

десорбции водорода композита  $MgH_2-5\%MIL-101(Cr)$  снизилась на 36 % по сравнению с  $MgH_2$  и составляет  $(120 \pm 2)$  кДж/моль, рисунок 2. Уменьшение энергии может быть связано с тем, что МОКС является прекурсором для осаждения атомов хрома на поверхности частиц магния, где может формироваться структура ядро-оболочка особой морфологии при механосинтезе композита.

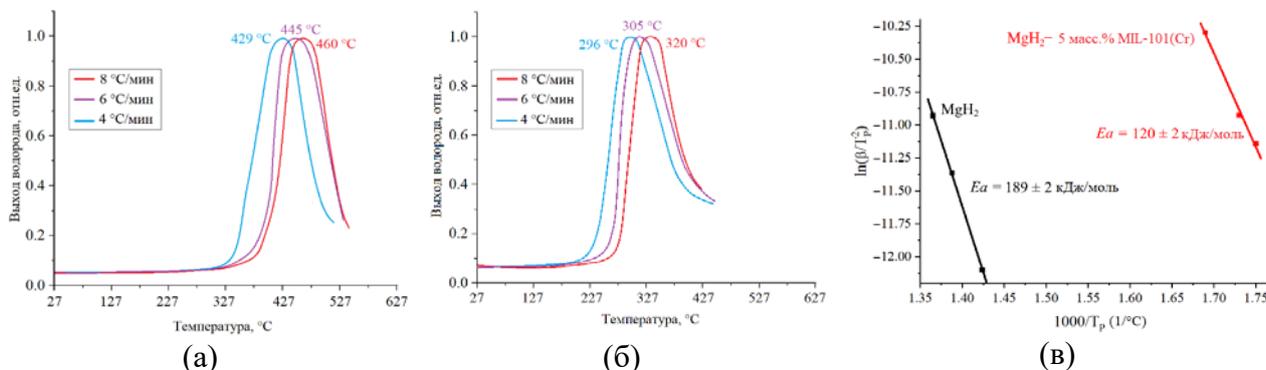


Рисунок 2 – Кривые сорбуции (а)  $MgH_2$ , (б)  $MgH_2-5\%MIL-101(Cr)$ , (в) график зависимости  $\ln(\beta/T_p^2)$  от  $1000/T_p$  для  $MgH_2$  и  $MgH_2-5\%MIL-101(Cr)$

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания «Наука» в рамках научного проекта № FSWW-2023-0005.

#### Список литературы

1. Nicoletti G. et al. A technical and environmental comparison between hydrogen and some fossil fuels //Energy Conversion and Management. – 2015. – Т. 89. – С. 205-213.
2. Revankar S.T. Nuclear hydrogen production //Storage and hybridization of nuclear energy. – Academic Press, 2019. – С. 49-117.

### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПОРОШКА НИКЕЛЯ, ПРОИЗВЕДЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВА, НА ТЕМПЕРАТУРУ ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА ИЗ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГИДРИДА МАГНИЯ

*А. КЕНЖИЕВ, В.Н. КУДИЯРОВ*

Томский политехнический университет

E-mail: [aak265@tpu.ru](mailto:aak265@tpu.ru)

Одним из наиболее актуальных направлений в последнее время является разработка материала для эффективного, безопасного хранения и транспортировки водорода для его дальнейшего использования в качестве альтернативного топлива. Это, в первую очередь, связано непосредственно с его теплотой сгорания, а именно 141,9 МДж/кг [1–3]. Создание такого материала, который бы отвечал всем характеристикам эффективного хранения водорода, на данный момент является затруднительной задачей, так как такой материал в первую очередь должен отвечать требованиям приемлимой сорбционной емкости, достаточной кинетики сорбции и относительно низкой температурой десорбции водорода [4–5]. В связи с чем предлагается добавление различных катализаторов, позволяющих улучшить данные характеристики. Таким перспективным материалом служит никель, который позволяет значительно снизить температуру десорбции водорода для его дальнейшего использования [6].

Работа посвящена исследованию композита на основе гидрида магния с добавлением порошка никеля, произведенного методом электровзрыва проводника (ЭВП) (англ. EEW – Electrical Explosion of Wire).

