

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА КІНЕТИКА ВИДАЛЕННЯ ВОДНЮ З ТИМЧАСОВИХ ГРАДІЄНТНИХ СПЛАВІВ В ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

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

На сьогоднішній день в Україні існує безліч проблем у сфері теплоенергетики, зокрема пов'язаних із недостатньою якістю енергетичних ресурсів. Контроль якості енергетичних ресурсів можливий, якщо енергію виробляти промислово-хімічним методом, особливо з використанням води. Однак для виробництва водню потрібні інші енергоносії, такі як електроенергія, газ та нафта, що робить цей процес вибухонебезпечним. Високоєфективний водень дозволяє використовувати сучасні технології водневої енергетики, але виникає проблема створення специфічного обладнання для його отримання. Взаємодія матеріалів з воднем призводить до внутрішніх напружень, таких як воднево-фазові та воднево-концентраційні, які можуть призвести до виходу із строю енергетичного обладнання. Проте вплив водню може також покращувати структуру та властивості матеріалів, сприяючи створенню нових матеріалів із різноманітними фізичними властивостями.

Метою даної роботи є проведення експериментальних досліджень та вивчення поведінки матеріалів, які допомагатимуть отримувати водень для водневої енергетики при різних умовах.

Вивчено вплив зміни тиску гідрогену в камері гідрогенно-вакуумної установки на паладієвому кантилевері за постійної температури $+240^{\circ}\text{C}$ та різних швидкостей відкачування гідрогену від $P_{\text{H}_2} = 0,03 \text{ МПа}$ до $0,43 \text{ МПа}$ з камери установки.

На рис.1 представлено характерну часову динаміку стріли вигину кантилеверу зі сплаву $\alpha\text{-PdH}_{0,0105}$ у процесі дегазації при 240°C та тиску гідрогену $0,03 \text{ МПа}$ в камері (Крива 1). Під час зменшення тиску гідрогену в камері до $1,33 \text{ Па}$, який тривав $\Delta t_{\text{в}} = 1,66 \text{ с}$, експериментально зафіксовано вигин кантилеверу.

Після досягнення показника $1,33 \text{ Па}$ на манометрі, процес дегазації камери та кантилевера тривав, а стріла вигину зазнала додаткового збільшення, досягаючи свого максимального значення ($U_{\text{max}} = 1,6 \text{ мм}$) за час ($\Delta t_{\text{max}} = 9,3 \text{ с}$ (точка А на рис.1). Подальший процес включав розпрямлення кантилевера, та спостерігалось сповільнення цього процесу з часом (ділянка АВ, рис.1). Через час $\Delta t_{\text{ст}} = 120 \text{ с}$, кантилевер досяг певного стаціонарного стану, який дорівнював його вихідному положенню ($U_{\text{ст}} = 0 \text{ мм}$, точка В на рис. 1). У подальшому, при додатковій витримці $t_{\text{дод}} = 120 \text{ с}$ (ділянка ВС), $U_{\text{ст}}$ залишався сталій.

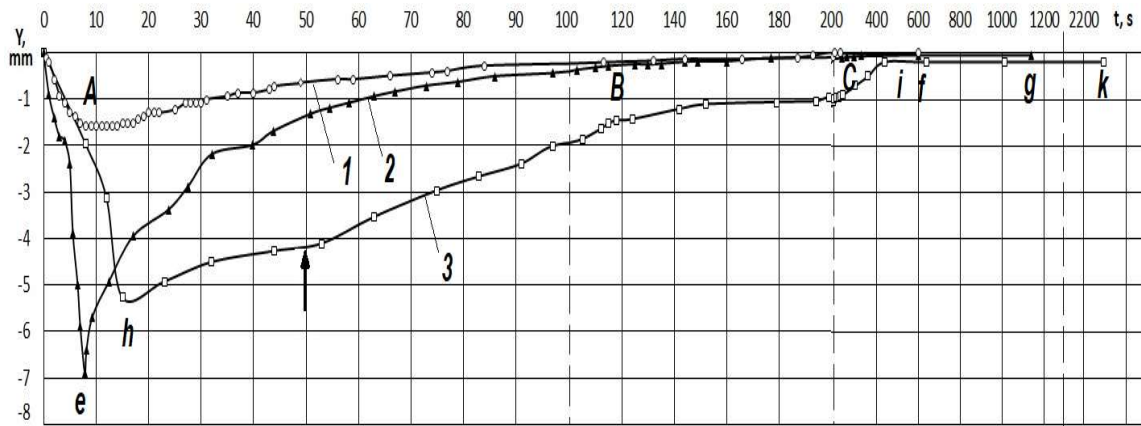


Рисунок 1. Часові залежності зміни форми кантилеверу при температурі 240°C у процесі дегазації: при тиску гідрогену $0,03\text{ МПа}$ для ступу $\alpha\text{-PdH}_{0,0105}$ (1); при тиску гідрогену $0,3\text{ МПа}$ для ступу $\alpha\text{-PdH}_{0,0464}$: (2) - час дегазації $5,59\text{ с}$; (3) - час дегазації $49,77\text{ с}$.

