

**КРАЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В НАВОДОРОЖЕННОМ  
ЦИРКОНИЕВОМ СПЛАВЕ**

А.А. Асхатов

Научный руководитель: профессор В.В. Ларионов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [askhatov10@mail.ru](mailto:askhatov10@mail.ru)

**EDGE EFFECT CHANGE IN THE CONCENTRATION OF HYDROGEN-ZRCONIUM ALLOY**

A.A. Askhatov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.V. Llarionov

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

E-mail: [askhatov10@mail.ru](mailto:askhatov10@mail.ru)

***Abstract.** The influence of the geometric dimensions of the samples zirconium alloy Zr-1Ni-H when irradiated with X-rays on the amount of energy absorbed. Small samples or articles of zirconium absorb less x-ray quanta. The amount of absorbed energy is changed to 30-35% of the incident flux of X-rays. With the increase in cross-section of the product share of the absorbed energy is increased in proportion to a constant thickness. This effect is attributed to multiple scattering of X-rays. It leads to an uneven distribution of defects that can store hydrogen. heterogeneity of measurement conducted by the thermopower. The value of the thermoelectric power changes by more than 1.6 times. it depends on the amount of hydrogen in the sample, the dimensions and coordinates of the sample probe on the sample.*

**Введение.** Циркониевые сплавы используются в высокотехнологичных узлах и устройствах атомных электростанций. Долговечность и надежность узлов определяется способностью материала труб выдерживать механические нагрузки и облучение в условиях технологического наводороживания. При этом они активно поглощает водород даже при 300 °С, образуя твёрдый раствор и гидриды ZrH и ZrH<sub>2</sub>. При облучении возникают радиационные дефекты, которые неравномерно [1] распределены по объему. Целью данной работы является изучение краевых эффектов наводороженных образцов сплава циркония термоэлектрическими методами.

**Материалы и методы.** Изучены образцы сплава Zr 1% Ni прямоугольной формы 20 x 20 мм толщиной 1 мм и в форме диска радиусом 2 см и толщиной 2 мм. Насыщение образцов водородом осуществлялось на установке PCI\_ «Gas Reaction Controller» по методу Сиверта при температурах T = 450 – 600°С, давлении 0.66 atm. Отжиг производили при 650 °С 8 часов со скоростью 2 °С/ мин. Концентрация водорода варьировалась от C = 690 до C=5000 ppm. Ее величина измерена на приборе RHEN 602 (LECO). При этом использованы результаты [2, 3]. Облучение R-квантами проводилось на ИРТ -2000 ТПУ различными дозами R-квантов до 2,6.10<sup>18</sup> R-кв./см<sup>2</sup>. При изучении структуры сплава использовался метод сканирующей электронной микроскопии. Термоэдс измеряли на приборе Т-3СП вольтметром В7-78/1. Термозонд изготовлен из золотого стержня диаметром 1 мм.

**Результаты.** Анализ поглощения R-квантов с энергией 80 кэВ проведен по модели Горячева-Ларионова [1]. Расчеты выполнены для следующих исходных данных: геометрические размеры образца-

мишени  $y_0, z_0, x_0 = d$ , коэффициент ослабления  $\mu(E)$ , полное сечение поглощения при комптоновском рассеянии  $\Sigma_g^h$  и фотоэффекте  $\Sigma_g^f$ , полное сечение рассеяния  $\Sigma_s$ , интегральная «эффективная» вероятность выживания рентгеновского фотона при комптоновском рассеянии  $\Lambda_k = \Sigma_s / (\Sigma_s + \Sigma_g^k)$ , интегральная «эффективная» вероятность выживания фотона в процессах фотоэффекта  $\Lambda_\phi = \Sigma_s / (\Sigma_s + \Sigma_g)$ , интегральная вероятность поглощения фотона  $P = 1 - \Lambda_\phi \Lambda_k$ , начальная интенсивность падающего потока гамма-квантов излучения равна 1. Величина поглощенной энергии в единицах начального потока определяется как

$$E_p = g \frac{[1 - A_\infty(y_0, z_0, E_0)] \{1 - \exp[-K(y_0, z_0, E_0) \mu d]\}}{1 + A_\infty(y_0, z_0, E_0) \exp[-K(y_0, z_0, E_0) \mu d]} \quad (1)$$

Пример расчета по формуле (1) с учетом формул (2-12) поглощения R - квантов в образцах различных геометрических размеров (цирконий) проиллюстрированы на рис. 1.

