

## УДАЛЕНИЕ ВОДОРОДА ИЗ Ti VT 1-0 ПОД ДЕЙСТВИЕМ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Ян Хан, Лю Юйчжен, М.Н. Бабихина

Научный руководитель: ассистент, к.ф.-м.н. В.С. Сыпченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [1239201854@qq.com](mailto:1239201854@qq.com)

## REMOVAL OF HYDROGEN FROM Ti VT 1-0 UNDER ACTION OF ACCELERATED ELECTRONS

Yang Hang, Liu Yuchen, M.N. Babikhina

Scientific Supervisor: Assistant, PhD V.S. Sypchenko

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

E-mail: [1239201854@qq.com](mailto:1239201854@qq.com)

**Abstract.** *The process of hydrogen removal from titanium of VT1-0 grade under the action of accelerated electrons has been studied experimentally. The irradiation was carried out by an electron beam with energies of 25-40 keV during 15-60 min. The information on the hydrogen content in samples from titanium of VT1-0 grade has been obtained both before and after irradiation with accelerated electrons. The activation energy of hydrogen desorption from titanium has been calculated. It was found that the increase of the time and the energy of an irradiation lead to the decrease of the residual hydrogen content in the titanium samples.*

**Введение.** Проблема водорода в металлах и сплавах постоянно находится в центре внимания широкого круга исследователей: физиков, химиков, металлургов и др. Интерес к этой проблеме из года в год растет. С одной стороны интерес связан, с наибольшим накоплением водорода в водородных аккумуляторах, с целью дальнейшего использования водорода в качестве топлива, а с другой, удаление водорода из конструкционных материалов, без разрушения или изменения самого материала. Одним из способов извлечения водорода без изменения свойств металла является радиационная десорбция, а именно, удаления водорода в процессе облучения ускоренными электронами. В связи с этим, целью является получение закономерностей выхода водорода из титана марки VT1-0 под воздействием ускоренных электронов разных энергий.

**Методика эксперимента.** Изучение миграции и выхода водорода из технически чистого титана марки VT1-0 производилось под воздействием ускоренных электронов масс-спектрометрическим методом (in situ) [1]. Объектом исследования являлись образцы титана марки VT1-0 размером 5×7 мм. Облучение ускоренными электронами производилось с энергиями от 25 до 40 кэВ и плотность пучка электронов  $j=25.5 \text{ мкА}\cdot\text{см}^{-2}$  со временем облучения от 15 до 60 мин. Насыщенные образцов водородом производилось электролитическим методом, в течение 120 мин при плотности тока  $j=0.48 \text{ А}\cdot\text{см}^{-2}$  в 1М электролитическом растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Перед облучением ускоренными электронами образцы нагревали до температуры ~250 °С, после достижения и стабилизации указанной температуры образцы облучалась. Исследуемые образцы размещались в вакуумной ячейке на изолирующей керамической подложке. Температура образцов измерялась с лицевой стороне образца термопарой.

Содержания водорода определялось на анализаторе водорода RHEN602 фирмы LECO. Энергию активации десорбции ( $E_d$ ) определялась из десорбционных спектров, по формуле Редхеда [2]

$$E_d = kT_{\max} \left( \ln \frac{v_1 T_{\max}}{\beta} - 3.64 \right)$$

где  $\beta$  – скорость нагрева (для термдесорбции  $\beta=1$  град/с),  $v_1 \sim 10^{13} \text{ c}^{-1}$  – собственная частота колебаний кристаллической решетки (частотный фактор десорбции),  $k$  – коэффициент Больцмана,  $T_{\max}$  – температура, соответствующая максимальной интенсивности.

На рис. 1 представлены результаты содержания водорода в титане VT1-0 после облучения в зависимости от времени облучения. Из рисунка видно, что при облучении электронами вплоть до 30 мин наблюдается уменьшение содержания водорода в образце, а при времени облучения более 30 мин водород в из образца удалялся почти полностью, согласно данным анализатора водорода RHEN602.

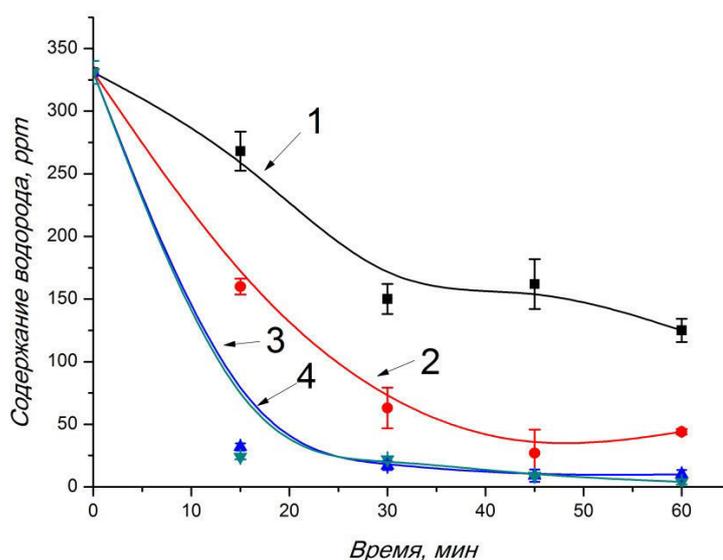


Рис.1. Зависимость содержания водорода в титане VT1-0 после облучения ускоренными электронами от времени облучения: 1 – 25 кэВ, 2 – 30 кэВ, 3 – 35 кэВ, 4 – 40 кэВ

