может привести к разрушению межзеренных (межблочных) границ, является процесс вращения однодоменных зерен. Если обозначить через r_3 радиус зерна, $h_{гр}$ — толщину его границы, $\gamma \approx e_{xy} \approx e_{xz} \approx e_{yz}$ — деформацию сдвига, то отношение максимальной энергии вращения к поверхностной энергии будет определяться формулой

$$\frac{W_0}{W_n} = \frac{B_i H_i r_3}{G\gamma^2 3h_{гр}}. \qquad (12)$$

При $B_i = 1$ Тл, $H_i = 10^6$ А/м, $\gamma^2 = 10^{-7}$, $h_{гр} = 10^{-5}$ м, $r_3 = 10^{-4}$ м, $G = 10^{10}$ Н/м^2 получается, что $W_0/W_n \approx 1$, то есть магнитная энергия вращения и энергия сдвига будут одного порядка.

Если заменить модуль сдвига G модулем Юнга, то W_0 и $W_п$ будут одного порядка при условиях углового рассогласования в несколько минут. Из формулы (12) видно, что решающее влияние на соотношение энергий оказывает величина углового сдвига γ между решетками зерен (фрагментов, блоков). Полученные данные говорят о высокой вероятности этого процесса, который, очевидно, является необратимым, так как связан с разрушением граничной структуры.

Другим аналогичным механизмом внутренних изменений структуры является разрушение границ зерен, блоков и фрагментов при движении доменных стенок. Давление, которое оказывает стенка на границу, определяется плотностью магнитной энергии в единице объема $W_0 = B_i H_i$. Оценка плотности упругой энергии границы определяется величиной $E_{гр} = G\gamma_0$, где γ_0 — угол разориентирования (деформация сдвига) решеток соседних зерен (субзерен, блоков); G — модуль сдвига [12]. Определение механизма влияния магнитного поля на структуру поверхности электродов должно быть предметом самостоятельного исследования.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, позволяет сделать заключение, что масса гидридсодержащего слоя при наложении магнитного поля с силовыми линиями направленными параллельно поверхности электрода увеличивается в 2,5 – 3 раза по сравнению с массой гидридсодержащего слоя, полученного без воздействия магнитного поля. В то же время при наложении магнитного поля с силовыми линиями, направленными перпендикулярно поверхности электрода масса гидридсодержащего слоя возрастает на порядок. Логично предположить, что механизм воздействия обработки поверхности электрода магнитным полем на количество внедренного водорода связан с увеличением площади сорбционной

поверхности и, как следствие, увеличением абсорбции водорода.

Вместе с тем, нахождение площади поверхности структуры, сформированной под воздействием магнитного поля является нетривиальной задачей и требует отдельного математического моделирования.

Выводы

Наложение магнитного поля с напряженностью от 10 до 30 кЭ приводит как к изменению размеров кристаллов материала основы, так и к изменению количества зародышей новой фазы в процессе электрохимического внедрения водорода.

Обработка Al – Sm электродов в магнитном поле перед внедрением водорода ведет к увеличению массы гидридсодержащего слоя. При этом, ориентация силовых линий магнитного поля относительно поверхности является фактором, влияющим на количество внедренного водорода.

Получены электроды с содержанием водородсодержащих ИМС ≈ 10 масс. %, что удовлетворяет требованиям Международного энергетического агентства (для мобильных систем хранения аккумулятор должен содержать водород по массе не менее 6,5 масс.%, а по объему — не менее 63 кг-м, аккумулятор должен содержать водорода не менее 5 масс.% и выделять его при температуре не выше 373 К). Данная система сопоставима по своим показателям с никелевыми и окисноникелевыми электродами, однако имеет более низкую себестоимость.

