

*Ю.П. Ключка, к.т.н., ст. научн. сотр., докторант, НУГЗУ,
В.И. Кривцова, д.т.н, профессор, НУГЗУ*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ СИСТЕМЫ

Получена аналитическая зависимость коэффициента температуропроводности от пористости интерметаллида, его температуры и уровня насыщения водородом. Показано возможность использования усредненного значения температуропроводности.

Ключевые слова. Водород, гидрид, интерметаллид, теплоемкость, температуропроводность, температура, пористость.

Постановка проблемы. Наряду с криогенным и газообразным способом хранения водорода в автомобиле используется и хранение в форме гидридов интерметаллидов [1, 2]. В качестве интерметаллида может использоваться LaNi_5H_x , MnNi_5H_x , MgH_x и т.д.[2].

Одной из проблем этих систем является их пожаровзрывоопасность, обусловленная свойствами водорода, интерметаллида и самой системы хранения. Поэтому, определение скорости прогрева гидрида и, соответственно, повышения давления, является актуальной проблемой.

Анализ последних достижений и публикаций. Существует ряд работ посвященных изучению свойств гидридов интерметаллидов [3-8], а именно:

- сорбирующей способности в зависимости от состава и дисперсности;
- изучению теплоемкости, теплопроводности в зависимости от состава и пористости;
- скорости выделения и поглощения водорода в зависимости от температуры и давления;
- возможности использования гидридов интерметаллидов в системах хранения водорода на различных видах транспорта.

На сегодняшний день наиболее изученным и используемым является гидрид LaNi_5H_x . Его особым отличием является способность выделять и поглощать водород при сравнительно низких температурах и давлениях [1-3].

В работе [8] были определены условия равновесного состояния системы с гидридом интерметаллида LaNi_5H_x .

Однако неизвестным является динамика изменения температуры и давления водорода, а соответственно и свойств гидрида в случае воздействия на систему внешнего источника тепла.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является определение теплофизических характеристик гидрида интерметаллида в условиях воздействия повышенной температуры.

В работе [6] на основе экспериментальных данных было получено выражение для определения теплоемкости LaNi_5H_x в зависимости от температуры и количества поглощенного водорода

$$c = c_{\text{имс}} + 6,68 \cdot 10^3 \cdot \chi, \quad (1)$$

где $c_{\text{имс}} = 3,56 \cdot T^{0,8}$; χ – массосодержание водорода.

Кроме того в работе [6] была получена зависимость теплопроводности гидрида от его температуры и пористости

$$\lambda_{\text{имс}} = \lambda_{\text{H}_2}(T) + 1,17(1 - \Pi)^2. \quad (2)$$

С учетом того, что

$$\lambda_{\text{H}_2}(T) = 0,098 \cdot (3,68 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1), \quad (3)$$

выражение (2) можно представить в виде

$$\lambda_{\text{имс}} = 0,098 \cdot (3,68 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{имс}} + 1) + 1,17 \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right)^2. \quad (4)$$

На рис. 1, в соответствии с выражением (4), представлена зависимость теплопроводности гидрида от его температуры и пористости

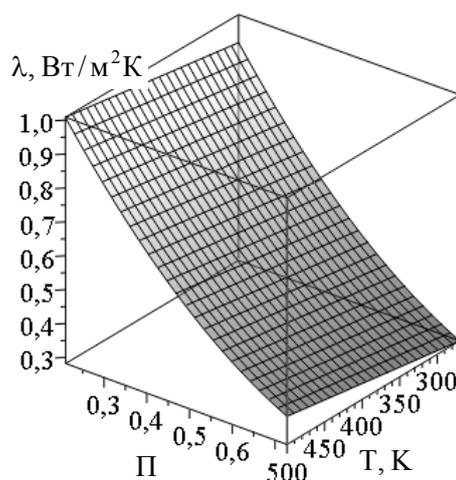


Рис. 2 Зависимость теплопроводности гидрида интерметаллида LaNi_5H_x от его температуры и пористости

Из рисунка следует, что теплопроводность гидрида интерметаллида практически инвариантна к значению температуры (при увеличении температуры в 2 раза, значение теплопроводности изменяется не более чем на 10%).

Выражение для температуропроводности гидрида можно представить в виде

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{\lambda_{\Gamma}}{c_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma}}, \quad (5)$$

где λ_{Γ} – теплопроводность гидрида; c_{Γ} – теплоемкость гидрида; ρ_{Γ} – плотность гидрида;

$$\rho_{\Gamma} = \left(1 - \frac{\Pi}{100\%}\right) \cdot \rho_{\text{имс}}. \quad (6)$$

где Π – пористость гидрида; $\rho_{\text{имс}}$ – плотность интерметаллида.

