

# ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ ПРИ ЕГО ОБЛУЧЕНИИ НЕЙТРОНАМИ

Сюй Шупэн, Ларионов В.В.

Научный руководитель: профессор Варлачев В.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

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

Как известно гидриды титана и циркония с высоким содержанием водорода используются в ядерных технологиях. Отмечается, что применение водородосодержащих материалов в качестве защиты от нейтронов обусловлено высоким содержанием водорода в них. Подчеркивается и то обстоятельство, что в свободном состоянии сечение рассеяния тепловых нейтронов водородом составляет 38 барн, а в связанном состоянии в парафине – 80 барн [1, 2]. Однако эти материалы нельзя использовать при высоких температурах, которым присущи процессы в ядерных реакторах. Высокое содержание водорода ведет к охрупчиванию и разрушению стенок контейнеров. Среди отмеченного актуальной является проблема создания гидридов металлов с повышенным содержанием водорода. С другой стороны, соотношение защитных и прочностных характеристик материалов, исследование процессов получения материалов с указанными свойствами представляет дополнительную актуальную проблему. Для защиты получают гидриды с повышенным содержанием водорода до  $(12 \div 15) \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$ . На практике часто используют соединения титана на основе бора для радиационной защиты (от нейтронов). В докладе проводится исследование реакций насыщения титана водородом под действием нейтронного облучения.

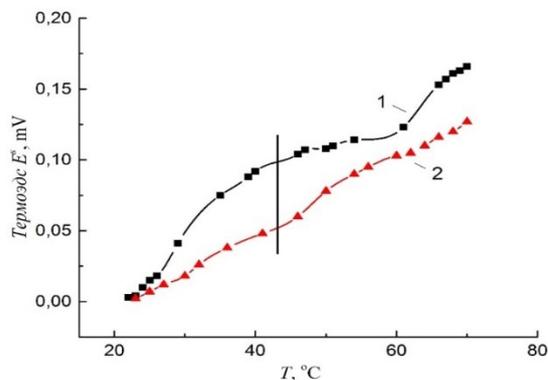


Рис. 1. Зависимость термоэдс от T для концентрации водорода 700ppm (1 – до облучения нейтронами; 2 – после облучения нейтронами.)

водород  $H^1 + H^1 \rightarrow H_2$ . Образцы после облучения анализировали методом термоэдс. Гамма-спектр измеряли на гамма-спектрометре CANBERRA с ППД из сверхчистого германия. Объем детектора 42,6 кубических см. Энергетическое разрешение детектора равно 1,9 кэВ по гамма-линии с  $E = 1,33 \text{ МэВ}$ .

**Экспериментальная часть.** На рис. 1 приведены значения термоэдс до и после облучения нейтронами. Этот результат объясняется увеличением концентрации водорода в титане после облучения. Наблюдается изменение площади петли гистерезиса, величины термоэдс до и после облучения образца нейтронами. Это изменение пропорционально концентрации водорода. В табл.1 приведены результаты измерения термоэдс титана VT1-0 до и после облучения нейтронами

**Выводы.** Экспериментально подтверждено протекание ядерной реакции в титане при облучении нейтронами с образованием водорода. Наблюдаются гамма-кванты с энергией 889 и 1120 кэВ. Наводороживание титана с последующим облучением приводит к изменению величины термоэдс до 20%, что может быть использовано для оперативного неразрушающего контроля материалов атомной энергетики.

**Материалы и методы.** Для исследования применяли образцы размером 20x20x1мм из титанового сплава VT1-0. Наводороживание осуществлялось по методу Сивертса [3]. Измерение величины термоэдс проводили на установке с электродом из золота. Использовали канал ядерного реактора со следующими параметрами: Нейтронный поток  $\Phi_n = 3 \times 10^{12} \text{ н/см}^2 \cdot \text{с}$ . Время облучения  $t_{\text{обл}} = 2 \text{ часа}$ .  $A = 4 \times 10^{-5} \text{ зв/час}$ , где  $A$  – активность образца титана после облучения. При облучении титана резонансными нейтронами протекает реакция:  $Ti_{22}^{46} + n_0^1 \rightarrow Sc_{21}^{46} + p_1^1 + \gamma$ . Период полураспада скандия равен 84 дня. Протоны могут захватывать электрон и превращаться в водород  $p_1^1 + e_{-1}^0 \rightarrow H_0^1$ . Далее образуется молекулярный

wt (mass. %)	0.042	0.05	0.06	0.07	0.365
мВ (до)	0.315	0.176	0.123	0.123	0.346
мВ (после)	0.382	0.190	0.144	0.163	–

Табл. 1. Изотерма (334 К) термоэдс наводороженного титана VT1-0 до и после облучения нейтронами

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R.R. Hood, L. Isakoff. Progress Report on Heavy Water Reactors. 1961.
2. P.E. MacDonald, T.R. Mager, M. Brumovsky, M. Erve, M.J. Banic, C. Fardy. Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: PWR Pressure Vessels. // International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. 2007. № 1556.
3. V. Larionov, S. Xu, M. Syrtanov. [Measurements of hydrogenated titanium by electric methods](#). (2016) AIP Conference Proceedings, 1772, art. №. 040005. doi: 10.1063/1.4964564