

ВЫХОД ВОДОРОДА ИЗ МЕТАЛЛОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ И РАДИАЦИОННОМ НАГРЕВЕ

Юань Цзэюй, В.С. Сыпченко, Н.Д. Толмачева

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.И. Тюрин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: 550162525@qq.com

RELEASE OF HYDROGEN FROM METALS UNDER THERMAL AND RADIATION HEATING

Yuan ZeYu, V.S. Sypchenko, N.D. Tolmacheva

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail:550162525@qq.com

***Abstract.** In the present study, we performed the release of hydrogen from metals under the effect of thermal stimulation and influence of electron beam for the release of hydrogen. We find that temperature of the maximal release of hydrogen exists in the process of experimental and the difference between TCGV and PCGV.*

Введение. Возобновляемая водородная энергетика представляет экологически чистый и эффективный источник энергии. Изучение закономерностей выхода водорода из металлов, позволяет использовать водородную энергию более эффективно и безопасно. В этом эксперименте исследовано положение (температура) максимума выхода водорода при термостимулированном (ТСГВ) и радиационностимулированном (РСГВ) газовойделении. Метод РСГВ позволяет существенно снизить температуру выхода водорода из металлов.

Методика эксперимента. Изучение миграции, диффузии и выхода изотопов водорода из металлов под действием ускоренных электронов осуществлялось методом масс-спектрометрии *in situ* на высоковакуумной ($P_{ост} < 10^{-5}$ Па) установке с безмаслянной откачкой [1]. Для стимуляции выхода изотопов водорода применялся электронный пучок с энергией 35 КэВ, плотность тока пучка 75 мкА/см². Металлы водородом насыщались электролитически в 0.1 н растворе H₂SO₄ при токах 0,02-0,04 А/см² в течение 20-48 часов. Исследуемые образцы в вакуумной ячейке размещали на изолирующей керамической подложке. Температуру образцов измеряли термопарой на лицевой и тыльной сторонах образца.

На рис 2,3 представлены скорости выхода дейтерия из никеля, палладия в случае термического (ТСГВ) линейного нагрева со скоростью 1,0 К/с (кривые 1) и радиационного нагрева электронным пучком (кривые 2) со скоростью 10 К/с. Увеличение скорости нагрева способствует сдвигу максимума на кривых газовойделения в более высокотемпературную область.

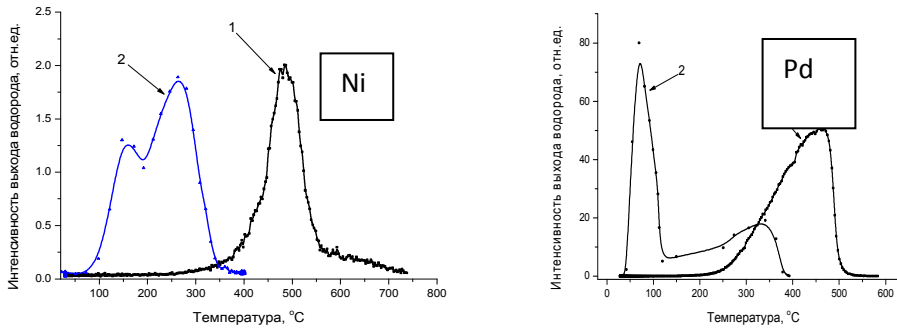


Рис.2. Термостимулированный (1) и радиационностимулированный (2) выход водорода из никеля.

Сдвиг РСГВ по сравнению с ТСГВ $\Delta T_{Ni}=350-250$ 0С

Рис.3. Термостимулированный (1) и радиационностимулированный (2) выход водорода из палладия.

Сдвиг РСГВ по сравнению с ТСГВ $\Delta T_{Pd}>3800$ С

Величина энергии активации выхода водорода для линейного нагрева образца может быть определена по формуле Редхeda [2]:

$$E_d = kT_{\max} \left(\ln \frac{\nu_1 T_{\max}}{\beta} - 3,64 \right)$$

где β - скорость нагрева, $\nu_1 \sim 10^{13}c^{-1}$ – частотный фактор десорбции. В таблице приведены результаты расчета выхода энергий активации десорбции водорода при линейном термическом нагреве со скоростью ~ 1 К/с и линейном нагреве образца электронным пучком со скоростью ~ 10 К/с.

