

PACS numbers: 07.30.Kf, 07.35.+k, 64.75.Bc, 81.05.Je, 81.07.Wx, 88.30.gg, 88.30.rd

## **Использование накопителей и компрессоров водорода для исследования водородоёмкости нанодисперсных материалов**

В. А. Боголепов, А. Ф. Савенко, А. Д. Золотаренко, Д. В. Щур,  
С. Ю. Загинайченко, Н. А. Швачко, В. В. Скороход

*Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины,  
ул. Кржижановского, 3,  
03142 Киев, Украина*

В наноматериалах отношение площади поверхности материала к его объёму имеет основополагающее значение. Незначительные количества электроотрицательных примесей, присутствующих в водороде, а затем адсорбирующихся на поверхности частиц, значительным образом влияют на кинетику реакций металл–Н. Для получения корректных результатов в выполняемых исследованиях особое внимание уделяется чистоте водорода, которая должна быть не менее 99,99 ат.%. Такую степень чистоты имеет водород, пропущенный через палладиевую мембрану или десорбированный из кристаллической решётки металла. В статье излагаются примеры практического использования металлогидридных накопителей в качестве источников особо чистого водорода для научных исследований, топливных элементов, водородных горелок, аккумуляторов водорода высокого давления. В работе показаны автономность и портативность созданных накопителей и компрессоров водорода, их высокая надёжность в работе, а также возможность применения в самых суровых условиях окружающей среды.

У наноматеріалів відношення площі поверхні матеріалу до його об'єму має основоположне значення. Незначні кількості електронегативних домішок, присутніх у водні, а потім адсорбованих на поверхні частинок, значним чином впливають на кінетику реакцій метал–Н. Для одержання коректних результатів у виконуваних дослідженнях особливу увагу приділяють чистоті водню, яка має бути не менше 99,99 ат.%. Таку ступінь чистоти має водень, пропущений через паладійову мембрану або десорбований з кристалічної ґратниці металу. У статті наведено приклади практичного використання металогідридних нагромаджувачів як джерел особливо чистого водню для паливних елементів, водневих пальників, аккумуляторів водню високого тиску. У роботі показано автономність і портативність створених нагромаджувачів і компресорів водню, їхню високу надійність у роботі, а також можливість застосування в найсуворіших умовах навколишнього середовища.

In nanomaterials, the ratio of material surface area to its volume is essential. The small amounts of electronegative impurities presented in hydrogen and then adsorbed on the particles surface significantly affect the kinetics of metal–H reactions. To obtain correct results in the performed studies, the particular attention is paid to the hydrogen purity, which should be not less than 99.99 at.%. Hydrogen can have such a degree of purity, if it is passed through the palladium membrane or desorbed from the crystal lattice of a metal. In a given paper, consideration is concerned with the feasibility of metal hydride accumulators as sources of high-pure hydrogen for fuel cells, hydrogen torches and units for hydrogen storage under high pressure. The autonomy and portability of the developed hydrogen accumulators and compressors, their high reliability in the work as well as the possibility of their usage in the most rigorous conditions of environment are demonstrated.

**Ключевые слова:** наноматериалы, очистка водорода, хранение водорода, металлгидридные накопители, водородные горелки.

*(Получено 19 января 2012 г.)*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В наноматериалах отношение площади поверхности материала к его объёму имеет основополагающее значение. При исследовании особенностей протекания гетерогенных реакций взаимодействия таких материалов с газовыми средами особое внимание исследователи уделяют вопросам чистоты поверхности твёрдых частиц. Особо важную роль играют эти процессы при взаимодействии частиц с водородом. Незначительные количества электроотрицательных примесей, присутствующих в водороде, а затем адсорбирующихся на поверхности частиц, значительным образом могут влиять на кинетику реакций металл(*Me*)–H. По этой причине большое количество экспериментальных результатов, полученных различными исследователями, могут отличаться на порядки величины. Для получения корректных результатов в выполняемых исследованиях необходимо особое внимание уделять чистоте водорода, которая должна быть не менее 99,99 ат.%. Такую степень чистоты может иметь водород, пропущенный через палладиевую мембрану или десорбированный из кристаллической решетки металла.

В настоящее время металлгидридные (МГ) технологии остаются одним из основных направлений водородного материаловедения [1–5]. Их применение позволяет создавать компактные, безопасные и технологически гибкие устройства для обработки водорода. Особенности обратимого взаимодействия водорода с гидридообразующими металлами и сплавами также позволяют реализовать процесс очистки водорода от газовых примесей в МГ устройствах. А возможность регулирования давления выдаваемого водорода путем управляемого

теплового воздействия на МГ сорбент позволяет реализовать регулируемую подачу водорода потребителю под заданным давлением. Хранение, очистка, компилирование/регулируемый напуск могут быть совмещены в едином многофункциональном устройстве, что делает подобные приложения чрезвычайно эффективными.

