

ВІДНОВЛЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІСЛЯ КОНТАКТУ З ВОДНЕМ

*Любименко О.М., к.ф.-м.н., доц. e.n.lyubimenko@gmail.com
Донецький національний технічний університет, Луцьк, Україна*

Паливні елементи - це електрохімічні пристрої, що використовують водень, моноксид вуглецю або газоподібні органічні палива та кисень повітря для виробництва електричної та теплової енергії [1]. Крім того, в паливних елементах немає рухомих частин і мінімізована роль спалювання палива, що робить процес безшумним та екологічно чистим. Промисловість все більше використовує енергоустановки з паливними елементами, та виділяють три напрямки [1]:

- 1) стаціонарна енергетика: енергетичні установки для централізованого та розподіленого електро- та теплопостачання, джерела безперебійного живлення;
- 2) транспортна енергетика: енергетичні установки транспортних засобів, допоміжні силові установки;
- 3) портативна енергетика: джерела струму мобільних пристроях, зарядні пристрої, живлення різноманітних допоміжних пристроїв тощо.

В паливних елементах водень є одним з кращих видів палива із-за його фізико-хімічних властивостей. В Україні використання водневих технологій допоможе вирішити існуючі виклики для енергосистеми України, а саме:

- балансування енергосистеми;
- надійне енергопостачання;
- довгострокове зберігання відновлюваної енергії;
- перенесення добових та навіть сезонних змін попиту на електроенергію.

Застосовування в водневій енергетиці генераторів водню (електролізерів) та паливних елементів неуклінно зростає. Одним з основних елементів таких пристроїв є селективна протонпровідна мембрана. Тому цікаво провести дослідження водневопровідності мембран в апаратах водневої енергетики. В паливних елементах мембранний електродний блок (МЕБ) (рис.1), включає протонпровідну мембрану (ППМ), анод та катод, покритий шарами каталізатора (СК), газодифузійні шари (ГДС) [3].

На рис. 1 представлена схема процесів міграції газів і парів у водневому паливному елементі, що включає мембранний каталізатор. Тут процес 1 - зворотна дифузія води в ППМ від катода до аноду; процес 2 – проникнення водню від анода до катода без електрохімічного окиснення; процес 2.1 - проникнення водню від анода до катода з електрохімічним окисненням, з одночасним проникненням кисню (процес 3) та викликаній їм генерацією води (процес 4), процес 1.1 - проникнення кисню в ППМ (процес 3), що супрово-

джується реакцією з воднем з утворенням води (процес 1.1), процес 5 - проникність азоту [3]. Інші присутні в атмосфері та паливі газу, такі як He, CO, CO₂, NH₃ та H₂S, також існують у паливному елементі.

Для того щоб забезпечити послідовну роботу системи паливних елементів необхідно додатково контролювати показниками температури та керувати потоком тепла. В залежності від типу паливного елемента, оптимальна температура може коливатися від кімнатної температури (+25 °C) до 1000 °C [4], і будь-яке відхилення від заданого діапазону температур може призвести до зниження ефективності паливного елемента.

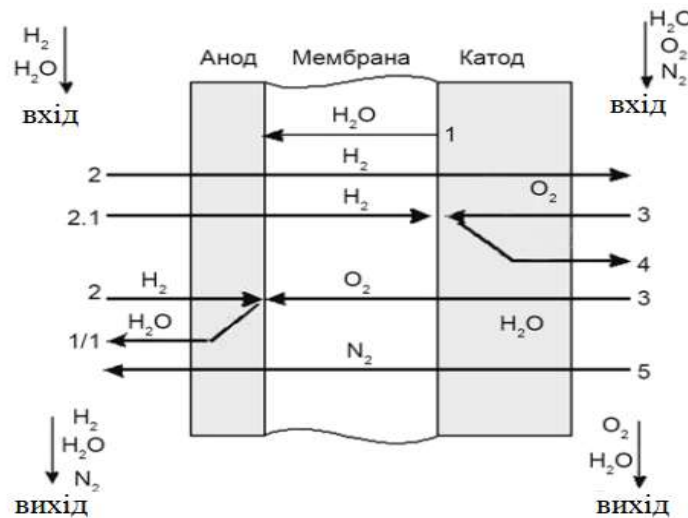


Рисунок 1 – Структурна схема процесів масопереносу у мембранному електродному вузлі [3].

Температура в паливному елементі не є однорідною, навіть коли є постійний газовий потік в каналах. Це відбувається за рахунок теплопередачі [5-7] від газу до поверхні елемента, а для певних типів паливних елементів - фазової зміни реагентів або продуктів. Для точного прогнозування температурно-залежних параметрів, а також швидкості реакції і транспортування необхідно точно визначити розподіл температури і тепла.

Конвективний теплообмін відбувається між поверхнею твердого тіла і газовими потоками, а провідний теплообмін відбувається в твердій та пористій структурах, в результаті чого формується градієнтний сплав водень - матеріал, зі змінними по перерізу властивостями [5-8] та зміною форми металу в результаті насичення воднем та зміни температури.

Приклад такої зміни форми зафіксовано експериментально в водородо-вакумній установці [5], та отримано залежності зміни форми від часу. Було показано [6-8], що при односторонньому насиченні воднем в умовах, відповідних α - області на діаграмі стану системи Pd-H, пластина зазнає вигин в два етапи.

На першому етапі вигин пластини розвивається досить швидко і максимальна стріла прогину досягається за 10-20 с. При цьому збільшення тиску

водню викликає досить сильне зростання максимального вигину пластини, так що при $P_{H2} = 0,43 \text{ МПа}$ стріла прогину досягає 10 мм.

