

*Is dedicated to the 75th Anniversary
of the Donetsk Region*

HYDROGEN ECONOMY AND HYDROGEN TREATMENT OF MATERIALS

PROCEEDINGS

of the Fifth International Conference

“HTM-2007”

Donetsk, May 21–25, 2007

Volume 2



**ВОЗМОЖНОСТЬ
доказана
делом**

Donetsk – 2007

КИНЕТИКА ИНДУЦИРОВАННЫХ ВОДОРОДОМ ДИФФУЗИОННЫХ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВЕ $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$

В.А. Гольцов¹, Е.В. Додонова^{1}, С.Б. Рыбалка¹, К.П. Скоков²,
Ю.Г. Пастушенков²*

¹ – Донецкий национальный технический университет, ул. Артема, 58,
Донецк 283000, Россия

² – Тверской государственный университет, ул. Желябова, 33,
Тверь 170000, Россия

Annotation

Kinetics of the hydrogen-induced direct and reverse phase transformations in $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ alloy was investigated. It was shown that an decreasing of temperature leads to significant slowing down of the direct and reverse phase transformations evolution. It was determined that these phase transformations proceed by mechanism of nucleation and growth. It was built isothermal kinetic diagrams of both the direct and reverse phase transformations and established the activation energy values for these hydrogen-induced phase transformations.

1. Введение

Водородная обработка материалов – новая область материаловедения, основанная на специфических особенностях водорода и вызываемых им в материалах фазовых превращениях [1–4].

Практическое применение индуцированных водородом прямых и обратных фазовых превращений в магнитотвердых сплавах редкоземельных и переходных металлов типа $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ и $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ позволяет значительно улучшить их структуру и магнитные свойства [3].

Характерной особенностью сплавов такого типа является то, что при насыщении водородом они становятся термодинамически нестабильными. Соответственно, при повышенных температурах они претерпевают фазовые превращения: распадаясь на гидрид редкоземельного компонента и α -фазу железа (а в случае сплава $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ образуется также Fe_2B). Эвакуация водорода из распавшегося сплава приводит к развитию обратного фазового превращения. В результате развития прямого и обратного индуцированных водородом фазовых превращений в сплавах указанного типа формируется дисперсная структура, а их магнитные свойства улучшаются.

В настоящей работе была поставлена задача изучить кинетику индуцированных водородом фазовых превращений (ИВФП) в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$, используя методику, ранее разработанную для сплавов типа $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ [2,4].

* автор-корреспондент, E-mail: heldon@donapex.net

2. Методика и материалы

Исследование кинетики прямых и обратных фазовых превращений проводили в ДонНТУ на специальной водородно-вакуумной установке [1,2,4,], позволяющей реализовать магнитометрический метод Садикова [5].

В основе регистрации выделяющихся в ходе фазовых превращений новых фаз лежит тот факт, что в исследуемом температурном интервале (320–750°C) исходный сплав $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ парамагнитен ($T_c = 254^\circ\text{C}$), а фаза α -Fe является ферромагнитной. Таким образом, по увеличению или уменьшению количества ферромагнитной фазы регистрировали развитие фазовых превращений в зависимости от времени при различных температурах: $T = \text{const}$.

Сплав $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ был выплавлен в лаборатории кафедры магнетизма физико-технического факультета Тверского государственного университета из чистых компонентов. Дробление слитков выплавленного сплава осуществляли в шаровой мельнице до размеров частиц 50–600 мкм.

В водородо-вакуумную установку загружали порошок исследуемого сплава массой 1,25 г и нагревали его в вакууме (~ 1 Па) со скоростью 80°C/мин до выбранной температуры из интервала 320–750°C. После установления изотермических условий в рабочую камеру установки подавали водород под давлением 0,1 МПа. В процессе изотермической выдержки образца имело место развитие прямого фазового превращения. По завершении прямого ИВФП водород откачивали из рабочей камеры установки, и в образце развивалось обратное ИВФП. Полученные первичные данные использовали далее для построения нормированных кинетических кривых.

Рентгеноструктурный анализ исходного и обработанного в водороде сплава $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ проводили на дифрактометре ДРОН-3М в излучении $\text{FeK}\text{-}\alpha$.

3. Результаты и их обсуждение

Результаты исследования кинетики прямого фазового превращения, индуцированного водородом в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$, обобщены на рис. 1. Как видно из рис. 1а, с понижением температуры от 750 до 330°C развитие исследуемого прямого фазового превращения сильно замедляется, а при 320°C оно вообще не развивается за время эксперимента.

Рентгенофазовые исследования, выполненные после проведения прямого превращения при 320°C, подтвердили, что при данной температуре прямое фазовое превращение не развивается за время эксперимента, и фазовый состав сплава не изменяется по сравнению с исходным [6]. Необходимо особо отметить, что с уменьшением температуры имеет место закономерное увеличение продолжительности инкубационного периода превращения.