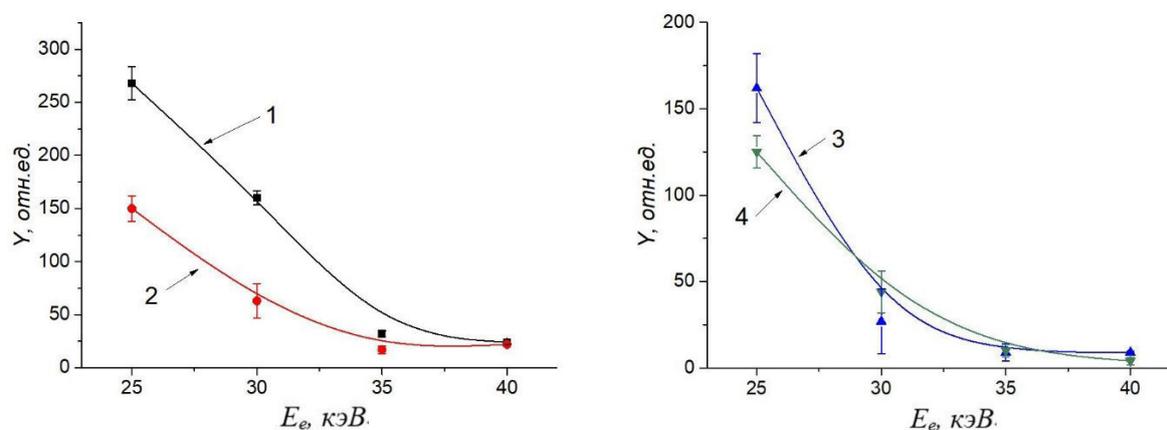


Рис. 2. Зависимость содержания водорода от энергии облучения: 1–15 мин; 2–30 мин; 3–45 мин; 4–60 мин

На рис. 2 представлены зависимости содержания водорода от энергии облучения, при разных временах облучения (для наглядности зависимости были разнесены). Из рис. 2 можно видеть, что по мере увеличения энергии ускоренных электронов уменьшается содержание водорода в исследуемых образцах. Это явление слабо проявляется на энергиях 25-35 кэВ и сильнее на энергиях 35-40 кэВ, так что дальнейшее увеличение энергии (выше 40 кэВ) ускоренных электронов не приводит к большему удалению водорода из образцов титана VT1-0.

На рис. 3, в качестве примера, представлен спектр выхода водорода, полученный во время облучения ускоренными электронами, на основании этих результатов рассчитаны  $E_d$  водорода (таб. 1). Из данных представленных в таб. 1 следует, что на энергию активации десорбции не влияет ни энергия, ни время облучения.

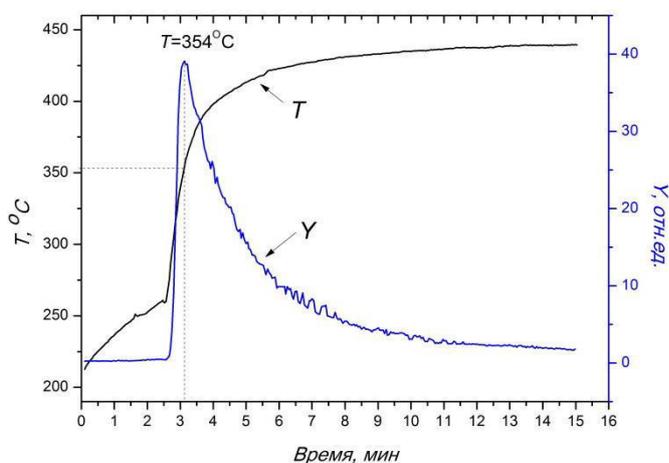


Рис.3. Спектр выхода водорода,  $E_e=35\text{кэВ}$ ,  
 $t_{об} = 30\text{мин}$

Таблица 1  
Энергии активации десорбции водорода

$E_e$ , кэВ	$E_d$ , эВ (при облучении ускоренными электронами)	$E_d$ , эВ (при термо-десорбции)
исходный		$2.65 \pm 0.11$
25	$1.8 \pm 0.1$	$2.87 \pm 0.07$
30	$1.65 \pm 0.04$	$2.97 \pm 0.03$
35	$1.70 \pm 0.12$	$3.01 \pm 0.12$
40	$1.71 \pm 0.11$	$2.96 \pm 0.10$

Полученные результаты (таб. 1) показывают, что при облучении ускоренных электронов  $E_d$  водорода в 1.5–2 раза ниже, чем при термической десорбции. Причина может быть связано с неравновесным характером десорбции водорода в условиях радиационного воздействия [3, 4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. N. Nikitenkov, A. M. Hashhash, I. A. Shulepov. 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.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 // Vol.131, September 2016, P. 73–80.
4. Tyurin and I. Chernov, Non-equilibrium release of atomic hydrogen from metals under irradiation, Int. J. Hydrogen Energy, 2002, Vol. 27. 829–835.