

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА-НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА НА  
ОСНОВЕ ГИДРИДА МАГНИЯ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК МЕТОДОМ  
МЕХАНОСИНТЕЗА**

*Р.Р. Эльман, аспирант гр. А1-08,  
Н. Курдюмов, аспирант гр. А1-08,  
В.Н. Кудияров, к.т.н., доц.*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
тел.89138801428  
E-mail: [rrel@tpu.ru](mailto:rrel@tpu.ru)*

Разработка перспективных материалов для хранения водорода – одна из важнейших задач для расширения водородной экономики. Одним из наиболее эффективных способов хранения водорода являются гидриды металлов. Перспективным материалом для хранения водорода является гидрид магния из-за высокого массового содержания водорода. Тем не менее, использование магния в качестве обратимого поглотителя водорода проблематично из-за высокой температуры, необходимой для десорбции водорода из гидрида магния с приемлемой скоростью. Для улучшения свойств гидридов металлов, в частности гидрида магния, применяются механические методы обработки порошка, а также добавление каталитических добавок. Углеродные нанотрубки (УНТ) считаются перспективным материалом-добавкой к гидриду магния. Существует множество работ, показывающих, что добавление углеродных нанотрубок позволяет снизить энергию активации десорбции водорода и, как следствие, температуру сорбции/десорбции [1]. Однако имеются и работы, в которых каталитический эффект УНТ отсутствовал или даже препятствовал улучшению свойств Mg/MgH<sub>2</sub> [2]. Тем не менее, многие авторы подчеркивают, что влияние параметров измельчения до конца не исследовано. Так, существует множество зависящих от режима измельчения факторов, влияющих на сорбционные/десорбционные свойства полученного композита, например равномерность распределения нанотрубок в композите, их структурная целостность, размеры частиц гидридообразующего металла и т. д. Как правило, высокая равномерность распределения УНТ и сохранение их целостности положительно сказывается на сорбционных/десорбционных свойствах полученного композита. Таким образом цель данной работы – определение методики получения композитов на основе гидрида магния и углеродных нанотрубок, с равномерным распределением УНТ в составе композита и сохранением их структуры.

Наводороживание магния и оценка десорбционных свойств полученного композита производились при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller. Синтез композитов MgH<sub>2</sub>-УНТ производился в планетарной мельнице в течение 60, 120 и 180 минут при частоте вращения барабанов 300, 660 и 900 об/мин. Для определения факта целостности структуры УНТ использовалась сканирующая электронная микроскопия. Количество добавляемых УНТ - 5 масс.% от MgH<sub>2</sub>.

На рисунке 1 приведены микрофотографии композитов, полученные при различном времени измельчения. При 660 и 900 об/мин целой структуры УНТ не наблюдается уже при 60 минутах измельчения, в то время как при 300 об/мин и 60 минутах измельчения структура нанотрубок сохраняется, однако они распределены неравномерно и наблюдаются области с повышенной концентрацией пучков УНТ. Стоит заметить, что размеры частиц MgH<sub>2</sub> колеблются от нескольких до десятков микрон как при низкой скорости вращения барабанов, так и при высокой.

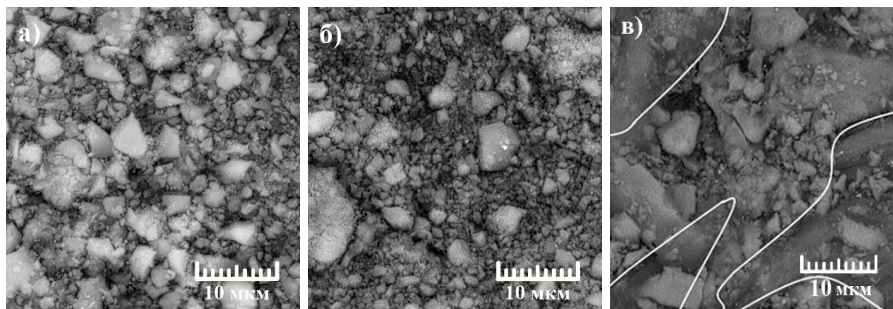


Рис. 1. СЭМ-изображения композитов  $MgH_2$ –УНТ, полученных путем измельчения в течение 60 минут при скорости вращения барабанов 300 (а), 660 (б) и 900 об/мин (в). Белым цветом обведены области концентрации пучков нанотрубок.

Увеличение времени измельчения до 120 минут уменьшало количество областей с большим количеством пучков нанотрубок. В композите, измельченном в течение 180 минут таких областей уже не наблюдалось, что продемонстрировано на рисунке 2 (а). Увеличение времени измельчения значительно влияет и на размеры пучков нанотрубок, которые становятся короче из-за разрушения и распускаются на отдельные нанотрубки. Высокая скорость измельчения негативно сказалась на десорбционных свойствах композита. Анализируя кривые термостимулированной десорбции (ТСД), представленные на рисунке 2 (б), можно заключить, что сохранение структуры нанотрубок и их равномерное распределение в композите способствовало улучшению десорбционных свойств композита.

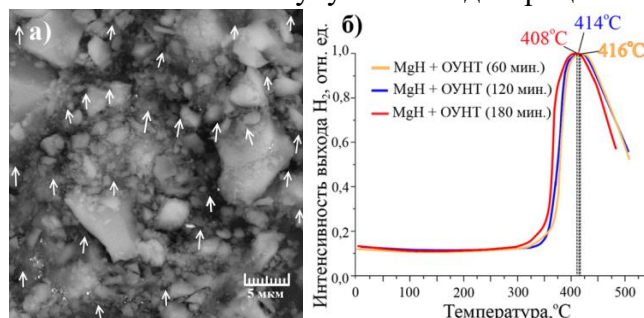


Рис. 2. СЭМ-изображение композита  $MgH_2$ –УНТ, полученного путем измельчения при 300 об/мин в течение 180 минут (а) (стрелочки указывают на УНТ), а также ТСД-кривые для композитов, полученных при скорости вращения барабанов 300 об/мин и различной продолжительности измельчения (в).

Таким образом, исходя из микрофотографий и кривых ТСД, скорость измельчения 300 Гц и время измельчения 180 минут являются минимально необходимыми параметрами, способствующими равномерному распределению УНТ и сохранению их структуры, что приводит к лучшему каталитическому эффекту.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания «Наука» в рамках научного проекта № FSWW-2020-0017.

#### Список литературы:

3. Lototsky M. et al. Magnesium–carbon hydrogen storage hybrid materials produced by reactive ball milling in hydrogen // Carbon. – 2013. – Vol. 57. – P. 146–160.
4. Cai W. et al. Positive and negative effects of carbon nanotubes on the hydrogen sorption kinetics of magnesium // The Journal of Physical Chemistry C. – 2015. – Vol. 119, N.45. – P. 25282–25290.