

УДК 614.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ИХ НАГРЕВА

Ю.П. Ключка, ст. науч. сотр., к.т.н.,
В.И. Кривцова, профессор, д.т.н.,
А.И. Ивановский, ст. науч. сотр., к.т.н.

Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков

Аннотация. Экспериментальным путем получены зависимости давления водорода в патроне с гидридом при его нагревании. Показано, что экспериментальные данные соответствуют теоретическим значениям с погрешностью $\approx 6\%$.

Ключевые слова: водород, гидрид, давление, время, температура, эксперимент.

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОГІДРИДНИХ СИСТЕМ У ПРОЦЕСІ ЇХ НАГРІВАННЯ

Ю.П. Ключка, ст. наук. співр., к.т.н.,
В.І. Кривцова, професор, д.т.н.,
О.І. Івановський, ст. наук. співр., к.т.н.

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

Анотація. Експериментальним шляхом отримано залежності тиску водню в патроні з гідридом при його нагріванні. Показано, що експериментальні дані відповідають теоретичним значенням із похибкою $\approx 6\%$.

Ключові слова: водень, гідрид, тиск, час, температура, експеримент.

DETERMINATION OF METAL HYDRIDE SYSTEMS CHARACTERISTICS WHILE HEATING

Yu. Kluchka, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences,
V. Krivtsova, Professor, Doctor of Technical Sciences,
A. Ivanovskiy, Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences,
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv

Abstract. Experimental dependence of the pressure of hydrogen in the hydride cartridge when it is heated is obtained. Experimental data prove the theoretical values with an accuracy of $\approx 6\%$.

Key words: hydrogen, hydride, pressure, time, temperature, the experiment.

Введение

Одним из способов хранения водорода в автомобиле является хранение в связанном состоянии, в частности в форме гидридов интерметаллидов [1, 2]. Наиболее перспективным и изученным является интерметаллид LaNi_5 [2].

Одной из проблем использования этих систем является их пожаровзрывоопасность, обусловленная свойствами водорода и самой системой хранения. В связи с этим определение изменения характеристик металлгидридного патрона с водородом и времени до его разрушения под воздействием внешнего источника тепла является актуальной задачей.

Анализ публикаций

В работах [2, 3] приведены характеристики металлгидридных систем, динамика выделения водорода из гидрида, а также ряд их теплофизических характеристик в режиме хранения.

В работе [4] были получены теоретические оценки времени до разрушения насыщенных водородом гидридных систем под воздействием повышенной внешней температуры, а также получены дискретные модели зависимости давления в системе под воздействием температуры окружающей среды, характера ее изменения, а также степени насыщения гидрида водородом. В работе [5] приведены экспериментальные значения давления в гидридном патроне при его нагревании в открытом пламени. В работе [6] приведен результат эксперимента по нагреву гидридного патрона до момента его разрушения.

Однако в работах [5, 6] отсутствуют результаты экспериментальных исследований, которые бы позволили судить об адекватности приведенных моделей [4] применительно к низким тепловым потокам ($q < 30 \text{ кВт/м}^2$).

Цель и постановка задачи

Целью работы является получение экспериментальным путем зависимостей давления водорода в патроне с металлгидридом LaNi_5H_x при его нагревании и их сравнение с теоретическими значениями, полученными в соответствии с работой [4].

Проведение эксперимента

В процессе проведения эксперимента исследовалась динамика изменения температуры на внешней стороне оболочки гидридного патрона и давления водорода в нем при воздействии на гидридный патрон тепловых потоков.

Нагрев гидридного патрона осуществлялся с помощью нихромовой нити диаметром 0,8 мм и удельным сопротивлением 2,2 Ом/м. При этом было проведено три серии экспериментов с подводимым напряжением к обмотке 70 В, 110 В и 150 В. Для измерения температур был использован прибор измерительный и регулирующий РТЭ-4.8-11 «Эргос» с термопарой типа ТХК. Давление в

патроне измерялось с помощью преобразователя давления типа МП, что позволяло регистрировать информацию об изменении давления с помощью персонального компьютера.

Для проведения эксперимента были использованы гидридные патроны диаметром 38 мм и длиной 240 мм, выполненные из стали и заполненные интерметаллидом LaNi_5 в количестве 800 г (рис. 1).



