

7. Guo W. et al. Ablation behavior of (TiZrHfNbTa) C high-entropy ceramics with the addition of SiC secondary under an oxyacetylene flame // *Ceramics International*. – 2022. – Т. 48, №. 9. – С. 12790-12799.
8. Wang H. et al. Oxidation behaviors of (Hf_{0.25}Zr_{0.25}Ta_{0.25}Nb_{0.25}) C and (Hf_{0.25}Zr_{0.25}Ta_{0.25}Nb_{0.25}) C-SiC at 1300–1500° C // *Journal of Materials Science & Technology*. – 2021. – Т. 60. – С. 147-155.

СТРУКТУРА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ГИДРИДА МАГНИЯ И НАНОРАЗМЕРНОГО НИКЕЛЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКОВ

Е.С. ЛЕОНОВА, А.А. КЕНЖИЕВ, Н. КУРДЮМОВ

Томский политехнический университет

E-mail: esl24@tpu.ru

В настоящие дни, в связи с истощением нефтяных ресурсов и ухудшением экологической обстановки, существует проблема глобального потепления, ее причиной является деятельность людей, а именно: при сжигании ископаемого топлива в атмосферу выбрасывается углекислый газ CO₂, он приводит к возникновению парникового эффекта и перегреву планеты. Защита окружающей среды имеет первостепенное значение для развития и роста нации. Поэтому серьезную актуальность приобрела разработка альтернативных источников энергии, которые смогут решить данную проблему.

Среди альтернативных источников энергии при современном уровне знаний особенно перспективным представляется водород, имеющий большие потенциальные возможности для обеспечения бесперебойных поставок энергии и надежности, перехода на водородную энергетику, улучшения экологии окружающей среды и социальной, социологической, экономической, технологической и государственной устойчивости в стране.

Водород является самым распространенным элементом во Вселенной. Основными его источниками являются вода и органические соединения, включая нефть, природный газ и биомассу. В природе в свободном состоянии практически не встречается, поэтому не является источником энергии, а подобно электричеству, является энергоносителем. Однако в отличие от электричества, которое является носителем электронов, водород является носителем химической энергии, получаемой от электрохимической реакции взаимодействия водорода и кислорода, которая в топливном элементе (ТЭ) прямо превращается в электричество.

Водород является как энергоносителем, так и веществом и в силу этого дуализма обладает комплексом свойств, благодаря которым возможно построение энергообеспечивающих систем, состоящих из источников энергии и производств, основанных на потреблении водорода как вещества, т.е. являющихся частью экономики в более широком смысле, чем сама только энергетика.

В настоящее время одним из вызовов энергетической безопасности для Российской Федерации является изменение структуры спроса на энергоресурсы, включая замещение углеводородов другими видами энергетических ресурсов, в том числе водородом.

Что же касается хранения водорода – это сложный, а потому дорогой процесс из-за очень низкой плотности водорода как в газообразном (~ 0,09 кг/м³), так и в жидком (~ 70 кг/м³) состоянии, низкой температуры его сжижения, а также высокой взрывоопасности в сочетании с негативным воздействием на свойства конструкционных материалов.

Способы хранения водорода можно разделить на:

1. физические – в сжатом или сжиженном состоянии;
2. физико-химические – в первую очередь в адсорбированном состоянии;
3. химические – в связанном состоянии в металлгидридах.

К настоящему времени освоена широкомасштабная промышленная реализация физических методов: газобаллонного и криогенного. Другие же методы являются перспективными, находясь на стадии технологических разработок либо мелкомасштабного производства. Кроме того, в различных областях применение водорода предъявляются различные требования к системе его хранения. В связи с этим, исследования в направлении разработки эффективных способов хранения водорода являются актуальными.

Известно, что одним из перспективных материалов для хранения водорода является гидрид магния MgH_2 , обладающий высоким массовым (7,6 масс. % H_2) и объемным (110 г H_2 /л) содержанием водорода.

Одним из перспективных методов получения MgH_2 является механохимический синтез – обработка магния Mg в атмосфере водорода при давлении от 5 до 30 атм. в шаровой мельнице, в процессе чего удаляется оксидный слой и слой гидрида, что обеспечивает водороду доступ к поверхности магния. Получаемый MgH_2 имеет микронный размер, это снижает скорость дегидрирования.

Для увеличения скорости гидрирования Mg в процессе синтеза часто используют различные каталитические добавки. Такими добавками могут служить 3d переходные металлы (Ni , Nb , Pb и др.), которые увеличивают скорость диссоциации молекул водорода.