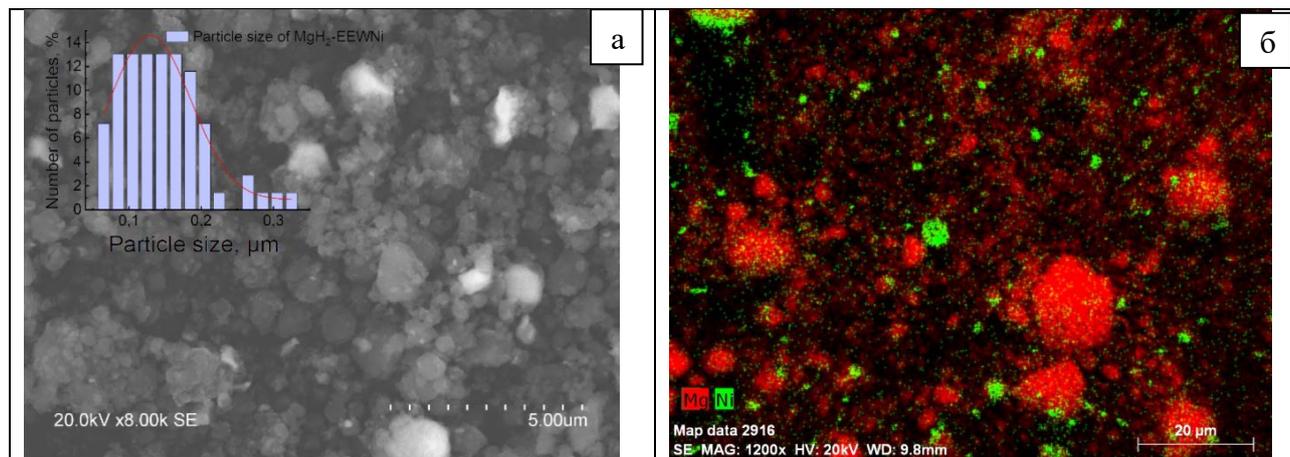


Рисунок 1 – СЭМ микрофотографии (а) и элементный состав (б)

Настоящее исследование показало, что измельчение гидрида магния с 20 масс % EEWNi улучшает характеристики сорбции и десорбции водорода из композита по сравнению с исходным  $MgH_2$ . По результатам сканирующей электронной микроскопии продемонстрировано, что композит представляет собой частицы гидрида магния, на поверхности которых осаждены наночастицы никеля. Такая микроструктура композита может быть благоприятна для сорбции и десорбции водорода.

По результатам БЭТ-анализа площадь поверхности композита в 3,7 раза превышает для чистого  $MgH_2$ , что свидетельствует о дополнительном совместном измельчении гидрида магния частицами порошка ЭВП-Ni. Десорбционные кривые показали, что добавление данного материала к гидриду магния позволило снизить температуру выхода водорода на 290 K в сравнении с чистым гидридом магния.

Содержание водорода в полученных порошках  $MgH_2$  и  $MgH_2$ -20 масс% ЭВП-Ni составило 7,2 масс% и 5,6 масс% соответственно. Согласно построенным графикам по методу Киссенджера, для композита наблюдается значительное снижение энергии активации сорбции и десорбции.

Это позволяет сделать вывод, что водород начинает выделяться при более низкой температуре в условиях эксплуатации.

Таким образом, экспериментально продемонстрировано, что наночастицы EEWNi, локализованные на поверхности частиц  $MgH_2$  при его совместном измельчении, обладают каталитическим эффектом, который проявляется в снижении энтальпии реакции сорбции/десорбции и уменьшением температуры выделения водорода из  $MgH_2$ . Это указывает на синергетический эффект композита  $MgH_2$ -20 масс. %EEWNi, который улучшает сорбционные и десорбционные свойства.

Предполагается, что снижение энергии активации диссоциации гидрида магния при добавлении порошка наноразмерного никеля может быть связано с тем, что осаждение наночастиц никеля на частицах гидрида магния снижает энергию связи водорода с магнием.

В данной работе предполагается, что образовалась микроструктура "ядро-оболочка", составленная в подобие агломератов, которая играет положительную роль в эффективности хранения водорода в магнии.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания в рамках научного проекта № FSWW-2021-0017.*

**Список литературы**

1. Zhang X., Liu Y., Ren Z., Zhang X., Hu J., Huang Z., Lu Y., Gao M., Pan H. Realizing 6.7 wt% reversible storage of hydrogen at ambient temperature with non-confined ultrafine magnesium hydrides // *Energy & Environmental Science*. – 2021.– Vol. 14, N 4. P. 2302–2313.
2. Shelyapina M.G. Hydrogen Diffusion on, into and in Magnesium Probed by DFT: A Review // *Hydrogen*. – 2022. – Т. 3. – № 3. – С. 285-302.
3. Shelyapina, M.G. Metal hydrides for energy storage. In *Handbook of Ecomaterials*; Martínez, L., Kharissova, O., Kharisov, B., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 775–810, ISBN 978-331968255-6.
4. Barkhordarian G., Klassen T., Bormann R. Catalytic mechanism of transition-metal compounds on Mg hydrogen sorption reaction // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2006. – Т. 110. – № 22. – С. 11020-11024.
5. Varin R.A. et al. Catalytic effects of various forms of nickel on the synthesis rate and hydrogen desorption properties of nanocrystalline magnesium hydride (MgH<sub>2</sub>) synthesized by controlled reactive mechanical milling (CRMM) // *Journal of alloys and compounds*. – 2007. – Т. 432. – №. 1–2. – С. 217-231.