На другому етапі насичення воднем пластина повільно розпрямляється. При цьому досягається або практично повна оборотність вигину, або має місце невеликий залишковий (стаціонарний) вигин.

У даній роботі була поставлена задача вивчити вплив додаткового вмісту водню на закономірності і масштаби формозміни паладієвої пластини для виготовлення паливного елемента при її односторонньому насиченні воднем.

В результаті дослідження встановлено експериментальні закономірності індукованого воднем формозмінення паладієвої пластини, визначено, що при насиченні воднем в металі формується тимчасовий градієнтний матеріал «метал-водень» і завжди виникають водневі концентраційні напруження. Це в свою чергу забезпечує ефективне планування та визначення часу проникнення водню в метал. Допомогає контролювати зміну форми та дозволяє регулювати режими роботи паливного елемента. Визначено, що максимальний вигин пластини відбувається при постійній температурі, та визначається двома фундаментальними властивостями системи Pd-H, а саме, коефіцієнтом дифузії і рівноважної розчинності водню в паладії. Проте при зміні температури змінюється коефіцієнт дифузії водню в паладії і рівноважна концентрація водню в паладії, що обумовлює температурну залежність остаточного вигину ($y_{\min}$) пластини та його змінення (як зростання так і зменшення) при її односторонньому насиченні воднем.

Наукова новизна полягає у використанні відомого матеріалу паладію, який при контакті з воднем стає тимчасовим градієнтним сплавом зі змінними фізичними властивостями. Встановлено, що теплообмін в пластині і енергетична рівновага навколо пластини базуються швидкості на теплового потоку, що виникає під час реакцій в паливних елементах і втратах тепла, які відбуваються в паливному елементі.

Література

1. <http://www.inenergy.education/articles/bazovaya-informatsiya/chto-takoe-toplivnyy-element/>
2. Бекман И.Н., Бессарабов Д.Г., Бунцева И.М. Ватематическое и программное обеспечение экспериментов по изучению нестационарной водородопроницаемости мембран, используемых в мембранных электролизерах и водородных топливных элементах. Альтернативная энергетика и экология (ISJAE). 2015;(21):55–69. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.21.007>
3. Герятовіч М. В. Вітро–сонячний комплекс з воднево акумулюючої установкою // Радіоелектроніка, електротехніка та енергетика. Т. 3: 13 Міжнар. наукова технічна конф. студентів і аспірантів, Москва, 1–2 березня 2007: Додати тез. доп. – М., 2007. №3. С. 353
4. Гольцов В. А. Установка, методика и результаты исследования водородоупругой деформации палладиевой пластины / В. А. Гольцов, Е. Н. Любименко, Ж. Л. Глухова // Физико–химическая механика материалов. – 2009. – Т. 45, № 5. – С. 55–60.

5. Любименко О. М. Експериментальне дослідження поведінки пластини з палладію при додатковому насиченні воднем при 150 °С. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2015 – Т. 16, № 3. – С.549 – 552.
6. Гольцова М.В., Экспериментальные закономерности и феноменологическая модель формоизменения палладиевой пластины при ее одностороннем насыщении водородом // Альтернативная энергетика и экология. –2014. –№ 1. –С. 152–166.
7. Водородные концентрационные напряжения: термодинамическое описание и математическое моделирование / Ж. Л. Глухова, В. А. Гольцов, Т. А. Щеголева, Е. Н. Любименко // Металлофизика и новейшие технологии. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 333–342.
8. Любименко Е. Н. Формоизменение палладиевой пластины, индуцированное водородом / Е. Н. Любименко // Физико–химическая механика материалов. – 2012. – Т. 48, № 1. – С. 83–88.

Анотація

Виконанні дослідницькі роботи по визначенню впливу на паливні елементи температури та зміни форми елементів (пластини) при контакті з воднем. Підтверджено, що формозміна пластини з градієнтного сплаву α -PdH_n розвивається в два етапи. В результаті дослідження встановлено експериментальні закономірності індукованого воднем формозмінення палладієвої пластини, визначено, що при насиченні воднем в металі формується тимчасовий градієнтний матеріал «метал-водень» і завжди виникають водневі концентраційні напруження. Визначено, що максимальний вигин пластини відбувається при постійній температурі, та визначається двома фундаментальними властивостями системи Pd-H, а саме, коефіцієнтом дифузії і рівноважної розчинності водню в палладії. Проте при зміні температури змінюється коефіцієнт дифузії водню в палладії і рівноважна концентрація водню в палладії, що обумовлює температурну залежність остаточного вигину ($u_{\min}$) пластини та його змінення (як зростання так і зменшення) при її односторонньому насиченні воднем.

Ключові слова: паливний елемент, температура, дифузія, формо змінення, температура, водень.

Abstract

Performing research to determine the effect of temperature on fuel cells and changes in the shape of the elements (plates) in contact with hydrogen. It is confirmed that the deformation of the α -PdH_n gradient alloy plate develops in two stages.. It is determined that the maximum bending of the plate occurs at a constant temperature, and is determined by two fundamental properties of the Pd-H system, namely, the diffusion coefficient and equilibrium solubility of hydrogen in palladium. However, when the temperature changes, the diffusion coefficient of hydrogen in palladium and the equilibrium concentration of hydrogen in palladium change, which determines the temperature dependence of the final bending ($u_{\min}$) of the plate and its change (both increase and decrease) with unilateral hydrogen saturation.

Key words: fuel cell, temperature, diffusion, form of change, temperature, hydrogen.