Тогда, с учетом (1), (4) и (6), выражение (5) примет следующий вид

$$\alpha = \frac{0,098 \cdot (3,68 \cdot 10^{-3} \cdot T_{\text{имс}} + 1) + 1,17 \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right)^2}{(3,56 \cdot T_{\text{имс}}^{0,8} + 6,68 \cdot 10^3 \cdot \chi) \cdot \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right) \cdot \rho_{\text{имс}}}. \quad (7)$$

В соответствии с (7) на рис. 2 представлена зависимость температуропроводности от температуры, водородсодержания и пористости гидрида.

Из рисунка следует, что с увеличением температуры и уменьшением массосодержания водорода в гидриде, его температуропроводность увеличивается. При высоких значениях пористости ($\Pi=60-75\%$) и низких ($\Pi=25-40\%$) температуропроводность увеличивается по сравнению со значением температуропроводности при $\Pi=50\%$.

Учитывая цилиндрическую конструкцию гидридных систем хранения водорода [1-3], уравнение теплопроводности для гидрида в баллоне можно записать в следующем виде

$$\frac{\partial}{\partial \tau} T(r, \tau) = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} T(r, \tau) + \frac{\frac{\partial}{\partial r} T(r, \tau)}{r} \right), \quad (8)$$

где α – коэффициент температуропроводности; $T(r, \tau)$ – значение температуры на расстоянии r от центра баллона в момент времени t .

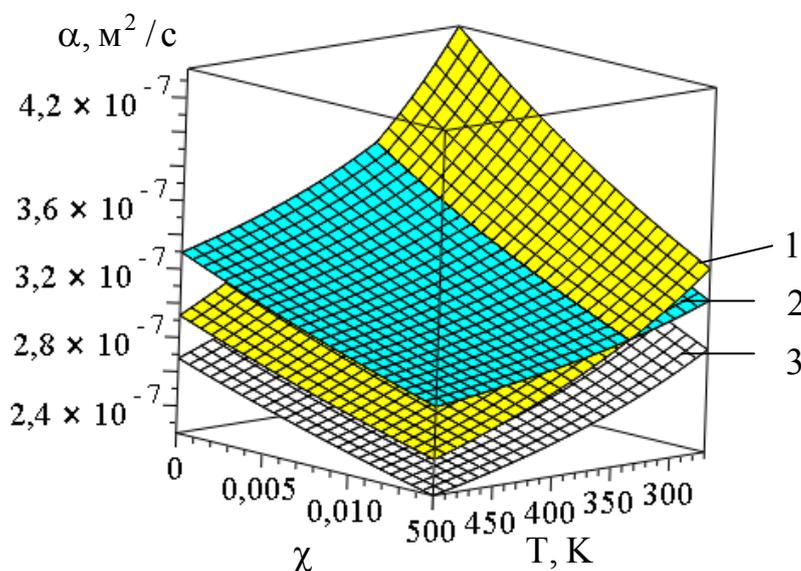


Рис. 2 – Зависимость температуропроводности гидрида интерметаллида LaNi_5H_x от его температуры и массосодержания водорода при различных значениях пористости: 1 – $\text{P}=25\%$; 2 – $\text{P}=75\%$; 3 – $\text{P}=50\%$

Граничные условия первого рода на внешней и третьего рода на внутренней стенках можно записать в виде

$$T_1 = T_{\text{ws}}; \quad (9)$$

$$\lambda_r \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \quad (10)$$

где T_{ws} – температура внешней среды; T_1 – температура стенки; r – радиус.

На рис. 3 показано распределение температуры в слое гидрида в зависимости от температуры и времени при различных значениях пористости (температуропроводности).

Из рисунка следует, что изменение температуропроводности в диапазоне $(2,4 \div 4,2) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ практически не оказывает влияния на распределение температуры в слое гидрида (по истечении 15 минут разница в результатах составляет не более 7%, а по истечению 5 минут не более 4%).