Рис. 1. Фото гидридных патронов

Связь между МВА8, РТЭ-4.8 и компьютером осуществляется через преобразователи интерфейсов «Овен» АС4 (стандарт RS-485) от МВА8 и АС3-М (стандарт RS-485) от РТЭ-4.8. Общий вид стенда показан на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид стенда

Подготовка гидридного патрона к эксперименту проводилась согласно схеме, приведенной на рис. 3:

– к внешней оболочке патрона 1 крепилась термопара 2, и патрон в цилиндрической его части обматывался электроизоляционной листовой слюдой 3;

- поверх электроизоляционной слюды наматывалась нихромовая проволока 4;
- поверх нихромовой обмотки наматывался асбестовый шнур 5;
- к обмотке подключался силовой кабель 6;
- гидридный патрон теплоизолировался с помощью асбестокартон 7;
- гидридный патрон 1 с интерметаллидом 8 насыщался водородом (после соответствующего процесса активации [7]).

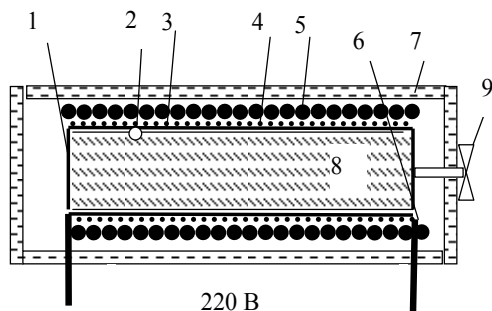


Рис. 3. Схема и фото гидридного патрона, подготовленного к эксперименту: 1 – гидридный патрон; 2 – терморезистор; 3 – электроизоляционная слюда патрона; 4 – нихромовая спираль; 5 – асбестовый шнур; 6 – силовой электрокабель; 7 – асбестокартон; 8 – интерметаллид; 9 – вентиль баллона

В качестве примера на рис. 4 приведены результаты трех экспериментов ($U=70$ В) по определению зависимости давления водорода в патроне при его нагревании (P_i , $i \in [1;3]$), усредненное значение давления (P_c), а также относительное отклонение экспериментальных значений давления водорода в патроне от усредненного значения (ζ_i , $i \in [1;3]$).

Из рисунка следует, что максимальное отклонение экспериментальных значений давления водорода в патроне от усредненного значения составляет около 9%. Это можно объяснить погрешностью определения давления и температуры, погрешностью определения насыщенности гидрида на начальном

этапе, а также несколькими отличающимися характеристиками LaNi_5 в патронах.

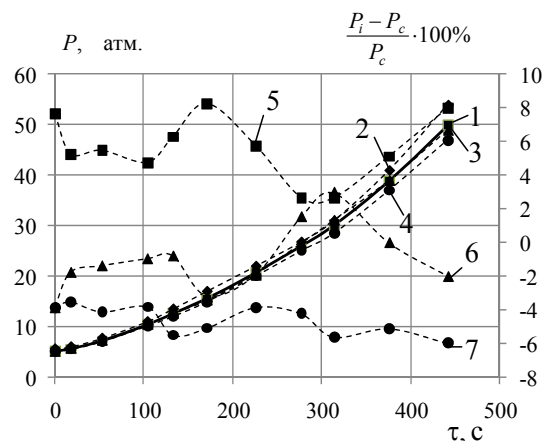


Рис. 4. Зависимость давления водорода в патроне при его нагревании и относительное отклонение экспериментальных значений давления водорода в патроне от усредненного значения: 1 – усредненное значение давления водорода в патроне (P_c); 2 – P_1 ; 3 – P_2 ; 4 – P_3 ; 5 – относительное отклонение значения в эксперименте №1 (ζ_1); 6 – ζ_2 ; 7 – ζ_3

На рис. 5 приведены усредненные результаты серии экспериментов по определению зависимости температуры на стенке патрона и давления водорода в патроне при его нагревании.

