

УДК 62-971.2, 661.968, 620.92

**Изучение температуры выхода водорода из композита на основе гидрида магния
и наноалюминия в зависимости от среднего размера частиц**

П.А. Баранова

Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Н. Кудияров
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 364050
E-mail: pab13@tpu.ru

**Study of the temperature of hydrogen release from a composite based on magnesium
hydride and nanoaluminium depending on the average particle size**

P.A. Baranova

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., Ph.D. V.N. Kudiiarov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: pab13@tpu.ru

Abstract. *In this work, a composite based on magnesium hydride and nanoscale aluminum powder obtained by the method of electrical explosion of conductors was studied. Thermodesorption spectroscopy was used to determine the hydrogen yield temperature for samples with different average particle sizes. It is shown that when the average particle size decreases from 2.7 to 2.2 microns, the desorption temperature decreases from 436 to 360 degrees Celsius.*

Key words: *magnesium hydride, mechanical synthesis, nanoscale aluminum powder, electrical explosion of wires technology, desorption temperature.*

Введение

Одним из ключевых направлений водородной энергетики является получение, хранение, транспортировка и безопасное использование водорода [1]. Благодаря своим малым размерам и массе, водород способен накапливаться в кристаллической решетке металлов, образуя гидриды. Поэтому гидриды металлов чаще всего используются в качестве материалов для хранения водорода. Магний является одним из перспективных материалов для этой цели [2, 3]. Однако его основным недостатком является высокая температура сорбции и десорбции. Это создает необходимость в разработке методов, направленных на устранение данного недостатка.

Снизить температуру сорбции и десорбции водорода можно с помощью добавления порошка алюминия, полученного электровзрывом проводника (ЭВП). Данный нанопорошок получают путем взрывного разрушения проволоки под действием тока высокой плотности. Материал проволоки трансформируется в наночастицы при условии, что плотность вводимой энергии достаточно высокая, чтобы качественно диспергировать металлическую проволоку на наночастицы [4–13].

Ранее, изучение влияния добавление порошка ЭВП-алюминия на свойства гидрида магния никем не проводилось. В предыдущей работе были получены композиты с одинаковым массовым содержанием алюминия, но синтезированные с использованием размольных шаров разного диаметра [14]. Получилась зависимость – чем меньше размер шаров, тем меньше частицы в образце.

Из этого следует цель работы – изучение влияния среднего размера частиц композита на основе гидрида магния и наноразмерного порошка алюминия, полученного методом электровзрыва проводника, на температуру десорбции водорода.

Результаты

Ранее было проведено исследование, в котором было установлено, что с уменьшением диаметра размольных шаров при синтезе композитов уменьшается средний размер частиц, а микронапряжения в нем возрастают (табл. 1).

Таблица 1

Средние размеры частиц композитов на основе гидрида магния

Образец	Средний размер частиц, мкм
MgH ₂	2,7
MgH ₂ EEWAl 10 мас. % (10 мм)	2,5
MgH ₂ EEWAl 10 мас. % (6 мм)	2,4
MgH ₂ EEWAl 10 мас. % (3 мм)	2,2

В исследовании для определения температуры выхода водорода из материала был использован метод термостимулированной десорбции (ТДС). Этот метод предполагает непрерывный мониторинг десорбированного водорода в процессе нагрева образца с заданной скоростью. В эксперименте десорбция водорода проводилась для образца, содержащего 10 масс. % порошка нано-алюминия. Нагревали образец с темпами 6 °С/мин до достижения 500 °С, одновременно собирая спектры десорбции с помощью квадрупольного масс-спектрометра RGA100 (Stanford Research Systems, США). Результаты анализа представлены на рис. 1.