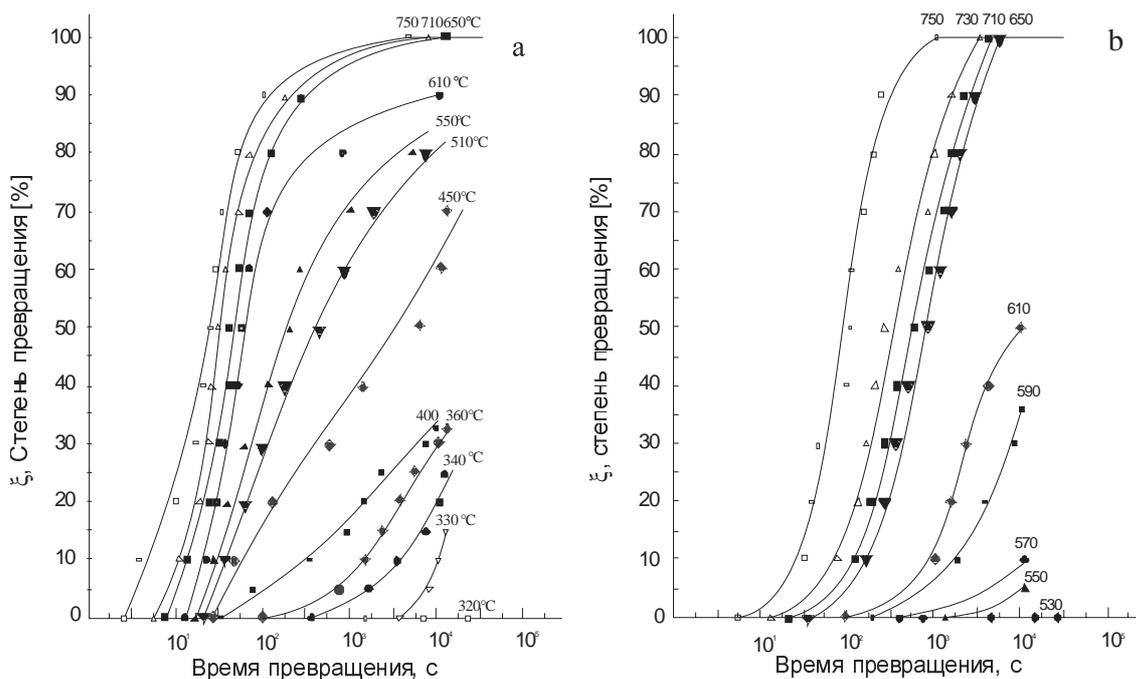


Рис. 1. Кинетические кривые индуцированных водородом прямого (а) и обратного (b) фазовых превращений в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ при температурах 750–320°C, давлении водорода 0.1 МПа (а) и в вакууме 1 Па (b).

Результаты исследования кинетики обратного фазового превращения, индуцированного водородом в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$, обобщены на рис. 1b. Как видно из рис. 1b, с понижением температуры от 750 до 550°C развитие обратного фазового превращения сильно замедляется, и при 530°C оно не развивается за время эксперимента. Необходимо также отметить, что, как и в случае прямого превращения, с уменьшением температуры превращения имеет место закономерное увеличение продолжительности инкубационного периода превращения (рис. 1b).

Рентгенофазовые исследования, выполненные после проведения обратного превращения, подтвердили, что распавшиеся фазы полностью рекомбинируют в исходную фазу $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$.

Важно отметить, что результаты настоящей работы хорошо согласуются с данными работ [2,4], где было обнаружено, что в сплаве $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{V}$ при понижении температуры прямые и обратные индуцированные водородом фазовые превращения также сильно замедляются.

Анализ механизма изучаемых превращений осуществляли в рамках кинетической теории фазовых превращений Джонсона–Мэла–Аврами [7], согласно которой степень развития фазового превращения ξ описывается следующим выражением:

$$\xi = 1 - \exp(-kt^n), \quad (1)$$

где t – время превращения, а k и n – кинетические константы.

В соответствии с теорией [7], значения кинетической константы n , найденные из экспериментальных данных, дают возможность качественно оценить наиболее вероятные механизмы превращения.

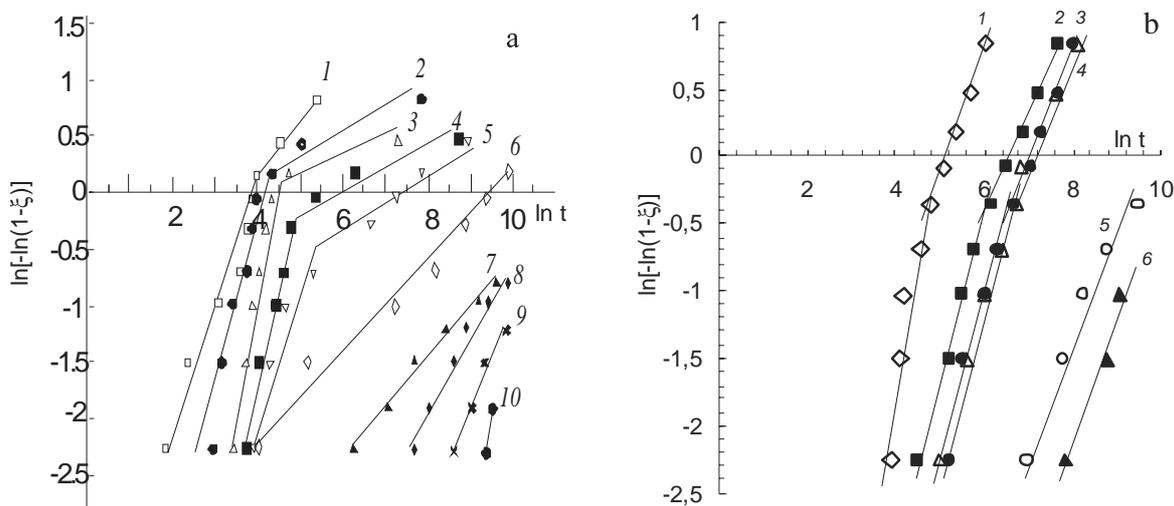
На рис. 2 представлены зависимости $\ln[-\ln(1-\xi)]$ от $\ln t$ для описанных выше индуцированных водородом прямых и обратных фазовых превращений в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$. Как видно из рис. 2, полученные экспериментальные результаты хорошо аппроксимируются прямыми линиями.

Рассчитанные значения n для прямого превращения оказались равными: $n_1 = 0,69-2,02$, а $n_2 = 0,11-0,39$, (где n_1 – тангенс угла наклона зависимости, описывающей степени превращения от 10 до 60% превращения, n_2 – тангенс угла наклона зависимости, описывающей степени превращения от 60 до 90% превращения). Для обратного превращения были получены следующие значения коэффициентов: $n_1 = 0,76-1,89$, а $n_2 = 0,78-0,93$.

Согласно классификации Дж. Кристиан [7], такие значения n характерны для превращений с диффузионно-контролируемой скоростью роста центров новой фазы. Таким образом, можно полагать, что исследуемые фазовые превращения развиваются по механизму зарождения и роста.