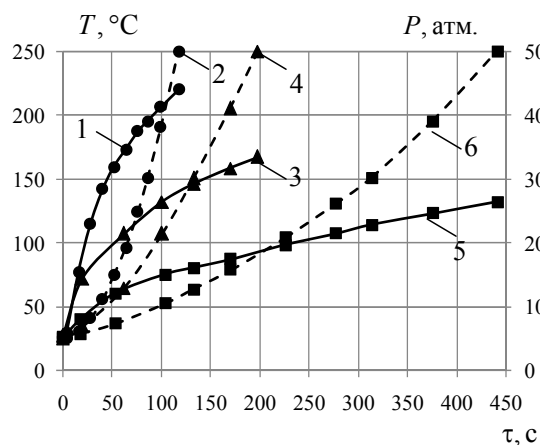


Рис. 5. Зависимость температуры на стенке патрона и давления водорода в патроне при его нагревании: 1 – T_{31} ; 2 – P_{31} ; 3 – T_{32} ; 4 – P_{32} ; 5 – T_{33} ; 6 – P_{33} ; 1, 2 – напряжение на обмотке $U=150$ В; 3, 4 – $U=110$ В; 5, 6 – $U=70$ В

Из рис. 5 следует, что существенное влияние на значения температуры и давления оказывает напряжение на обмотке, т.е. тепловой поток, подводимый к патрону.

На рис. 6 приведены зависимости относительной погрешности определения давления от времени.

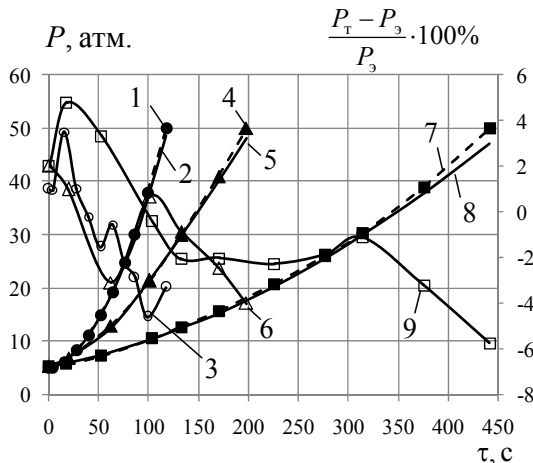


Рис. 6. Относительная погрешность расчетных значений давления водорода в патроне от времени: 1 – P_{31} ; 2 – P_{T1} ; 3 – ξ_1 ; 4 – P_{32} ; 5 – P_{T2} ; 6 – ξ_2 ; 7 – P_{33} ; 8 – P_{T3} ; 9 – ξ_3

Из рис. 6 следует, что максимальное значение относительной погрешности составляет порядка 6 %, что позволяет говорить об адекватности модели, полученной в работе [4].

Разницу экспериментального и теоретического давления разрушения можно объяснить погрешностью определения насыщенности гидрида на начальном этапе, погрешностями определения давления и температуры, а также принятыми допущениями в модели [4].

Выводы

Экспериментальным путем получены зависимости давления водорода в патроне с гидридом $LaNi_5H_x$ при воздействии на него тепловых потоков $q < 30$ кВт/м². Полученные экспериментальные значения позволили сделать вывод об адекватности теоретической модели, приведенной в [4]. Показано, что погрешность расчетных значений в соответствии с [4] составляет не более 6 %.

Литература

1. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.
2. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей / А.И. Мищенко. – К.: Наукова думка, 1984. – 284 с.
3. Кривцова В.И. Теоретические и экспериментальные пути создания систем хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для двигательных и энергетических установок летательных аппаратов: автореф. дис. на соискание учён. степ. д-ра техн. наук: спец. 05.07.05 «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» / В.И. Кривцова. – Х., 2001. – 32 с.
4. Ключка Ю.П. Математическая модель равновесного состояния в системе хранения водорода на основе гидридов интерметаллидов / Ю.П. Ключка // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2011. – Вип. 4(20). – С. 86–88.
5. Ключка Ю.П. Определение времени разрушения гидридного патрона, обусловленного изменением температурных параметров окружающей среды / Ю.П. Ключка // Науковий вісник будівництва. – 2011. – № 68. – С. 77–80.
6. Борисенко В.Г. Определение времени разрушения баллона с водородом, обусловленного изменением температурных параметров окружающей среды / В.Г. Борисенко, В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – №27. – С. 83–96.
7. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортировка, применение: справочное издание / Д.Ю. Гамбург, В.П. Семенов, Н.Ф. Дубовнин и др. ; под ред. Д.Ю. Гамбурга, И.Ф. Дубовнина. – М.: Химия, 1989. – 672 с.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 марта 2012 г.