Цікаво, що при підвищенні тиску в камері в 10 разів до $0,3\text{ МПа}$ та створенні ступу $\alpha\text{-PdH}_{0,0464}$ з концентрацією гідрогену в паладії в 4,6 раза більше, ніж у попередньому експерименті, в процесі зменшення тиску гідрогену до $1,33\text{ Па}$, що триває $\Delta t_{\text{в}} = 5,59\text{ с}$, експериментально фіксувався закономірний і значний вигин кантилеверу (на рис. 1, крива 2). Після досягнення показника $1,33\text{ Па}$ на манометрі, дегазація камери та кантилевера тривала, і стріла вигину зазнала додаткового збільшення, досягаючи свого максимального значення ($U_{\text{max}} = -6,9\text{ мм}$) за час $\Delta t_{\text{max}} = 7,86\text{ с}$ (точка e, крива 2 на рис. 1). Подальший процес включав розпрямлення кантилевера, а спостерігалось сповільнення цього процесу з часом (ділянка e-f, крива 2). Через час $\Delta t_{\text{ст}} = 600\text{ с}$, кантилевер досяг певного стаціонарного стану, який був дуже близький до його вихідного положення ($U_{\text{ст}} = -0,04\text{ мм}$, точка f на рис. 1). У подальшому, при додатковій витримці $t_{\text{дод}} = 540\text{ с}$ (ділянка f-g), $U_{\text{ст}}$ залишався сталим.

Цікаво відзначити, що при повторенні експерименту та зниженні швидкості подачі у 8 разів, в процесі зменшення тиску гідрогену в камері до $1,33\text{ Па}$, яке тривало $\Delta t_{\text{в}} = 49,77\text{ с}$ (на рис. 1, крива 3, зазначено стрілкою), експериментально зафіксований менший максимальний вигин ($-5,27\text{ мм}$) кантилеверу через 15 с (точка h, крива 3 на рис. 1) після початку процесу дегазації гідрогену з камери з утворенням плато протягом 3 с . Після досягнення показника $1,33\text{ Па}$ на манометрі, дегазація камери та кантилевера тривала, і стріла вигину кантилевера зменшувалася, а зразок поступово розпрямлявся. Через час $\Delta t_{\text{ст}} = 500\text{ с}$, кантилевер досяг певного стаціонарного стану ($U_{\text{ст}} = -0,19\text{ мм}$, точка i, крива 3, рис. 1). У подальшому при додатковій витримці (ділянка i-k) $U_{\text{ст}}$ залишався постійним протягом 1860 с .

Отже, подані на рис. 1 експерименти, відповідно до результатів інших випробувань наочно демонструють основні експериментальні закономірності, що реакція паладієвого кантилевера на водень відбувається різним чином протягом двох послідовних часових етапів.

У ході експериментів, зокрема при зміні концентрації технічно чистого водню при $\Delta n = \text{const}$, була досліджена поведінка та особливості взаємодії водню з матеріалами, зокрема паладієм, при підвищених температурах та тисках. Фізична природа досліджуваного явища полягає в тому, що в процесі дегазації металу утворюється тимчасовий когерентний пружно напружений градієнтний однофазний сплав $\alpha\text{-PdH}_n$, де n - змінна величина вмісту водню. Це впливає на фізичні властивості матеріалу та його структуру.

Таким чином, модуль градієнта концентрації водню dH_n/dh для градієнтного сплаву $\alpha\text{-PdH}_n$ постійно змінюється в процесі як насичення так дегазації водню і визначає закономірності проникнення водню у матеріал в зазначених експериментальних умовах.

Література

1. Lyubymenko O.M. The Influence of Hydrogen on the Process of Changing the Shape of Palladium Plates at a Temperature above at the Critical Temperature // *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 2023, 45(2), p. 263–274. <https://doi.org/10.15407/mfint.45.02.0263>
2. E. N. Lyubimenko and O. A. Shtepa, *J. Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **43**:12, (2021) (in Ukrainian), <https://doi.org/10.15407/mfint.43.12.1639>.
3. E. P. Feldman and O. M. Lyubimenko, *Journal Acta Mechanica*. <https://doi.org/10.1007/s00707-022-03471-5>.

Анотація

Виконанні дослідницькі роботи по визначенню впливу на паливні елементи концентрації водню в сплаві при постійній температурі та кінетики його евакуації зі сплаву $\alpha\text{-PdH}_n$. Підтверджено, що формозміна пластини з градієнтного сплаву $\alpha\text{-PdH}_n$ розвивається в два етапи. В результаті дослідження встановлено експериментальні закономірності викликані водневим впливом на поведінку кантилеверу при дегазації водню з нього, бо при дегазації водня в металі формується тимчасовий градієнтний матеріал «метал-водень» і завжди виникають водневі концентраційні напруження.

Ключові слова: паливний елемент, температура, форма змінення, водень.

Abstract

Research work was carried out to determine the influence of the concentration of hydrogen in the alloy at a constant temperature on the fuel elements and the kinetics of its evacuation from the $\alpha\text{-PdH}_n$ alloy. It has been confirmed that the shape change of the $\alpha\text{-PdH}_n$ gradient alloy plate develops in two stages. As a result of the study, the experimental regularities caused by the hydrogen effect on the behavior of the cantilever during degassing of hydrogen from it were established, because during the degassing of hydrogen, a temporary gradient material "metal-hydrogen" is formed in the metal, and hydrogen concentration stresses always arise.

Keywords: fuel cell, temperature, form of change, hydrogen.