Далее, построив зависимость $\ln t_\xi$ от $1/T$ [7], рассчитали значения эффективной энергии активации развития исследуемых превращений.

Оказалось, что значения энергии активации прямого и обратного превращения составляют 120–160 кДж/моль и 118–199 кДж/моль, соответственно. Указанные величины энергий активации ИВФП в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ хорошо согласуются с энергией активации самодиффузии атомов железа



В

Рис. 2. Зависимость $\ln[-\ln(1-\xi)]$ от $\ln t$ для индуцированных водородом прямых (а) и обратных (б) фазовых превращений в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ при температурах превращения: (а): 1–750, 2 – 650, 3 – 610, 4 – 570, 5 – 510, 6 – 450, 7 – 400, 8 – 360, 9 – 340, 10 – 330°C; (б): 1 – 750, 2 – 730, 3 – 710, 4 – 650, 5 – 610, 6 – 590°C.

α -фазе железа (196–306 кДж/моль) [8]. Таким образом, можно считать установленным, что исследуемые фазовые превращения, индуцированные водородом в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$, контролируются взаимной диффузией компонентов сплава.

4. Выводы

1. Экспериментально установлено, что с уменьшением температуры развитие прямых и обратных индуцированных водородом фазовых превращений в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ сильно замедляется, а при температурах ниже некоторой критической (320°C для прямых и 530°C для обратных превращений) исследуемые фазовые превращения не развиваются.

2. Анализ в рамках кинетической теории фазовых превращений показал, что индуцированные водородом прямые и обратные фазовые превращения в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ развиваются по механизму зарождения и роста.

3. Показано, что кинетика фазовых превращений в исследованном интервале температур контролируется взаимной диффузией атомов компонентов сплава.

Литература

1. Progress in Hydrogen Treatment of Materials / Edited by V.A. Goltsov.– Donetsk: Coral Gables, 2001. – 544 p.
2. Fundamentals of the HDDR treatment of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ type alloys / S.B. Rybalka, V.A. Goltsov, V.A. Didus, D. Fruchart // J. Alloys & Comp. – 2003. – Vol. 356–357. – P. 390–394.
3. Microstructural evolutions during HDDR phenomena in $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ compounds / M. Okada, K. Saito, H. Nakamura, S. Sugimoto, M. Homma // J. Alloys & Comp. – 1995. – Vol. 231. – P. 60–65.
4. Goltsov V.A., Rybalka S.B., Volkov A.F. Kinetics of the hydrogen-induced direct and reverse diffusive phase transformation in industrial alloy of $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ type // Functional Materials. – 1999. – Vol. 6, № 3. – P. 326–330.
5. Лившиц Б.Г. Физические свойства черных металлов и методы их испытаний. – М.–Л.: ОНТИ, 1937. – 253 с.
6. Додонова Е.В., Скоков К.П., Пастушенков Ю.Г. Кинетика прямых индуцированных водородом фазовых превращений в сплаве $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ // Сборник научных трудов ДонНТУ, серия “Металлургическая”. 2005. – № 2. – С. 194–200.
7. Кристиан Дж. Теория фазовых превращений в металлах и сплавах. – М.: Мир, 1978. – 806 с.
8. Герцрикен С.Д., Дехтяр И.Я. Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе. – М.:ГИФМЛ, 1960. – 564 с.

Содержание

	Стр.
Соучредители Пятой Международной конференции “Водородная экономика и водородная обработка материалов”	5
Международный почетный комитет	6
Международный научно-организационный комитет – МНОК	6
Международный программный комитет	7
Донецкий организационный комитет	8
Комитет поддержки	8
От Донецкой областной государственной администрации <i>Хохотва А.И.</i>	10
Добро пожаловать! <i>Минаев А.А.</i>	12
Greetings from the IANE President <i>Veziroğlu T.N.</i>	14
Участникам Пятой Международной конференции “Водородная экономика и водородная обработка материалов” <i>Гусев Б.В.</i>	16
От Инженерной академии Украины <i>Васильев А.И.</i>	18
Мировое водородное движение и водородное сообщество стран СНГ – исторический аспект и современный этап развития (Вступительное слово) <i>Гольцов В.А.</i>	20
Направление 1. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МИРОВОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА ПО ВЕКТОРУ “ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА → ВОДОРОДНАЯ ЭКОНОМИКА → ВОДОРОДНАЯ ЦИВИЛИЗАЦИЯ”	
Современный этап развития водородной экономики <i>Гольцова Л.Ф.</i>	27
Концепция водородной цивилизации будущего: философский и гуманитарно–культурный базис <i>Гольцов В.А.</i>	37
	937

Оценка конкурентоспособности технологий централизованного производства водорода в России в период до 2030 года <i>Петров В.Ю.</i>	57
Федеральное государственное унитарное предприятие “Научно-производственный комплекс “СУПЕРМЕТАЛЛ” – соучредитель и генеральный спонсор Пятой Международной конференции “ВОМ-2007”	63
Василий Васильевич Васекин – Руководитель ФГУП “Научно-производственный комплекс “НПК “Суперметалл”	65
Памяти выдающегося металловеда и Человека с большой буквы. Евгений Исаевич Рытвин – профессор, Почетный доктор Донецкого национального технического университета	67
Новая ключевая роль платиновых металлов в становлении водородной экономики (по итогам работы Второй международной конференции “Берлин–ПМ’2006”) <i>Васекин В.В., Гольцов В.А., Гольцова Л.Ф., Ястребов В.А., Морозова Л.Э., Спортсмен Л.А.</i>	69
Генеральный информационный спонсор ВОМ-2007 – “Терминал”	74
Коммерческий еженедельник нефтегазовой отрасли “Нафтопродукты”	76
Scenarios for the roles of hydrogen in a future energy system based on renewable energy <i>Sørensen Bent</i>	77
Technoeconomic assessment of hydrogen fuel chain <i>Manish S., Banerjee R.</i>	84
GENHSTOK: more pure hydrogen production with CO ₂ capture <i>Marty P., Grouset D., Lecoq S.</i>	97
Economical solar hybrid hydrogen production <i>Tamura Y.</i>	105
Alkaline fuel cells – part of a future hydrogen energy economy <i>Duerr M., Gair S., Cruden A., McDonald J.</i>	112
Fuel cell research, development and demonstration activities in Singapore – an update <i>Chan S.H., Ho H.K.</i>	122
Economic feasibility of producing hydrogen using excess electricity from wind turbines on the coastal belt of Balochistan, Pakistan <i>Ilyas S.Z., Veziroğlu T.N., Nasir S.M.</i>	134