Литература

1. Ажажа В.М., Тихоновский М.А., Шепелев А.Г., Курило Ю.П., Пономаренко Т.А., Виноградов Д.В. Материалы для хранения водорода: анализ тенденций развития на основе данных об информационных потоках. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники, 2006, № 1, с. 145 – 152.
2. Петрий О.А., Левин Э.Е. Водородаккумулирующие материалы в электрохимических системах. Российский химический журнал, 2006, № 6, с. 115 – 119.
3. Тарасов Б.П. Металлогидридные системы обратимого хранения водорода. Сборник тезисов второго Международного симпозиума “Безопасность и экономика водородного транспорта” (IFSSEHT-2003). Альтернативная энергетика и экология. 2003, спец. выпуск, с. 38 – 39.
4. Коровин Н.В. Водородные топливные элементы. Состояние и проблемы. 7-я Международная конференция “Водородное материаловедение и химия углеродных материалов”, 2001, с. 928 – 929.
5. Борисенкова Н.В., Шалимов Ю.Н., Парфенюк В.И. Накопители водорода на основе гидридов никеля и алюминия. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология, 2011, т. 54, № 11, с. 131 – 135.
6. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее. Росс. хим. журнал, 2006, т. L, № 7, с. 5 – 18.
7. Назаров Р.С., Кущ С.Д. Водород-генерирующие материалы для источников водорода гидролизного типа. Альтернативная энергетика и экология, 2010, № 6 (86), с. 26 – 32.
8. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулирования водорода. Росс. хим. журнал, 2006, т. L, № 7, с. 34 – 48.
9. Вербецкий В.Н., Митрохин С.В. Гидриды интерметаллических соединений — синтез, свойства и применение для аккумулирования водорода. Альтернативная энергетика и экология, 2005, №10 (30), с. 41 – 61.
10. Алдошин С.М., Добровольский Ю.А., Тарасов Б.П. Разработка новых материалов для водородной энергетики. Альтернативная энергетика и экология, 2006, № 7 (39), с. 25 – 26.
11. Колачев Б.А., Шалин Р.Е., Ильин А.А. Сплавы — накопители водорода. М.: Металлургия, 1995, 384 с.
12. Чуриков А.В. К определению скорости коэффициента диффузии лития в интеркалируемых материалах. Электрохимическая энергетика, 2003, № 3, с. 124 – 131.
13. Придатко К.И., Чуриков А.В., Волгин М.А. Определение скорости диффузии лития импульсным потенциостатическим методом. Электрохимическая энергетика, 2003, № 4, с. 184 – 191.
14. Полетаев В.А., Потемкин Д.А. Энергетический анализ влияния магнитного поля на механические свойства стали. Вестник ИГЭУ, 2007, вып. 3, с. 1 – 4.

References

1. Azhazha V.M., Tikhonovsciyi M.A., Shepelev A.G., KuriloY.P., PonomarenkoT.A., Vinogradov D.V. Materialy dlya hraneniya vodoroda: analiz tendenciyi razvitiya na osnove dannyih ob informacionnyih potokah [Hydrogen storage materials: analysis of trends based on historical information flows]. *Voprosy atomnoyi nauki i tehniki Ser. Vakuum, chistyie materialy, sverhprovodniki — Problems of atomic science and technology Ser. Vacuum, clean materials, superconductors*, 2006, no. 1, pp.145 – 152.
2. Petriyi O.A., Levin E.E. Vodorodakkumuliruyuschie materialyi v electrochemicheskih systemah [Hydrogen Accumulation materials in electrochemical systems]. *Rossiyiskiyi khimicheskiyi zhurnal — Russian journal of general chemistry*, 2006, no. 6, pp. 115 – 119.
3. Tarasov B.P. Metallogidridnye sistemy obratimogo hraneniya vodoroda [Metal reversible hydrogen storage systems]. Abstracts of the Second International Symposium “Safety and Economy of Hydrogen Transport” (IFSSEHT-2003). Alternative Energy and Ecology, 2003, spec. issue, pp. 38 – 39.

4. Korovin N.V. Vodorodnye toplivnye elementy. Sostoyanie i problemy [Hydrogen fuel cells. State and problems]. 7-th International Conference "Hydrogen materials science and chemistry of carbon materials", 2001, pp. 928 – 929.
5. Borisenkova N.V., Shalimov Y.N., Parfenyuk V.I. Nakopiteli vodoroda na osnove gidridov nikelya i alyuminiya [hydrogen storage hydride nickel and aluminum]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniyi. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya — Proceedings of the higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology*, 2011, no. 11, pp. 131 – 135.
6. Tarasov B.P., Lototskiyi M.V. Vodorodnaya energetika: proshloe, nastoyaschee i vidy na buduschee [Hydrogen Energy: Past, Present and prospects for the future]. *Rossiyiskiyi khimicheskiyi zhurnal — Russian journal of general chemistry*, 2006, vol. L, no. 7, pp. 5 – 18.
7. Nazarov R.S., Kusch S.D. Vodorod-generiruyuschie materialy dlya istochnikov vodoroda hidroliznogo tipa [Hydrogen-generating materials for hydrogen sources such as hydrolysis]. *Alternativnaya energetika i ekologiya — Alternative energy and ecology*, 2010, no. 6 (86), pp. 26 – 32.
8. Tarasov B.P., Lototskiyi M.V., Yartys V.A. Problema khraneniya vodoroda i perespektivy ispolzovaniya gidridov dlya akkumulirovaniya vodoroda [The problem of hydrogen storage and prospects of hydrides for hydrogen storage]. *Rossiyiskiyi khimicheskiyi zhurnal — Russian journal of general chemistry*, 2006, vol. L, no. 7, pp. 34 – 48.
9. Nazarov R.S., Kusch S.D., Kravchenko et al. Vodorod-generiruyuschie materialy dlya istochnikov vodoroda hidroliznogo tipa [Hydrogen-generating materials for hydrogen sources hydrolytic type]. *Alternativnaya energetika i ekologiya — Alternative Energy and ekologiya*, 2010, no. 6 (86), pp. 26 – 32.
10. Aldoshin S.M., Dobrovolsky Yu.A., Tarasov B.P. Razrabotka novykh materialov dlya vodorodnoyi energetiki [Development of new materials for hydrogen energy]. *Alternativnaya energetika i ekologiya — Alternative energy and ecology*, 2006, no. 7 (39), pp. 25 – 26.
11. Kolachev B.A., Shalin R.E., Ilyin A.A. *Splavy — nakopiteli vodoroda* [Alloys — hydrogen accumulators], Moscow, Metallurgy Publ., 1995, 384 p.
12. Churikov A.V. K opredeleniyu skorosti koefficienta diffuzii litiya v interkaliruemykh materialakh [To determine the speed of the diffusion coefficient of lithium intercalate materials]. *Electrokhimicheskaya energetika — Electrochemical energy*, 2003, no. 3, pp. 124 – 131.
13. Prydatko K.I., Churikov A.V., Volgin M.A. Opredelenie skorosti diffusii litiya impulsnym potenciostaticheskim metodom [Determination of the rate of diffusion of lithium pulse potentiostatic method]. *Electrokhimicheskaya energetika — Electrochemical energy*, 2003, no. 4, pp. 184 – 191.
14. Poletaev V.A., Potemkin D.A. Energeticheskiyi analiz vliyaniya magnitnogo polya na mekhanicheskie svoystva stali [Energy analysis of the influence of magnetic field on the mechanical properties of the steel]. *Vestnik IGEU — Bulletin IGEU*, 2007, iss. 3, pp.1 – 4.