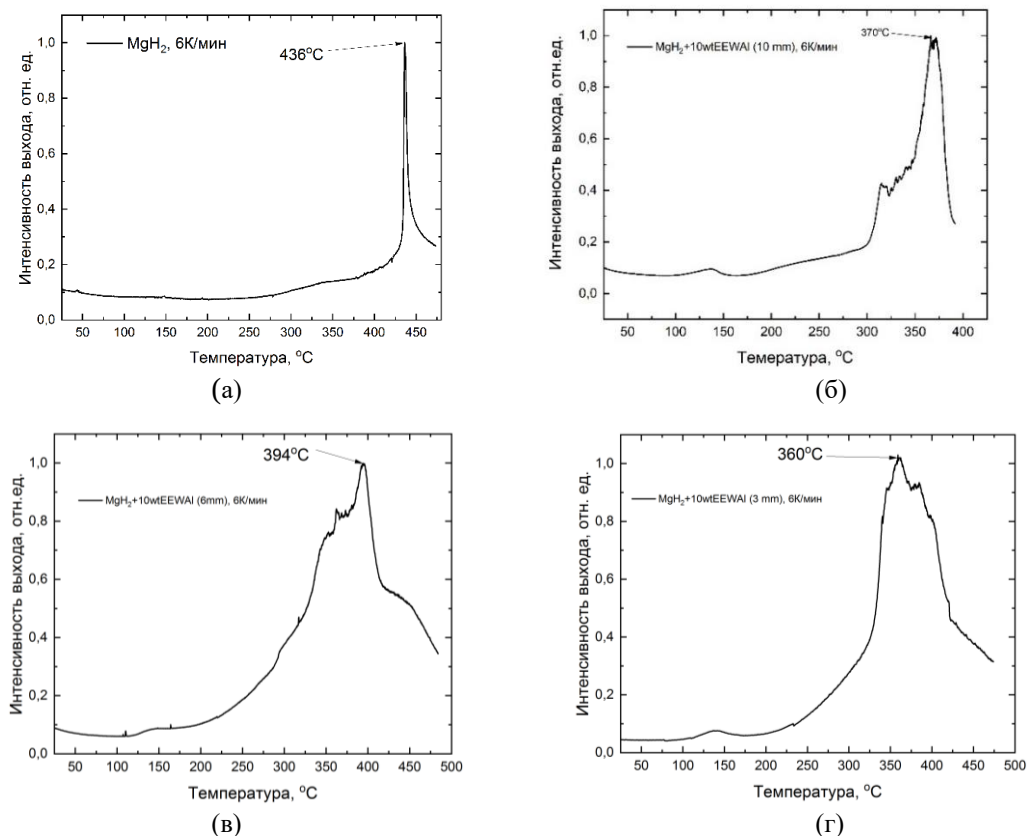


Рис. 1. Кривые термостимулированной десорбции для MgH₂(а) и MgH₂-10wtEEWAl с разным средним размером частиц – 2,5 мкм (б), 2,4 мкм (в), 2,2 мкм (г)

Предположительно о том, что чем выше значение микронапряжения, тем температура десорбции становится меньше, оказалось верным.

Таким образом, композит, который был синтезирован с использованием размольных шаров с диаметром 3 мм, а средний размер частиц составил 2,2 мкм, показал наименьшую температуру десорбции водорода 360 °С.

Заключение

В работе был синтезирован композит на основе гидрида магния и нанопорошка алюминия, полученного методом ЭВП, и у полученных композитов исследовали температуру десорбции. При уменьшении среднего размера частиц уменьшалась, и температура десорбции водорода. Следующим этапом планируется варьировать массовое содержание наноалюминия в композите для определения эффективного состава с самой низкой температурой активации десорбции.

Работа выполнена в рамках Государственного задания “Наука” (научный проект № FSWW-2023-0005).

Список литературы

1. Котельникова С.А. Водородная энергетика: хранение водорода // Энергетические установки и технологии – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 64–70.
2. Kudiiarov V.N. et al. Microstructure and hydrogen storage properties of $\text{MgH}_2/\text{MIL-101}(\text{Cr})$ composite // Journal of Alloys and Compounds. – 2024. – Vol. 976. – P. 173093.
3. Lyu J. et al. Theoretical and Experimental Studies of Al-Impurity Effect on the Hydrogenation Behavior of Mg // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 22. – P. 8126.
4. Nazarenko Olga, Gromov Alexander, Il'in Alexander, Pautova Julia, Tikhonov Dmitry. Electroexplosive nanometals // Metal Nanopowders: Production, Characterization, and Energetic Applications. – 2014. – P. 67–69.
5. Коник П.А. и др. Влияние механической активации интерметаллического соединения $\text{LaNi}_{2.5}\text{Co}_{2.4}\text{Mn}_{0.1}$ на абсорбцию водорода // Журнал физической химии. – 2020. – Т. 94, № 5. – С. 784–788.
6. Mostovshchikov A.V., Goldenberg B.G., Nazarenko O.B. Effect of synchrotron radiation on thermochemical properties of aluminum micro- and nanopowders // Materials Science and Engineering. – 2022. – Vol. 285.
7. Ильин А.П., Мостовщиков А.В., Корщунов А.В., Роот Л.О. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов // ТПУ. – 2017. – 212 с.
8. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
9. Клямкин С.Н. Металлогидридные композиции на основе магния как материала для аккумулялирования водорода // Российский химический журнал им. Д.И. Менделеева – 2006. – № 6. – С. 49–55.
10. Надольский Д.С., Зиннатуллина Л.Р., Медведева Н.А. Водородоаккумулирующие материалы // Вестник Пермского университета. Серия «Химия» – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 106–125.
11. Констанчук И.Г., Герасимов К.Б. Механохимические подходы к созданию материалов для аккумулялирования водорода на основе гидридов металлов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22, № 1. – С. 1–9.
12. Sun Z., Lu X., Nyahuma F.M., Yan N., Xiao J., Su S., Zhang L. Enhancing Hydrogen Storage Properties of MgH_2 by Transition Metals and Carbon Materials: A Brief Review // Frontiers in Chemistry. – 2020.
13. Лукашев Р.В. Водород-аккумулирующие и водород-генерирующие системы $\text{MgH}_2\text{-C}$ и $\text{AlH}_3\text{-C}$ // Альтернативная энергетика и экология. – 2008. – № 2. – С. 39–46.
14. Kudiiarov V.N., Baranova P.A., Mostovshchikov A.V. Structural-Phase State and Morphology of a Composite Based on Magnesium Hydride and Nanosized Aluminum Powder Obtained by Electrical Explosion of Wires // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2024. – Vol. 18, № 6. – P. 1490–1494. – DOI: 10.1134/S1027451024701441