Hydrogen production by methane decomposition: is fluidized bed reactor a suitable option? <i>Ruoppolo G.</i>	141
Водородная энергетика на основе сероводородных ресурсов Черного моря <i>Неклюдов И.М., Борц Б.В., Полевич О.В., Ткаченко В.И., Шиляев Б.А.</i>	149
Possibilities for hydrogen production from H ₂ S and storage in the Black Sea <i>Haklidir M., Tut Haklidir F.S.</i>	154
Получение водорода из акваторий морских вод, оснастка и оборудование для его утилизации <i>Дубиковский Л.Ф., Дюбова Л.Д., Чернов Р.В., Адамович В.Н., Охрименко Г.М.</i>	162
Концептуальные основы производства, аккумулирования, транспортирования и безопасного использования водородных энергоресурсов <i>Свиденко В.Н., Укуев Б.Т., Фролов И.О., Орунтаев Н.О., Асанов А.А., Акматов А.К., Коган В.И., Омурзаков Т.Ж.</i>	167
Производство водорода пиролизом природного газа в жидком высокотемпературном теплоносителе <i>Тарасов В.Ю., Гликин М.А., Гликина И.М.</i>	171
CFD approach to analyze transport phenomena coupled chemical reactions relevant for methane reformers <i>Yuan J., Lv X.R., Sundén B., Yue D.</i>	176
Электролизные установки высокого давления. Современный опыт и прогноз на будущее <i>Глухих И.Н., Зеленичиков Н.И., Старостин А.Н., Соколов Б.А., Терентьев И.П., Чернов С.В., Челябин В.Ф., Щербаков А.Н.</i>	184
Development of Pd-coated ceramic electrodes in hybrid sulfur cycle <i>Kawamura H., Mori M., Hashimoto S.-I., Uotani M.</i>	189
Micro-scale modeling analyses for advanced design of solid oxide steam electrolyser to enhance hydrogen production <i>Ni M., Leung M.K.H., Leung D.Y.C.</i>	199
Возможность получения водорода из ультрадисперсных порошков алюминия <i>Монастырев Н.К., Прихна Т.А., Таланчук П.М., Шекера Р.В.</i>	207

Плазмохімічне перероблення сірководню з одержанням водню та спеціальних сортів сірки <i>Срібний В.М., Яворський В.Т., Знак З.О.</i>	212
Особенности эффектов тепловыделения в условиях импульсного электролиза <i>Шалимов Ю.Н., Харченко Е.Л.</i>	217
Влияние фонового тока на процессы тепловыделения в электрохимических системах <i>Шалимов Ю.Н., Харченко Е.Л.</i>	222
Combustion strategies for PFI hydrogen IC engines <i>Verhelst S., Sierens R.</i>	226
Thermal efficiency characteristics of homogeneous charge spark ignition engines fuelled with hydrogen <i>Shudo T.</i>	239
Использование теплоты низкого температурного потенциала в металлгидридном энергопреобразователе <i>Соловей В.В., Черная Н.А.</i>	247
Молодежное водородное движение: традиции, создаваемые сегодня <i>Гольцова М.В., Лозовская А., Маковская Я.</i>	252
В России начинается водородный всеобуч <i>Григорьева Н.А.</i>	255
Направление 2. ПЛАТИНОВЫЕ И РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ В ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, ТЕХНОЛОГИЯХ ХРАНЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА	
Light complex hydrides: novel promising and potential H ₂ -storage materials <i>Bououdina M.</i>	259
Recent achievements on materials for hydrogen storage in solid state <i>Palade P., Lo Russo S., Principi G.</i>	269
Organic chemical hydrides for hydrogen storage on the basis of superheated liquid-film concept <i>Hodoshima S., Shono A., Saito Y.</i>	278
Сенсорные контейнеры водорода <i>Колешко В.М., Чашинский А.С., Хмурович Н.В.</i>	286

Potential applications of amorphous/metallic glassy alloys as Hydrogen Permeable Membrane for hydrogen production and bipolar plate for PEFC	
<i>Yamaura S.-I., Yokoyama M., Matsuura M., Kimura H., Inoue A.</i>	291
Разработка и кинетические характеристики катодных электрокатализаторов для среднетемпературных водородно-воздушных топливных элементов с фосфорнокислым электролитом	
<i>Загудаева Н.М., Тарасевич М.Р., Малеева Е.А.</i>	298
Кобальтсодержащие катодные катализаторы PdCo и PtCo для водородо-воздушных топливных элементов	
<i>Капустина Н.А., Тарасевич М.Р., Богдановская В.А.</i>	303
Получение и свойства неспекаемых порошковых водородных электролитов на основе бета-глиноземов	
<i>Прохоров И.Ю., Акимов Г.Я.</i>	308
Сравнительные исследования электрокатализаторов на основе палладия и платины для водородного электрода систем с твердым полимерным электролитом	
<i>Григорьев С.А., Илюхина Л.И., Middleton P.H., Saetre T.O., Чернышова О.В., Фатеев В.Н.</i>	312
Оптимизация коллекторов тока для электролизеров воды с ТПЭ	
<i>Григорьев С.А., Волобуев С.А., Баранов И.Е., Millet P., Фатеев В.Н.</i>	317
Electrical analogies for modeling metal–hydrogen sorption reactions	
<i>Millet P., Lebouin C., Grigoriev S., Guymont M.</i>	322
Разработка и оптимизация МЭБ на основе ПБИ мембран	
<i>Тарасевич М.Р., Модестов А.Д., Емец В.В.</i>	327
Исследование стабильности твердооксидных протон-проводящих электролитов ТЭ	
<i>Хромушин И.В., Кадыржанов К.К., Жотабаев Ж.Р., Аксенова Т.И., Мунасбаева К.К., Корниенко П.А.</i>	332
Improving hydrogen storage properties of magnesium based alloys by equal channel angular pressing	
<i>Skripnyuk V.M., Rabkin E., Estrin Y., Lapovok R.</i>	337
Magnesium-based hydrogen storage alloys prepared by hydriding combustion synthesis	
<i>Li L., Zhu Y., Liu X., Gu H.</i>	345