Статья поступила в редакцию 24.02.2015 г.

Маджуло Анна Сергеевна *— Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (413112 Саратовская область, г. Энгельс, ул. Амурская, д. 7), студент, специализируется в области функциональной гальванотехники. E-mail: thepsstu@mail.ru.*

Гоц Ирина Юрьевна *— Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (410062, г. Саратов, ул. Московское шоссе, д. 25, кв. 39), доцент, кандидат химических наук, специалист в области химических источников тока. E-mail: gozt2001@mail.ru.*

Нечаев Геннадий Гергиевич *— Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. (410050, г. Саратов, ул. Политехническая, 77), доцент, кандидат технических наук, специалист в области функциональных покрытий. E-mail: nechaevgg@rambler.ru.*

Кивокурцев Александр Юрьевич *— ОАО НПП "Алмаз" (410033, г. Саратов, ул. пр. 50 лет Октября, 101), заместитель начальника НПО-7 НПЦ "Электронные системы" АО НПП "Алмаз", кандидат технических наук, специалист в области магнитов и магнитных систем. E-mail: kivok60@yandex.ru.*

Influence of magnetic field on dimensional effects of aluminum electrodes modified by samarium and hydrogen, their electrochemical and physical and chemical parameters

A. S. Madzhulo, I. Yu. Gots, G. G. Nechaev, A. Yu. Kivokurtsev

Influence of intensity and power lines of a magnetic field on diffusive and kinetic characteristics of Al – Sm – H-electrodes are investigated. It is revealed that the increase in dispersion and consolidation of structure of Al – Sm of electrodes after endurance in a magnetic field leads to decrease in speed of process of a sorbtsiya of hydrogen in 2 – 4 times. Results of calculation show that at an arrangement of power lines of a magnetic field at an angle in 45° and perpendicular to the plane of samples the increase in tension of a field leads to increase in number of germs and according to reduction of their weight and the size, i.e. promotes formation of more melkodispersny deposit.

***Keywords**:* Al – Sm-electrodes, interaction with hydrogen, organic solvents, aluminum, a samarium.

***Madzhulo Anna** — Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A. (413112 Saratov Region, Engels, st. Amurskaya, dep. 7), student, an expert in field of functional electroplating, e-mail: thepsstu@mail.ru.*

***Gotz Irina** — Engels Technological Institute (branch) of Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A.(410062, Saratov, st. Moscow highway, dep 25, app. 39), Associate professor, PhD (Chem), an expert in chemical current sources, e-mail: gozt2001@mail.ru.*

***Nechaev Gennady** — Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A.(410050, Saratov, st. Polytechnique, 77), Associate professor, Ph.D. (Tech), expert in the field of functional coatings, e-mail: nechaevgg@rambler.ru.*

***Kivokurtsev Alexander** — JSC Diamond (410033, Saratov, st. pr. 50 yeats of October, 101), deputy chief of SPD-7 RPC "Electronic Systems", Ph.D. (Tech), an expert of magnets and magnetic systems, e-mail: kivok60@yandex.ru.*