Отделом № 67 Института проблем материаловедения НАН Украины (ИПМ), разработана серия лабораторных МГ источников высококачественного водорода, с возможностью его выдачи потребителю под регулируемым повышенным давлением (до 200 бар) с водородоёмкостью от 3 до 7000 литров. В зависимости от назначения накопителя имеют различные эксплуатационные характеристики.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей работе обсуждаются две модели лабораторных накопителей большой емкости (рис 1, 2) и серия металлгидридных накопителей различного назначения малой емкости (рис. 3–5).

Лабораторный металлгидридный накопитель «VA-7000» (рис. 1)

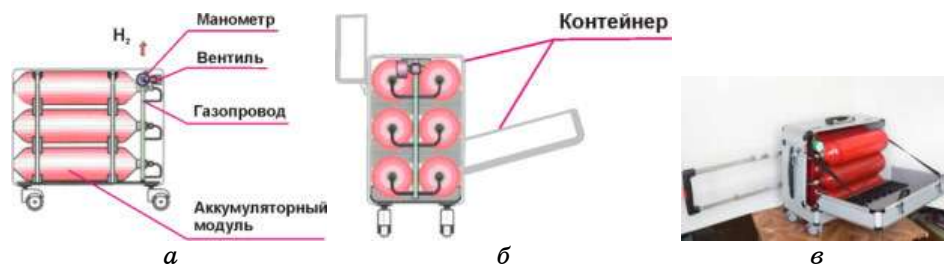


Рис. 1. Металлогидридный накопитель «VA-7000».



Рис. 2. Нагнетатель высококачественного водорода «SVETZAG-2000».



**Рис. 3.** Сосуды высокого давления для хранения водорода и накопители водорода модификации «Alsav» емкостью 3, 10, 15, 75 и 170 литров.



**Рис. 4.** Сосуды высокого давления для хранения водорода и накопители водорода модификации «Dmisch» емкостью 3, 10, 15, 75 и 170 литров.

чистого водорода 99,999% разработан для использования в лабораторных условиях в случаях, когда существует потребность в большом количестве водорода низкого давления.

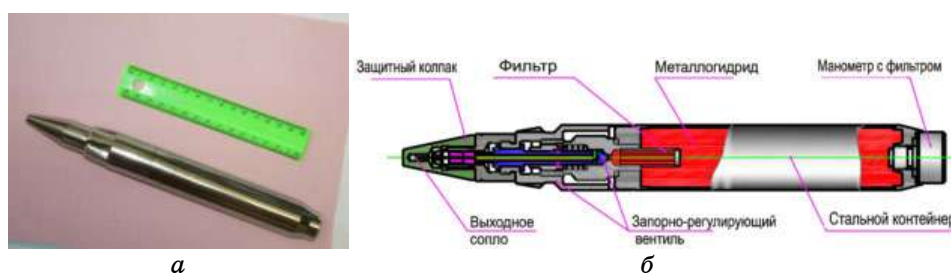
В накопителе был использован сплав-поглотитель водорода РЗМ (Ni, Fe, Al)<sub>5</sub>, изготовленный на основе коммерческой цериевой лигатуры (Ce/70% /La Pr Nd Fe Al), а также лантана и никеля технической чистоты и некоторых добавок. Состав сплава был подобран таким образом, чтобы обеспечить равновесное давление водорода над МГ до 0,5 МПа при комнатной температуре.

Лабораторный металлогидридный накопитель/нагнетатель «SVETZAG-2000» (рис. 2) емкостью 2000 литров высокочистого водорода, предназначен для работы в лабораторных условиях.

Разработанный металлогидридный накопитель/нагнетатель водорода характеризуется высокой компактностью, сравнительно низкой температурой нагрева МГ при нагнетании достаточно высокого давления водорода (до 25,0 МПа) и хорошими динамическими ха-



**Рис. 5.** Сосуды высокого давления для хранения водорода и настольные накопители водорода модификации «Viachbog» емкостью 3, 10, 15 и 75 литров.



**Рис. 6.** Водородная металлогидридная горелка.

рактеристиками.

На рисунках 3–5 представлены настольные накопители водорода различной емкости, (от 3 до 170 литров) модификаций («Алсав», «Вячбог» и «Дмищ»), предназначенные для эксплуатации в лабораторных условиях в комплекте с лабораторными топливными элементами при отработке лабораторных практикумов студентами по водородной энергетике. Также они могут быть использованы для других целей в качестве источников особо чистого водорода. Кроме того модификация «Дмищ» оснащена шестивольтным внешним нагревом. Это позволяет использовать ее в качестве компрессора водорода. Рабочее давление может изменяться от 0,2 до 17,0 МПа.

На основе опыта создания водородных накопителей емкостью 1–100 литров авторами в отделе разработаны и изготовлены горелки с металлогидридными аккумуляторами водорода, предназначенные для пайки миниатюрных деталей высокотемпературными припоями и для выполнения других специальных работ в условиях высоких экологических требований. Внешний вид и устройство металлогидридных горелок показаны на рис. 6–8.