- Tuned catalysts for improved hydrogen sorption properties of ball-milled MgH₂
Rougier A., Bhat V., Recham N., Oumellal Y., Kandavel M., Aymard L., Nazri G-A., Tarascon J-M. 353
- The effect of Mn substitution on the hydrogen storage properties in Ti–V–Cr–based alloy
Lee T.-B., Choo K.-Y., Jeong H.-D., Sung J.-S., Kim T.-H. 360
- A study on the hydrogen evolution by the thermal decomposition of Ti doped magnesium alanate
Jeong H., Choo K.-Y., Sung J.-S., Kim T.-H. 365
- Использование платиновых металлов для улучшения эксплуатационных характеристик анодов металлгидридных аккумуляторов
Иванов С.С., Колесниченко И.И., Гафарова О.А., Тутаева А.Н., Пшеничников А.Г., Мичри А.А., Мордовин В.П. 370
- Структурное состояние и водородосорбирующие свойства соединений на основе Ti–Zr
Рудь А.Д., Лахник А.М., Мельниченко В.П., Зелинская Г.М. 375
- Водородоаккумулирующие материалы на основе Mg–C нанокмполитов
Рудь А.Д., Лахник А.М., Иванченко В.Г., Уваров В.Н., Школа А.А., Дехтяренко В.А., Иващук Л.И., Кускова Н.И. 380
- Коррозия и электрохимические свойства сплавов систем Mg–Cu и Mg–Cu–Y после водородной обработки в условиях катодной поляризации
Швец В., Лавренко В., Хомко Т., Савяк М., Талаш В., Геберт А. 385
- Возможность использования сплавов, полученных методом быстрой закалки, для накопления водорода
Чернов И.И., Калинин Б.А., Баранов В.Г., Исаенкова М.Г., Севрюков О.Н. 390
- Термическое разложение и термодинамические характеристики некоторых борогидридов лантанидов цериевой подгруппы
Мирсаидов У.М., Гафуров Б.А., Абдуллоева Ф.И., Исломова М.С., Бадалов А.Б. 394
- Создание и исследование платиновых наноструктурированных катализаторов для топливных элементов
Неклюдов И.М., Борц Б.В., Гугля А.Г., Василенко Р.Л. 398

Влияние облучения на катализ и диффузию водорода в платине <i>Неклюдов И.М., Борц Б.В., Гугля А.Г., Малява К.А., Марченко И.Г., Рудницкий А.В.</i>	403
Исследование оптического поглощения модифицированной атомарным водородом ЦТС-керамики <i>Луцин С.П., Точилин Д.С.</i>	408
Оценка перспектив применения покрытий сплавами для электрохимических систем водородной энергетики <i>Ведь М.В., Сахненко Н.Д.</i>	413
Особенности влияния бора на наводороживание и коррозионно- электрохимическое поведение никелевых пленок <i>Звягинцева А.В.</i>	418
Особенность взаимодействия водорода с гальваническими покрытиями на основе хрома и никеля <i>Звягинцева А.В., Харченко Е.Л., Шалимов Ю.Н.</i>	423
Особенности взаимодействия водорода с гальваническим палладием <i>Битюцкая Л.А., Ситников А.В., Соколов Ю.В., Спиридонов Б.А., Федянин В.И.</i>	428
Электрокаталитическая активность никелевых композиционных покрытий по отношению к водородной реакции <i>Дроздович В.Б., Жданок С.А., Кубрак П.Б., Жарский И.М.</i>	432
Особенности электрохимической конверсии кислых и щелочных растворов этанола на платиновом электроде <i>Дроздович В.Б., Кубрак П.Б., Жданок С.А., Жарский И.М.</i>	437
Водородсорбционные и электрохимические свойства композиционных электролитических покрытий, содержащих углеродные наноматериалы, при обработке потоком низкоэнергетического водорода <i>Дроздович В.Б., Савицкий А.А., Кубрак П.Б., Паньков В.В., Жданок С.А.</i>	442
Development of competitive nanotechnologies for photocatalytic splitting of water and fabrication of nano-sized photocatalysts <i>Khoperia T.N., Zedginidze T.I., Kvavadze K.A., Nadareishvili M.M.</i>	447
Фотокаталитическая активность мезопористого композита TiO ₂ /Ag в реакции выделения водорода из водно-спиртовых смесей <i>Коржак А.В., Раевская А.Е., Строюк А.Л., Ермохина Н.И.,</i>	943