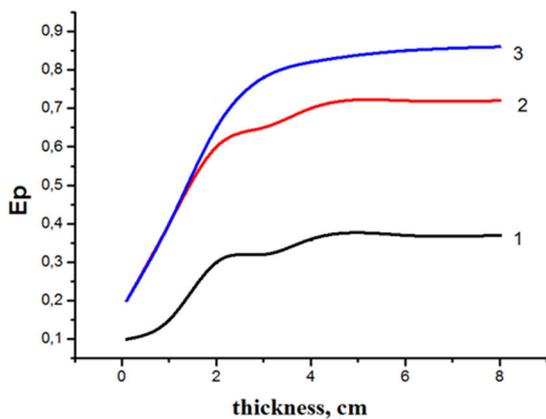


Рис. 1. Зависимость поглощенной энергии (в долях от падающего потока) от толщины образца. 1- сечение размерами 2.8x2.8 см; 2 – 0.28x0.28 м; 3 – 0.33x0.33

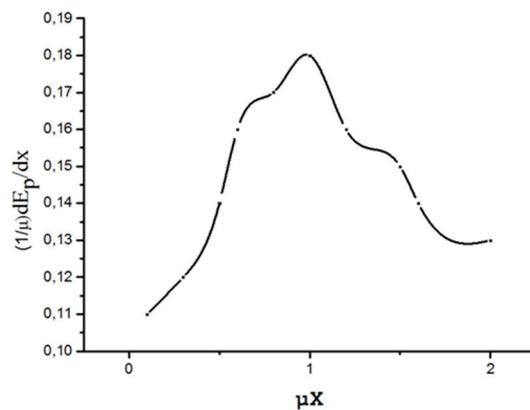


Рис. 2. Распределение поглощенной энергии  $\gamma$  – квантов по толщине образца циркония (теоретический расчет, энергия гамма-квантов равна 0.08 МэВ)

На рис. 1 максимальное поглощение R - квантов данной энергии наблюдается для образцов сечением 0,556x0,556 м и более. Но, например, для мишени сечением 2,8x2,8 см относительное поглощение составляет ~ 40%. Изменение доли поглощенных R -квантов от толщины  $x$  мишени является очевидным и растет с увеличением  $x$  для образцов любого поперечного сечения

На рис. 2 приведено распределение относительной энергии поглощенных квантов по толщине образца с размерами  $y_0=z_0=20$  см;  $d=3$  см (энергия R - квантов  $E_0=0,08$  МэВ. В этом случае при выборе коэффициента ослабления  $\mu(E)$  [1, 3, 4] учитывалось, что для R -квантов, рассеянных в направлении, перпендикулярном падающему потоку, происходит изменение энергии в результате комптоновского рассеяния. Анализ расчетов показывает также, что поглощение энергии происходит неравномерно по площади образца из-за интенсивного ухода  $\gamma$  -квантов через боковые поверхности образца. Можно предположить, что накопление дефектов будет происходить неравномерно соответственно данному эффекту. Поэтому при анализе образца различными методами необходимо учитывать данную особенность, перемещая датчик по поверхности облученного образца. Отмечаем, что эту особенность

поглощения энергии в условиях многократного рассеяния R-квантов следует принимать во внимание при облучении образцов небольших размеров, которые используются в предварительных экспериментах.

**Заключение и выводы.** Исследования влияния геометрических размеров образцов гидридообразующих сплавов циркония Zr-1Ni-H при их облучении рентгеновскими квантами на количество поглощенной энергии доказаны теоретически и экспериментально. Показано, что чем меньше поперечные размеры образца или изделия, тем меньше поглощается энергии при постоянной толщине образца. Например, образец циркония сечением 2.8x2.8 см поглощает 30-35 % энергии от падающего на него потока R-квантов. Расчеты показывают следующее. С увеличением поперечного сечения образца до 28 см доля поглощенной энергии увеличивается более чем в 2 раза. При этом толщина изделия образца остается идентичной. Эффект объяснен многократным рассеянием рентгеновских квантов. Он приводит к неравномерному распределению дефектов, способных аккумулировать водород и должен учитываться при разработке методов анализа. Наличие краевых эффекты экспериментально подтверждено измерением термоэдс образцов сплавов циркония до насыщения водородом и облучения R-квантами после облучения. При измерениях краевых эффектов учтен фактор неоднородного наводороживания образцов по методу Сивертса. Величина термоэдс изменяется более чем в 1.6 раза и зависит от количества введенного водорода в мишень, размеров мишени и координаты положения зонда на теле мишени.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячев Б. В., Ларионов В. В., Могильницкий С. Б., Савельев Б. А. О методе расчета прохождения гамма-излучения через плоские барьеры // Атомная энергия. – 1987. – Т. 62. – № 5. – С.356–357.
2. Chernov I.P., Ivanova S.V., Krening M.Kh, Koval' N.N., Larionov V.V., Lider A.M., Pushilina N.S., Stepanova E.N., Stepanova O.M., Cherdantsev Yu.P.(2012). Properties and Structural State of the Surface Layer in a Zirconium Alloy Modified by a Pulsed Electron Beam and Saturated by Hydrogen. Technical Physics, 57, no 3. pp. 392–398.
3. Ларионов В.В., Никитенков Н.Н., Тюрин Ю.И. Миграция водорода в металлах в условиях наводороживания и облучения электронами // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т. 57.– № 11-2.– С. 129–133.
4. Ларионов В.В., Лидер А.М. Влияние водорода на проводимость титана в условиях облучения электронами // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2014. – Т.57. – № 11-2. – С. 124–128.