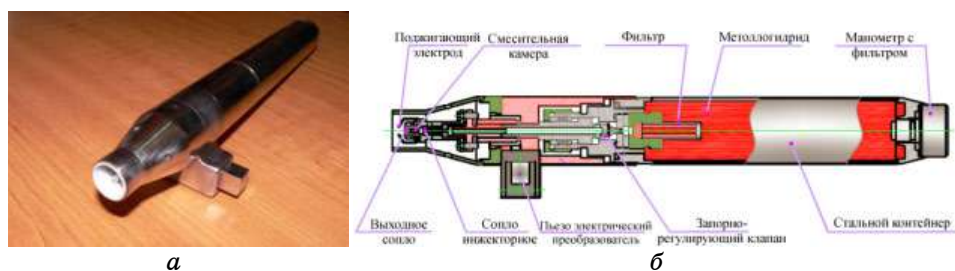


Рис. 7. Водородная горелка с пьезоэлектрическим поджигом факела.

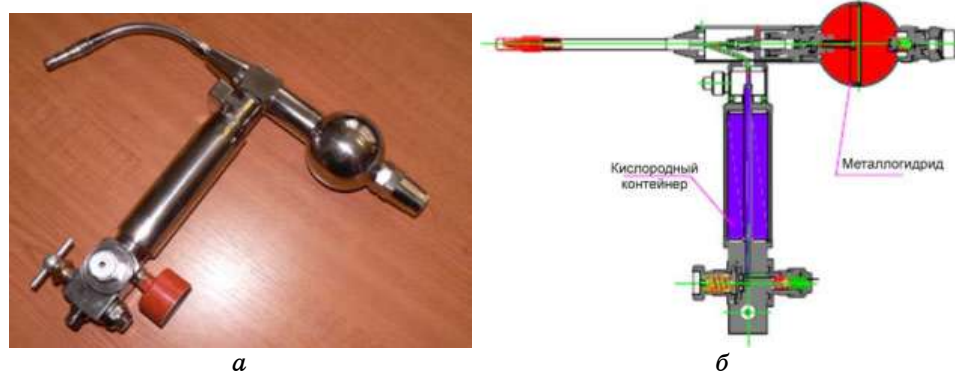


Рис. 8. Водородно-кислородная горелка с металлогидридным аккумулятором водорода, баллоном высокого давления для кислорода и пьезоэлектрическим поджигом факела.

Каждая из горелок состоит из контейнера, заполненного металлогидридом, фильтрующего элемента, запорно-регулирующего устройства, инжекторного сопла, смесительной камеры, выходного сопла, манометра.

Запорно-регулирующее устройство, имеющее осевой канал для выхода водорода к инжекторному соплу, обеспечивает необходимый расход водорода при выполнении конкретных работ.

Основные технические характеристики этих горелок (рис. 6–7):

- водородоёмкость — 30 л;
- общая масса — 0,45 кг;
- рабочее давление при комнатной температуре — 0,2–0,5 МПа;
- длина 245 мм;
- диаметр 29 мм.

Кроме того, горелка, показанная на рис. 7, оснащена пьезоэлектрическим поджигом.

Для повышения температуры газового факела была разработана и изготовлена автономная водородно-кислородная горелка (рис. 8) с

металлогидридным аккумулятором водорода, баллоном высокого давления для кислорода и пьезоэлектрическим поджигом факела.

Можно отметить следующие основные технические характеристики водородно-кислородной горелки:

- водородоёмкость — 50 л;
- ёмкость баллона для кислорода — 15 л;
- масса 2,8 кг.

К основным особенностям и преимуществам созданных металлогидридных горелок можно отнести:

- их автономность и портативность;
- высокую надёжность в работе, удобство в эксплуатации и обслуживании;
- возможность использования в самых суровых условиях окружающей среды;
- отсутствие загрязнения окружающей среды.

### 3. ВЫВОДЫ

На сегодняшний день метод хранения водорода в твёрдом теле остаётся по-прежнему достаточно удобным, эффективным и безопасным.

Авторы надеются, что изделия, созданные ими на базе металлогидридных накопителей, будут использоваться во многих отраслях промышленности и областях деятельности человека. Они заполняют те пробелы в инструментальном обеспечении, которые на сегодня либо перекрываются другими менее приспособленными приборами, либо вовсе не закрыты.

### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. О'М. Бокрис, Т. Н. Везироглу, Д. Л. Смит, *Солнечно-водородная энергетика — сила, которая способна спасти Землю* (Ред. Д. В. Щур, С. Ю. Загинайченко, В. К. Пишук) (Киев: Изд. «Укрдрук» ИПМ НАНУ: 2006).
2. В. И. Трефилов, Д. В. Щур, Б. П. Тарасов, Ю. М. Шульга, А. В. Черногоренко, В. К. Пишук, С. Ю. Загинайченко, *Фуллерен — основа материалов будущего* (Киев: АДЕФ: 2001).
3. G. Sandrock, S. Suda, and L. Schlapbach, *Hydrogen in Intermetallic Compounds. II. Surface and Dynamic Properties, Applications* (Ed. L. Schlapbach) (Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag: 1992).
4. J.-M. Joubert, M. Latroche, and A. Percheron-Guegan, *Materials Research Bulletin*, **27**, No. 9: 694 (2002).
5. L. Schlapbach, *Materials Research Bulletin*, **27**: 675 (2002).