<i>Литвин В.И., Бухтияров В.К., Капитанчук Л.М., Смиян О.Д., Манорик П.А., Ильин В.Г., Кучмий С.Я.</i>	452
Имитационные исследование взаимодействия водорода с графитом FR-479	
<i>Чихрай Е.В., Тажобаева И.Л., Шестаков В.П., Кульсартов Т.В., Афанасьев С.А., Елишенков А.Б., Арюткин К.Н.</i>	457
Направление 3. ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	
Водород в наноструктурах <i>Андреевский Р.А.</i>	465
Водородная обработка материалов: исторический аспект и теоретические основы (обзор современного состояния) <i>Ильин А.А., Гольцова М.В.</i>	470
Экспериментальное наблюдение и анализ солитоноподобного движущегося выпучивания на поверхности сплава палладий–водород <i>Жиров Г.И., Гольцова М.В.</i>	475
Interaction of hydrogen with iron-based engineering materials <i>Gavriljuk V.G., Shyvanyuk V.N.</i>	491
Влияние легирующих элементов на обусловленное водородом $\gamma \rightarrow \epsilon$ фазовое превращение в аустенитных сталях <i>Шиванюк В.Н., Фокт Ж., Гаврилюк В.Г.</i>	496
Математическое моделирование водородоупругого эффекта замедления диффузионных процессов в системах металл–водород <i>Глухова Ж.Л., Гольцов В.А., Щеголева Т.А., Любименко Е.Н., Котельва Р.В.</i>	501
“In situ” investigation of hydrogen effect on ferritic stainless steel <i>Lublińska K., Szummer A., Kurzydłowski K.J.</i>	507
Hydrogen-induced phase transformation processes in $\text{LaNi}_5\text{-H}_2(\text{g})$ systems <i>Millet P., Lebouin C., Grigoriev S., Guymont M.</i>	512
Effects of hydrogen on electrical and optical properties of ZnO <i>Hayashi Y., Arita M., Lee C.G.</i>	517
Hydrogen species in CeNi_1O_Y and $\text{CeAl}_{0.5}\text{Ni}_1\text{O}_Y$ mixed oxides catalytic hydrogen reservoirs <i>Jalowiecki-Duhamel L., Debeusscher S., Jobic H., Payen E.</i>	524

Влияние водорода на процесс кристаллизации магнитно-мягких быстрозакаленных сплавов на основе железа <i>Скрябина Н.Е., Ладьянов В.И., Fruchart D.</i>	531
Кинетика фазовых превращений обусловленных введением водорода (дейтерия) в псевдобинарные сплавы TiNi–TiCu <i>Скрябина Н.Е., Fruchart D., Cagnon L., Шеляков А.В.</i>	536
Механоводородная обработка титановых сплавов при черновом точении <i>Колачев Б.А., Егорова Ю.Б.</i>	541
Водородная технология компактирования титановых гранул <i>Шевченко В.В., Низкин И.Д., Мальков А.В., Лукьянова Е.В.</i>	546
Интенсифицирующее действие химически-активных компонентов, как источников создания технологической водородной среды, на сьем титановых сплавов синтетическими алмазами в свободном и полимер-связанном состояниях <i>Чалый В.Т., Шило А.Е., Шатохин В.В.</i>	551
Методика получения упрочненного β-гидрида палладия и возврат его механических свойств при отжиге в водороде. <i>Гляков Д.А., Гольцова М.В., Жиров Г.И.</i>	556
Кинетика дегазации водородофазонаклепанного гидрида палладия при вылеживании на воздухе <i>Жиров Г.И., Новодевиченская Е.В., Гольцова М.В.</i>	561
Применение водорода для легирования доменного чугуна <i>Афанасьев В.К., Масляев М.В., Толстогузов В.Н.</i>	566
Применение нового способа газовой обработки расплава для повышения свойств промышленных силуминов <i>Афанасьев В.К., Горшенин А.В., Попова М.В., Слюняева Е.В.</i>	568
Особенности влияния водорода и азота на свойства сплавов алюминий–цирконий и алюминий–хром <i>Афанасьев В.К., Горшенин А.В., Попова М.В.</i>	572
Водород – легирующий элемент эвтектических сплавов – газаров <i>Карнов В.Ю., Шаповалов В.И., Карнов В.В.</i>	577
Физико-механические свойства газаров <i>Карнов В.В., Карнов В.Ю., Шаповалов В.И.</i>	581
Фазові перетворення у системі $La_{1-x}Nd_xNi_{3,5}Al_{1,5}-H_2$ <i>Тростянчин А.М., Булик І.І., Тростянчин І.В., Мудрий С.І., Давидов В.М.</i>	586
	945

- Индукцированный водородом фазовый распад сплавов RFe_2 :
кинетические особенности и модель явления
Васильев А.Г., Артеменко Ю.А., Гольцов В.А. 591
- Кинетика индуцированных водородом диффузионных фазовых
превращений в сплаве Sm_2Fe_{17}
*Гольцов В.А., Додонова Е.В., Рыбалка С.Б., Скоков К.П.,
Пастушенков Ю.Г.* 596
- Водородная деградация сцинтилляционных кристаллов $ZnSe(X)$
*Гальчинецкий Л.П., Гринёв Б.В., Старжинский Н.Г.,
Дульфан А.Я., Катрунов К.А.* 601
- Исследования процессов интеркалирования водорода в слоистые
кристаллы $InSe$ и $GaSe$
*Жирко Ю.И., Ковалюк З.Д., Кладько В.П., Трачевский В.В.,
Шановалова И.П., Ворсовский А.Л.* 606
- Спекание железоборидных композиционных материалов в среде
водорода
*Черниенко В.В., Граменицкий В.А., Шевцов С.М.,
Тигарев В.М.* 611
- Взаимодействие водорода с цирконием в двухслойной системе
 $Pd-Zr$
*Глазунов Г.П., Ажажа В.М., Андреев А.А., Барон Д.И.,
Волков Е.Д., Неклюдов И.М., Свинарченко А.П.* 616
- Влияние водородной обработки на магнитные свойства
наноконпозиционных порошков ферромагнетиков
биомедицинского назначения
Кущевская Н.Ф. 622
- Использование водорода как восстановителя при получении
наноконпозиционных ферромагнитных порошков
биомедицинского назначения
Кущевская Н.Ф., Кущевский А.Е. 627
- Выделение водорода и дейтерия из циркониевых сплавов с
добавками иттрия
*Ажажа В.М., Лавриненко С.Д., Пилипенко Н.Н.,
Толстоуцкая Г.Д., Ружицкий В.В., Бобров Ю.П.,
Дмитренко А.Е., Копанец И.Е.* 631
- Исследование процессов сорбции и десорбции водорода сплавом
 $Zr_{0,8}Ti_{0,2}Mn_{0,74}Fe_{1,26}$
Ажажа В.М., Виноградов Д.В., Колобродов В.Г., Тихоновский М.А. 636