Таблица1

Параметры спектров ТСГВ и РСГВ

Образец	β (ТСГВ), К/с	T_{\max} (ТСГВ),К	E_d (ТСГВ),эВ	β (РСГВ), К/с	T_{\max} (РСГВ),К	E_d (РСГВ),эВ
Ni	1	773	2,5	10	423,548	1,3;1,7
Pd	1	753	2,3	10	363	1,1

Результаты. Полученные результаты показывают, что при нагреве образца электронным пучком десорбция водорода происходит с эффективной энергией активации в 1,5-2 раза меньшей чем при ТСГВ. Указанное различие может быть связано с неравновесным характером десорбции водорода в условиях радиационного воздействия [3,4]. Облучение насыщенных водородом материалов, например электронами, поглощаемыми в слое толщиной L_{ex} , сопровождается генерацией в водородной подсистеме металла колебательно-возбужденных состояний со скоростью G_{ex} . Если учесть, что степень насыщения металлов водородом велика и соответствует в Pd примерно одному атому Н(D) на атом металла, то энергия колебаний в водородной подсистеме (частота с которой колеблются ионы водорода, будучи смещены относительно ионной подрешетки металла):

$$\hbar\omega = \hbar e \sqrt{\frac{\rho_{Pd} N_A}{\mu_{Pd} m_p \epsilon_0}} = \hbar e \sqrt{\frac{n_H}{m_p \epsilon_0}} \cong 0,2 \text{ эВ},$$

где ρ_{Pd} , ρ_{Pd} - плотность и молярная масса палладия; m_p - масса протона; N_A - число Авогадро; ϵ_0 - электрическая постоянная. Это соответствует частоте колебаний в металлах H^+ : $5 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$.

Заключение. Определены скорости выхода водорода из никеля и палладия в случае термического (ТСГВ) линейного нагрева со скоростью 1,0 К/с и радиационного нагрева электронным пучком со скоростью 10 К/с. Хотя увеличение скорости нагрева должно способствовать сдвигу максимума на кривых газовой выделения в более высокотемпературную область, экспериментально наблюдается существенный сдвиг максимумов термогазовыделения при радиационном нагреве в низкотемпературную область на 250-300 градусов и понижение энергии активации выхода при РСГВ в 1,5-2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. N. Nikitenkov, A. M. Hashhash, I. A. Shulepov, V. D. Khoruzhii, Yu. I. Tyurin, I. P. Chernov, and E. N. Kudryavtseva A Plant for Studying Radiation and Thermal Desorption of Gases from Inorganic Materials Instruments and Experimental Techniques, 2009, Vol. 52, No. 6, pp. 865–87
2. D.P. Woodrouff, T.A. Delchar, Modern Techniques of Surface Science, 2 ed, Cambridge University Press, 1994, 586 p.)
3. Yu. Tyurin and I. Chernov, Non-equilibrium release of atomic hydrogen from metals under irradiation, Int. J. Hydrogen Energy 27(2002) 829–835. Yu.I. Tyurin , N.N. Nikitenkov , I.T. Sigfusson , A. Hashhash , Van Yaomin , A.S. Dolgov , L.I. Semkina//Diffusion and release of hydrogen from metals under the effect of ionizing radiation, Vacuum
4. Yu. Tyurin and I. Chernov, Non-equilibrium release of atomic hydrogen from metals under irradiation, Int. J. Hydrogen Energy 27(2002) 829–835.
5. I.P. Chernov, A.S. Rusetsky, D.N. Krasnov, V.V. Larionov, T.I. Sigfusson, Yu.I. Tyurin, Radiation-stimulated hydrogen transfer in metals and alloys, Journ. of Engin. Thermophys., 20(4) (2011) 360-379.