Графеноподобные материалы можно использовать в качестве каталитической добавки в процессах гидрирования/дегидрирования, благодаря высокой удельной поверхности они способны обволакивать частицы, предотвращая спекание, а также обеспечивать доставку тепла к непроводящему MgH_2 за счет высокой теплопроводности.

Кроме того, графеноподобные материалы являются перспективными носителями каталитических наночастиц Ni , Pt , Pd . Их использование при создании магниевых водород-аккумулирующих материалов увеличивает скорость гидрирования Mg и улучшает циклическую стабильность.

Водород как один из наиболее перспективных видов возобновляемой энергии может эффективно смягчить загрязнение окружающей среды, вызванное чрезмерным использованием ископаемого топлива. Однако бурное развитие водородной экономики сдерживается отсутствием безопасных и эффективных носителей для хранения водорода. Гидрид магния MgH_2 , как идеальный носитель для хранения водорода привлек к себе большое внимание благодаря высокой водородной емкости (7,6 масс. %), превосходной обратимости, большому количеству месторождений и низкой стоимости.

Однако практическому применению MgH_2 препятствуют высокая температура сорбции и десорбции и низкая скорость протекания данных процессов. Это связано с ограниченной скоростью диссоциации молекул водорода на поверхности, наличием оксидного слоя и низкой подвижностью водорода в гидридной фазе. И для того, чтобы извлечь водород требуется приложить большую энергию. Поэтому необходимо разработать методику по снижению энергии активации десорбции водорода.

Одним из направлений является синтез композитов на основе гидрида магния и каталитических добавок, которыми могут выступать металлы и их оксиды. Метод электрического взрыва проводников (ЭВП) является одним из перспективных методов для получения каталитических добавок к гидриду магния.

Одним из таких методов является синтез гидрида магния с порошком никеля, полученного электрическим взрывом проводника (ЭВП) – процессом взрывного разрушения проволоки под действием тока с плотностью ($>10^{10}$ А/м²). При высокой плотности вводимой энергии материал проволоки трансформируется в наночастицы. Характеристики данного метода: длительность импульса тока и мощность взрыва.

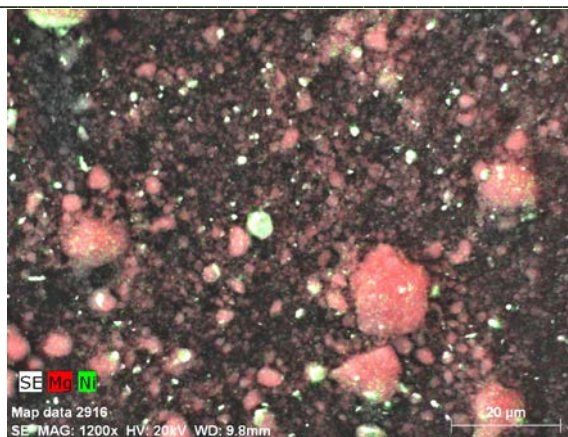


Рисунок 1 – SEM изображение порошка никеля и магния в композите

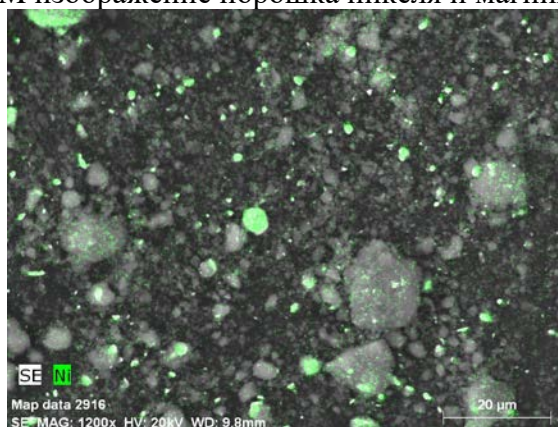


Рисунок 2 – SEM изображение порошка никеля в композите

В результате механохимического синтеза гидрида магния совместно с наноразмерным порошком никеля, полученного методом электровзрыва проводников, был получен композит. С помощью метода сканирующей электронной микроскопии (SEM), приведенной на рисунке 1, и энергодисперсионного анализа было показано, что композит представляет собой структуру типа ядро-оболочка, где крупные частицы гидрида магния MgH_2 покрыты наноразмерными частицами никеля.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-01280), а также в рамках программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета.