Влияние водорода на межатомное взаимодействие в железе <i>Теус С.М., Шанина Б.Д., Гаврилюк В.Г.</i>	641
Нейросетевое моделирование параметров системы металл–водород <i>Сахненко Н.Д., Желавский С.Г., Ведь М.В.</i>	646
Массоперенос водорода в алюминии и сплавах на его основе <i>Чернега Д.Ф.</i>	651
Вырождение водорода в металлах <i>Смиян О.Д.</i>	655
Взаимодействие водорода с металлами <i>Гречихин Л.И.</i>	660
Surface reaction and transport kinetics of hydrogen through palladium-based membranes under co-existing gas with hydrogen atmospheres <i>Unemoto A., Hirai N., Kaimai A., Sato K., Otake T., Yashiro K., Mizusaki J., Kawada T., Tsuneki T., Shirasaki Y., Ota Y., Yasuda I.</i>	664
Вплив умов наводнювання на коефіцієнт дифузії водню в металах V групи <i>Бачинський Ю.Г., Мохун С.В., Прокопюк В.А., Цибуляк М.І.</i>	671
Моделирование процесса проникновения водорода через металлическую мембрану при его накоплении в приемном объеме <i>Лобко В.Н.</i>	675
Оцінка вмісту водневої компоненти у ферромагнітних матеріалах <i>Іваницький Я.Л., Бухало О.П., Гвоздюк М.М., Гембара О.В.</i>	680
Теоретичні основи неруйнівного методу оцінки ступеня наводнювання ферромагнітних елементів конструкцій <i>Іваницький Я.Л., Гембара О.В., Чепіль О.Я., Гвоздюк М.М.</i>	685
Электрофизические свойства аморфных гидрированных пленок кремний–германий ($a - Si_{1-x}Ge_x : H$) <i>Наджафов Б.А.</i>	690
Получение пленок аморфного гидрированного карбид-кремния ($a - Si_{1-x}C_x : H$) для фотоэлектрических преобразователей ($x = 0-1$) <i>Наджафов Б.А.</i>	693
Компьютерное моделирование процессов хемосорбции водорода при структурно-фазовых превращениях в поверхностях и объемах кластеров переходных металлов <i>Полухин В.А., Ватолин Н.А., Белякова Р.М.</i>	698

<p>Диаграммы систем Au–Ge–Sb, Ga–In–Sn, Ag–Cu–Ni с кинематическими поверхностями <i>Луцык В.И., Зеленая А.Э., Зырянов А.М., Нефедов Ю.Ю.</i></p>	703
<p>Влияние давления водорода на его растворимость в металлах <i>Смирнов Л.И., Щеголева Т.А.</i></p>	708
<p>Экспериментальная установка для исследования формоизменения стальных образцов при электролитическом насыщении водородом <i>Ветчинов А.В., Глухова Ж.Л., Щеголева Т.А.</i></p>	713
<p>Водородо–вакуумная установка для изучения формоизменения палладиевой пластины под воздействием водорода <i>Глухова Ж.Л., Любименко Е.Н.</i></p>	716
<p>“Деформация и разрушение материалов”. Научно-технический и производственный журнал</p>	720
<p>“Электронная обработка материалов”. Научный и производственно-технический журнал</p>	721
<p>“Сверхтвердые материалы”. Научно-теоретический журнал</p>	722

Направление 4. ВОДОРОДНАЯ ДЕГРАДАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ЯВЛЕНИЯ

<p>Влияние водорода на структуру и свойства арматурного проката из непрерывнолитой заготовки <i>Полторацкий Л.М., Галиуллин Т.Р., Чинокалов В.Я., Сидорова О.Д.</i></p>	725
<p>Влияние водорода на технологическую пластичность низкоуглеродистого проката из непрерывнолитой заготовки <i>Полторацкий Л.М., Галиуллин Т.Р., Чинокалов В.Я., Сидорова О.Д.</i></p>	730
<p>Водородное разрушение сталей в условиях транспортировки природного газа <i>Кузюков А.Н., Борисенко В.А., Крикун В.П., Левченко В.А., Архипов А.Г.</i></p>	734
<p>Основные аспекты обеспечения прочностной надежности комбинированных баллонов для хранения и использования водорода <i>Милешкин М.Б., Библик И.В.</i></p>	739
<p>Оценка остаточного ресурса низколегированных сталей с учетом</p>	

степени их эксплуатационной деградации <i>Ливанова О.В., Полонский Я.А., Филиппов Г.А.</i>	744
Влияние металлургических факторов на водородную деградацию сталей для газопроводных труб <i>Буржанов А.А., Коструба С.В., Филиппов Г.А., Чевская О.Н.</i>	748
Влияние водорода на микроструктуру и мехсвойства стали X18H10T – конструкционного материала реакторов ВВЭР <i>Ружицкий В.В., Толстолицкая Г.Д., Малик Г.Н., Копанец И.Е., Карпов С.А.</i>	753
Удержание водорода в конструкционных сталях <i>Ажажа В.М., Толстолицкая Г.Д., Ружицкий В.В., Копанец И.Е., Лавриненко С.Д., Пилипенко Н.Н., Ожигов Л.С., Бобров Ю.П.</i>	758
Влияние примесей внедрения на температурные интервалы удержания дейтерия в аустенитной нержавеющей стали X18H10T <i>Неклюдов И.М., Морозов А.Н., Кулиш В.Г., Журба В.И.</i>	763
Влияние имплантации водорода и гелия на физико-механические свойства ферритной стали <i>Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Мартыненко Ю.В., Лидер А.М., Луконин С.Е., Ган А.К.</i>	768
Ориентационная и температурная зависимость критических скалывающих напряжений монокристаллов аустенитной нержавеющей стали Fe–18Cr–14Ni–2Mo с водородом <i>Купрекова Е.И., Чумляков Ю.И., Чернов И.П., Кудрявцева Е.Н.</i>	773
Модификация свойств стали 12X18H10T при водородной и радиационной обработке <i>Лидер А.М., Черданцев Ю.П., Чернов И.П., Никитенков Н.Н., Гаранин Г.В., Панин А.В., Казаченок М.С.</i>	778
Теплота переноса водорода в российских циркониевых материалах <i>Шмаков А.А., Калинин Б.А.</i>	783
Влияние деформации и ионного облучения на миграцию водорода в сплаве циркония <i>Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Лидер А.М., Никитенков Н.Н., Ган А.К., Скирневский А.В.</i>	786
Влияние водородной обработки на механические свойства циркониевого сплава Э-125 <i>Казаченок М.С., Панин А.В., Оскомов К.В., Чернов И.П., Лидер А.М., Никитенков Н.Н., Черданцев Ю.П., Гаранин Г.В.</i>	791
	949

