

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОГО ВЫХОДА ВОДОРОДА ИЗ ТИТАНА

Лю Ланьцэ, В.С. Сыпченко, Л.И. Семкина,

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: larrymath@163.com

THE STUDY OF THERMALLY STIMULATED RELEASE OF HYDROGEN FROM THE TITANIUM

Liu Lanze, V.S. Sypchenko, L.I. Semkina

Scientific Supervisor: D.P.-M.S, Prof., Dr. Yu.I. Tyurin

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

E-mail: larrymath@163.com

Abstract. Studing the thermally stimulated process of diffusion and release of hydrogen from the titanium Bt1-0 amongst high temperature. Confirming active energy release of Titanium sample of different thickness and different methods of saturation (Sieverts and electrolytic).

Введение. Свойства водорода в титане являются важной проблемой для многих задач прикладного и фундаментального характера. В работе исследуются, свойства титана накапливать и хранить водорода, что существенно в задачах водородной энергетики. В то же время, водород, обладая высокой подвижностью в твердых телах, представляет самостоятельный интерес для изучения его поведения при высокой температуре в титане. Экспериментально показано, что процесс диффузии и выхода водорода из титана может быть ускорен за счет нескольких эффектов, при нагреве до высокой температуры. Диффузия атомов в присутствии возбужденной подсистемы легких атомов, может быть стимулирована радиацией, в условиях эффективного обмена колебательными квантами в водородной подсистеме. В отличие от электронной подсистемы, подсистема водород-металл способна запасть энергию на время, достаточное для осуществления ускоренного процесса диффузии.

Методика эксперимента

Изучение миграции, диффузии и выхода изотопов водорода из металлов в условиях линейного нагрева со скоростью 1 град/сек осуществлялось методом масс-спектрометрии *in situ* на высоковакуумной ($P_{\text{ост}} < 10^{-5}$ Па) установке с безмаслянной откачкой.

Металлы водородом насыщались методом Сивертса при давлении 2 атм, 600⁰С в течении 20 минут или в 0.1 н растворе H₂SO₄ при токах 0,2 А/см² в течение 6 часов. Программируемый нагрев осуществлялся внешним коаксиальным нагревателем. Температуру измеряли термопарой на лицевой и тыльной сторонах образцов.

На рис 1, 2 представлены скорости выхода дейтерия из титана в случае термического (ТСГВ) линейного нагрева со скоростью 1,0 К/с (кривые 1). Увеличение скорости нагрева способствует сдвигу максимума на кривых газовой выделению в более высокотемпературную область. Величина энергии активации десорбционного выхода водорода для линейного нагрева образца может быть определена по формуле Редхеда [1]:

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

где $\beta = \frac{dT}{dt}$ - скорость нагрева, В таблице приведены результаты расчета выхода энергий активации десорбции водорода при линейном термическом нагреве со скоростью ~ 1 К/с. $\nu_1 \sim 10^{13} \text{с}^{-1}$ – частотный фактор десорбции водорода.

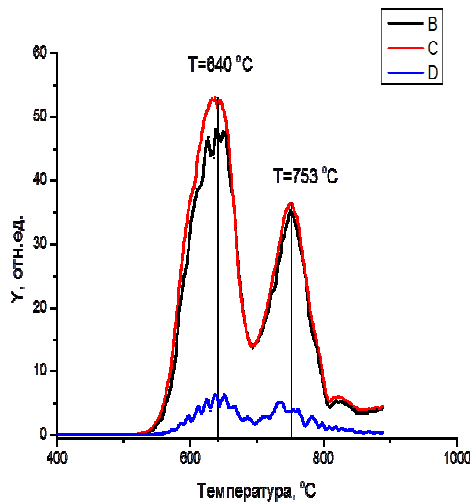


Рис1. TCGV, Ti, Bm1-0, P=2атм, t=20мин, T=600C, d=0.93mm, C=033масс%.

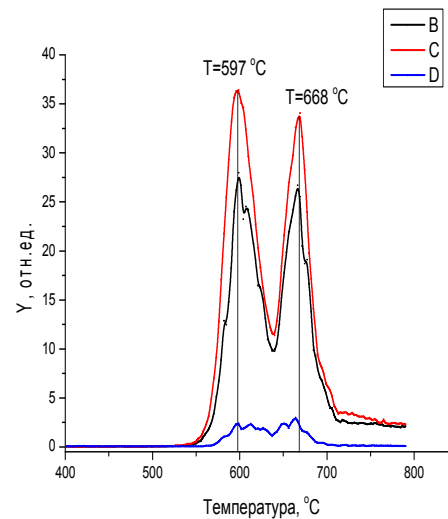


Рис2. TCGV, Ti, Bm1-0, P=2атм, t=20мин, T=600C, d=0.2mm, C=0,42масс%.

Образец	β (ТСГВ), К/с	T_{\max} (ТСГВ), C	E_d (ТСГВ), эВ	T_{\max} (ТСГВ), C	E_d (ТСГВ), эВ
Ti(d=0.93mm)	1	640	1.8	753	2.1
Ti(d=0.2mm)	1	597	1.7	668	1.9

Экспериментальные результаты

Полученные результаты показывают, что увеличение толщины образца сопровождается сдвигом максимума термогазовыделения в высокотемпературную область. По положению максимума термогазовыделения и точек перегиба на кривых термогазовыделения удается определить энергию активации и предэкспоненциальный множитель коэффициента диффузии для титана.

По положению максимума термогазовыделения T_{\max} можно определить величину энергии активации диффузионного выхода водорода в режиме линейного нагрева

$$E_a = xkT_{\max}$$

Величина x определяется из уравнения:

$$x \exp x = \frac{E_a}{kT_{\max}} \exp\left(\frac{E_a}{kT_{\max}}\right) = \frac{\pi^2 D_0 T_{\max}}{d^2 \beta} = \pi^2 \left(\frac{l_D}{d}\right)^2 \frac{\nu_{\text{диф}} T_{\max}}{\beta}$$

Выводы.

Полученные результаты показывают, что наиболее вероятной лимитирующей стадией является выход водорода из приповерхностного слоя титана с высоко активационными десорбционными процессами.

Материал	T, К	$D_0, 10^{-3} \text{см}^2/\text{с}$	E, кДж/моль	E ₁ , эВ	E ₂ , эВ
Ti (0,2мм)	500-1173	10±5,0	51,5 ± 3,22	0,70 (870К)	0,76 (941К)
Ti(0,93мм)	500-1373	10±5,0	36,6 ± 2,03	0,57 (913К)	0,65 (1026 К)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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 Volume131, September 2016, Pages 73–80.