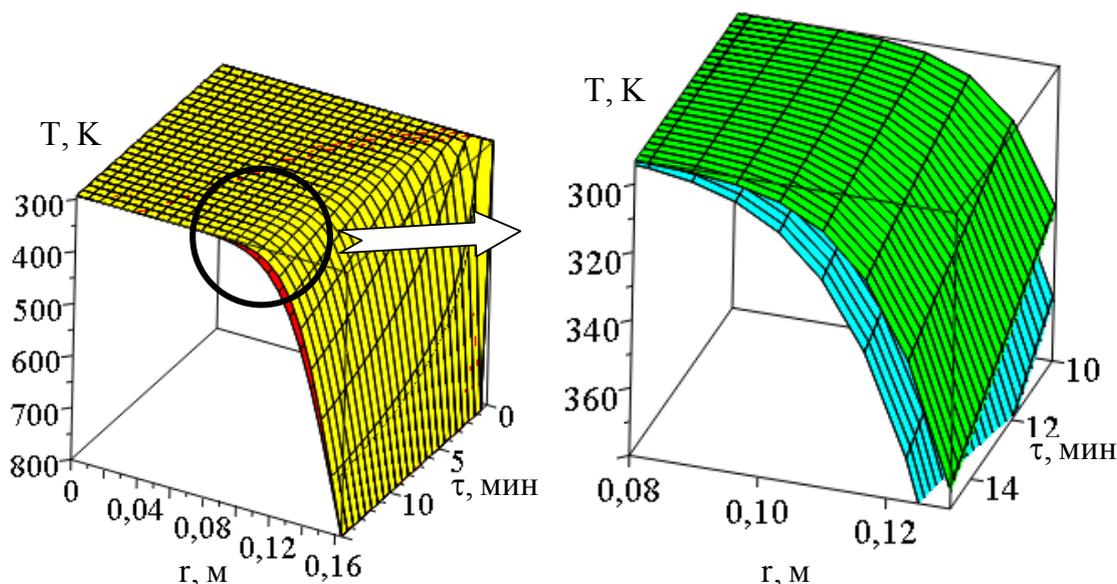


Рис. 3 – Распределение температуры в слое гидрида в зависимости от температуры и времени

Таким образом, при расчетах тепловых полей в гидриде можно пренебречь зависимостью температуропроводности от пористости, температуры, водородосодержания и использовать усредненное значение, равное $(3,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Выводы. В результате проведенной работы получена аналитическая зависимость температуропроводности от пористости интерметаллида, его температуры и уровня насыщения водородом.

Показана возможность использования усредненного значения температуропроводности $(3,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, инвариантного к значениям пористости, температуры и уровня насыщения водородом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей. Киев: Наукова Думка, 1984. – 281 с.
2. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.
3. 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.

4. Атомно-водородная энергетика и технология. – М. Атомиздат, 1980. – Вып. 3. – 272 с.

5. Б.П. Тарасов, В.В. Бурнашева, М.В. Лотоцкий, В.А. Яртысь Методы хранения водорода и возможности использования металлгидридов // Альтернативная энергетика и экология: Международный научный журнал. – Вып. 12. – Саров, 2005. – С.14 – 37.

6. Кривцова В.И. Теоретические и экспериментальные пути создания систем хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для двигательных и энергетических установок летательных аппаратов: Дис... д-ра техн. наук: 05.07.05 / НАН Украины; Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного. - Х., 2001. - 420 с.

7. Соловей В.В. Расчётно-теоретическое исследование десорбции водорода в металлгидридах / В.В. Соловей, Н.А. Чёрная // Сб. трудов ИПМаш: Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования. – Харьков. – 2003. – Т. 1 – С. 259-264.

8. Ключка Ю.П. Оценка пожаровзрывоопасности систем хранения и подачи водорода на основе обратимых гидридов интерметаллидов и разработка рекомендаций по ее снижению: Дис... к-та техн. наук: 21.06.02 / Академия гражданской защиты Украины. - Х., 2006. - 134 с.

nuczu.edu.ua

Ключка Ю.П., Кривцова В.И.

Визначення теплофізичних характеристик металогідридні системи

Отримано аналітичну залежність коефіцієнта температуропровідності від пористості інтерметаліда, його температури і рівня насичення воднем. Показано можливість використання усередненого значення температуропровідності.

Ключові слова. Водень, гідрид, інтерметалідів, теплоємність, температуропровідність, температура, пористість.

Kluchka Yu.P., Krivtsova V.I.

Determination of thermophysical properties of MH Systems

The analytical dependence of the thermal diffusivity of the porosity of the intermetallic compound, the temperature and the saturation level of hydrogen. The possibility of using the average value of thermal diffusivity.

Key words. Hydrogen, hydride, intermetallic compounds, specific heat, thermal conductivity, temperature, and porosity.