Диффузия водорода, поглощенного в процессе изготовления и эксплуатации, в циркониевых изделиях активных зон реакторов на тепловых нейтронах <i>Иванова С.В.</i>	796
Моделирование газового распухания топливных композиций <i>Власов Н.М., Гонтарь А.С., Федик И.И.</i>	801
Сегрегация водорода и кислорода в зоне разрушения лопаток паровой турбины высокого давления <i>Смиян О.Д., Григоренко Г.М., Вайнман А.Б., Буткова Е.И.</i>	806
Деградація структури малоактивованих хромомарганцевих сталей під впливом водню <i>Засадний Т.М., Дьоміна Є.В., Прусакова М.Д., Федоров В.В.</i>	811
Оцінка концентрації та молекулярного тиску водню в металі за термоциклювання <i>Скальський В.Р., Рудавський Д.В., Селівончик Т.В.</i>	815
Механо-химические процессы разрушения поверхностных слоев деталей при трении в химически активных водородосодержащих средах <i>Шелег В.К., Присевок А.Ф.</i>	820
Факторы, влияющие на содержание водорода в стали <i>Шебаниц Э.Н., Ларионов А.А., Фентисов И.Н., Небога Б.В., Романов И.О., Гринберг С.Е., Сотников Е.Н., Стец В.П., Бочек А.П.</i>	825
Воздействие технологических факторов на насыщение металла водородом в сталеразливочном ковше при внепечном рафинировании и модифицировании стали <i>Мельник С.Г., Носоченко О.В., Быков Е.И.</i>	830
Разработка гидридообразующих сплавов на основе ЩЗМ и РЗМ для микролегирования стали <i>Белов Б.Ф., Троцан А.И., Бродецкий И.Л., Мельник С.Г., Кислица В.В., Носоченко И.О., Харчевников В.П.</i>	833
Моделирование влияния нестационарных тепловых и концентрационных полей на поведение толстостенного трубопровода в условиях водородной коррозии <i>Бубнов А.А.</i>	838
К вопросу об особенностях применения двухслойных сталей для изготовления нефтехимического оборудования,	

эксплуатирующегося в сероводородосодержащих средах <i>Перлов Н.А., Никольский В.Э., Шевела В.В., Звенигородский А.Г.</i>	843
Влияние термомодеформационного цикла сварки трением на распределение водорода и кислорода в зоне соединения <i>Смиян О.Д., Кучук-Яценко С.И., Зяхор И.В.</i>	847
Влияние микроструктурных изменений на перераспределение водорода при сварке плавлением конструкционных сталей <i>Махненко В.И., Королева Т.В.</i>	852
Влияние водорода в присадочном материале на пористость сварных швов при сварке титановых сплавов <i>Белоус В.Ю., Ахонин С.В.</i>	857
Особенности проявления водородной хрупкости в углеродистых сталях <i>Большаков В.И., Дейнеко Л.Н., Нестеренко А.М., Школа В.И.</i>	861
Учет структурного состояния в анализе пластичности водородной деградации коррозионностойких сталей <i>Витвицкий В.И., Ткачев В.И., Бережницкая М.Ф., Иваськевич Л.М.</i>	866
О барьерных покрытиях нержавеющей стали <i>Чертов В.М.</i>	871
Заполнение поверхности и наводороживание при гальваническом осаждении металла <i>Родников С.Н., Чертов В.М.</i>	877
Влияние примесей на диффузию водорода в металлах и сплавах <i>Мороз В.Ф., Приходько Э.В.</i>	882
Влияние водорода на поверхностное натяжение и вязкость расплавов на основе железа <i>Мороз В.Ф., Приходько Э.В.</i>	887
Некоторые особенности оптимизации состава рабочей смеси при газовой химико-физической (химико-термической) обработке металлов и сплавов <i>Барьяхтар В.Г., Буравлев Ю.М., Шевченко В.П., Милославский А.Г., Иваницын Н.П.</i>	892
Hydrogen absorption by subsurface layer of high strength and mild steels by electrochemical processes and embrittlement <i>Beloglazov S.M.</i>	897
	951

Влияние водорода на фазовый состав и коррозию магния и его сплавов <i>Морозова Г.И.</i>	903
Search for novel hydrogen storage materials a theoretical approach <i>Vajeeston P., Ravindran P., Fjellvåg H.</i>	909
Microstructure and characteristics of alloys and compounds exhibiting high hydrogen absorption properties <i>Fruchart D., de Rango P., Miraglia S., Rivoirard S., dos Santos D.S., Shelyakov A., Skryabina N.</i>	919
“Металлургическая и горнорудная промышленность”. Научно-технический и производственный журнал	928
“Инженерно-физический журнал” НАН Беларуси	929
Издательский Дом “Руда и Металлы”	930
Авторский указатель	931
Содержание	937

Научно-техническое издание

Ответственный за выпуск

А.А. Пантюхов