Список литературы

1. Борисов Д.Н. Водород-аккумулирующие сплавы и композиты на основе магния // ISJAEE. – 2008. – С. 33-38.
2. Можжухин С.А., Арбузов А.А., Тарасов Б.П. Влияние добавок восстановленного оксида графита и никеля на процесс обратимого гидрирования магния // ISJAEE. – 2015. – С. 78.
3. Middeli A., Dincer I. // Int. J. Hydrogen Energy. – 2007. – 32, №.5. – P. 511-524.
4. Фурсиков П.В., Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Можжухин С.А., Арбузов А.А., Лапшин А.Н., Ходос И.И., Тарасов Б.П. Микроструктура водородсорбирующих композитов на основе эвтектического сплава магния с никелем // ЖПХ. – 2022. – 95, № 8. – С. 1006-1010.
5. Фурсиков П.В., Слепцова А.М., Можжухин С.А., Арбузов А.А., Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Ходос И.И., Тарасов Б.П. Фазовый состав и микроструктура сорбирующих водород композитов эвтектического сплава Mg-Ni с графеноподобным материалом // ЖФХ. – 2020. – 94, № 5. – С. 789 – 795.

6. Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В., Тарасов Б.П. Синтез графеноподобных наноструктур и формирование на их основе катализаторов и водород-аккумулирующих композитов // Известия Академических наук. Серия химическая. – 2016. – № 8. – С. 1893-1901.
7. Andrei V. Mostovshchikov, Boris G. Goldenberg, Olga B. Nazarenko. Effect of synchrotron radiation on thermochemical properties of aluminum micro- and nanopowders // Materials Science and Engineering: B. – 2022. – Vol. 285.

МОРФОЛОГИЯ ПОРОШКОВ ОКСИДА ЦИНКА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ СУСПЕНЗИЙ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

ЛИ СЯОЯНЬ, А.Э. ИЛЕЛА, И.Н. ШЕВЧЕНКО, Г.В. ЛЯМИНА

Томский политехнический университет

E-mail: syaoyan1@tpu.ru

Введение. Оксид цинка играет важную роль в различных областях. Его используют как антикоррозионную добавку в составе различных ингибиторов, как подсушивающий препарат, уменьшающий воспаления, как наполнитель в различных композиционных материалах, в электронике и пр. Оксид цинка обладает низкой электропроводностью, он термостоек, обладает антибактериальными свойствами и при этом имеет низкую токсичность, имеет относительно простые технологии получения, которые выбирают в зависимости от назначения [1–5].

Вместе с тем, производство тонкодисперсного порошка оксида цинка необходимой чистоты и заданной морфологии остается в РФ на уровне исследовательских лабораторий.

В настоящей работе мы использовали различные по аппаратурному исполнению и стоимости методики выделения оксида цинка из суспензий: фильтрация, нанораспылительная сушка и СВЧ-сушка.

Самая дорогостоящая технология в данном ряду – выделение порошка на установке распылительной сушки. Размеры порошков, полученных этим методом, составляет от 100 нм до 5 мкм [6]. Вторая технология по временным затратам и стоимости оборудования – сушка в СВЧ-печи порошка после выделения из суспензии фильтрацией. Соответственно самая простая и дешевая технология – выделение порошка фильтрацией.

Целью данной работы было изучить морфологию порошков, выделенных их суспензий гидроксида цинка различными способами.

Экспериментальная часть. В работе использовали 1 М растворы нитрата цинка. Затем готовили из них суспензии методом обратного осаждения с использованием 1 М NaOH. Образовавшийся осадок промывали дистиллированной водой для удаления ионов натрия из образца.

Полученные частицы отделяли от растворителя методами фильтрации, нанораспылительной сушки (Nanospray Drying B-90) и с помощью СВЧ-сушки.

После фильтрации осадок выдерживали в термощкафу при температуре 70 °С в течение 4 часов или в СВЧ-печи со средней мощностью 12–48 кВт с частотой 2,45 ГГц.

Затем порошок подвергли термообработке при 350 °С для образования кристаллической фазы, температура подобрана на основании ТГ-, ДСК-анализа [7].

Для оценки морфологии частиц была использована растровая электронная микроскопия (микроскоп JEOL JSM-7500FA).

Размер частиц определяли методом лазерной дифракции (Shimadzu SALD-7101) суспензии порошка оксида цинка в дистиллированной воде после УЗ-обработки в течение 5 минут при $\lambda = 375$ нм.