

**ГАЗОФАЗНОЕ ГИДРИРОВАНИЕ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 ДО РАЗЛИЧНЫХ
КОНЦЕНТРАЦИЙ ВОДОРОДА С РАВНОМЕРНЫМ РАСПЕРЕДЕЛЕНИЕМ**

Сюэ Юйхан

Научный руководитель: ассистент кафедры общей физики В.Н. Кудияров

Томский политехнический университет,

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

E-mail: 1102465474@qq.com

**THE GAS-PHASE HYDROGENATION OF ZIRCONIUM ALLOY E110 TO DIFFERENT
CONCENTRATION WITH A UNIFORM DISTRIBUTION**

Xue Yuhang

Scientific supervisor: assistant of General Physics department V.N. Kudiiarov

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

E-mail: 1102465474@qq.com

***Abstract.** Undertake a study the gas-phase hydrogenation of zirconium alloy E110 to different concentrations of hydrogen with a uniform distribution. Shows the experimental data and made basic findings which show that at a constant temperature of 500 °C and an initial pressure of 2.24 atm grinding surface of the alloy increases the hydrogen sorption rate 1.45 times, and the surface oxidation of the alloy leads to a decrease in speed hydrogen sorption 1.83 times.*

Циркониевые сплавы применяются в активной зоне водо-водяных энергетических реакторов, использование циркония для этой цели обусловлено основной физической характеристикой конструкционного материала активных зон – малым коэффициентом захвата нейтронов, также у сплавов циркония высокая коррозионная стойкость и поэтому они не требуют сложного легирования [1,2]. При эксплуатации циркониевых сплавов в активной зоне происходит проникновение и накопление водорода в них, потому что у них хорошая склонность к поглощению водорода. Проникновение и накопление водорода в циркониевых сплавах приводит к образованию гидридов и охрупчиванию, что может вызвать их разрушение по механизму замедленного гидридного растрескивания, как следствие, приводит к ухудшению эксплуатационных свойств изделий. В этом случае, мы не можем продлить ресурс тепловыделяющих сборок легководяных реакторов без решения проблемы наводороживания и коррозии циркония, и их состав. Одним методом повышения свойств циркониевых сплавах и их защиты от наводороживания и коррозии является изменение состояния поверхности материалов [3]. Таким образом, актуальной проблемой является исследование влияние состояния поверхности на сорбцию водорода циркониевым сплавом.

Материалы и методика исследований. Объектом исследований являлись прямоугольные плоские образцы циркониевого сплава Э110 размерами 5×10×0,1 мм. Образцы были разделены на три категории: исходные, шлифованные и окисленные. Образцы подверглись шлифованию наждачными бумагами с маркировками по ISO-6344 600, 1500 и 2000 для удаления окисной пленки и подготовки поверхности для дальнейшего эксперимента. Окисление осуществлялось с помощью процесса электролитического

насыщения, образцы перед окислением обрабатывают чистым и сухим водородом, чтобы получить поверхность, лишенную всякой окисной пленки, затем охлаждают до температуры окисления и только потом водород заменяется очищенным воздухом [4]. Образцы используются для исследования процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP, который разработан, чтобы определить количество адсорбированного газа при различных температурах и давлениях в диапазоне твердое. Для того чтобы дать количественную оценку сплаву, необходимо определить концентрацию элементов в материале. Концентрацией называют отношение количества данного вещества или его массы к объёму сплава, то есть это отношение неоднородных величин. Содержание водорода по массе рассчитывалось по формуле (1):

$$w = \frac{m_1}{m} * 100\% \quad (1)$$

где w (%) – концентрация водорода по массе, масс. %; m_1 – масса образца до насыщения, г; m – масса образца после насыщения, г.

Наводороживания производилось из газовой среды при заданных параметрах: 500 °С, $p_0 = 2$ атм., $p = 1$ атм. После проведения насыщения образцов из газовой среды с помощью полученных экспериментальных данных можно вычислить скорости сорбции водорода по формуле (2):

$$q = \frac{V}{t * F} * \ln\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad (2)$$

Для расчета необходимо знать: объем камеры $V(\text{см}^3)$, время наводороживания $t(\text{с})$, удельную площадь поверхности $F(\text{см}^2)$, начальное и конечное давление водорода $p(\text{атм.})$ и $p_0(\text{атм.})$. Из полученных значений сравнивается влияние различных состояний на скорости сорбции водорода [5].

Результаты исследований. Состояние поверхности циркониевого сплава Э110 и соответственные концентрации по массе (H_2) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Состояние поверхности Э110 и соответственные концентрации по массе (H_2)

| № | Состояние поверхности | Масса образца до насыщения, г | Масса образца после насыщения, г | Концентрация по массе, масс. % |
|---|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Исходное | 0,1135 | 0,1154 | 1,64 |
| 2 | Шлифованное | 0,1103 | 0,1123 | 1,78 |
| 3 | Окисленное | 0,1152 | 0,1167 | 1,29 |

На рисунке 1 представлены кривые зависимости давления водорода в реакционной камере от времени наводороживания циркониевого сплава Э110 с различными состояниями поверхности при постоянной температуре 500 °С.

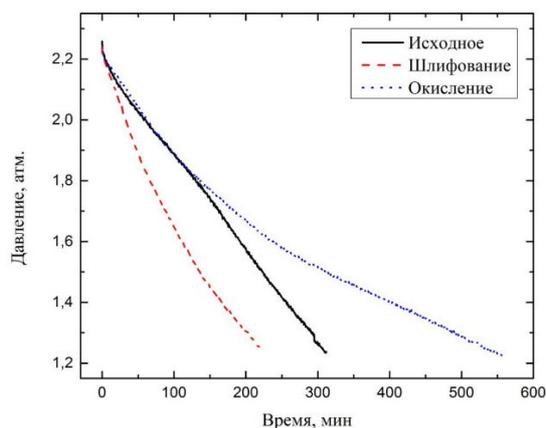


Рис. 1. Кривая зависимости давления водорода от времени наводороживания циркониевого сплава Э110 с различными состояниями поверхности

Установлено, что модифицирование поверхности существенным образом изменяет скорость сорбции водорода в отличие от исходного циркониевого сплава. Результат расчета скорости сорбции водорода представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результат расчёта скорости сорбции водорода

| Тип | Состояние поверхности | Температура, °С | Скорости сорбции водорода, $\times 10^{-5}$ м/с |
|-----|-----------------------|-----------------|---|
| 1 | Исходное | 500 | 1,125 |
| 2 | Шлифованное | 500 | 1,614 |
| 3 | Окисленное | 500 | 0,634 |

При постоянной температуре 500 °С скорость сорбции шлифованного образца выше, чем у образца в состоянии поставки и окисленного в 1,43 и 2,55 раза соответственно.

Заключение. В настоящей работе проведено исследование сорбции водорода сплавом Э110 с различным состоянием поверхности. На основе полученных результатов можно сделать следующий вывод: при постоянной температуре 500 °С и начальном давлении 2,24 атм, шлифование поверхности сплава приводит к увеличению скорости сорбции водорода в 1,45 раз, а окисление поверхности сплава приводит к снижению скорости сорбции водорода в 1,83 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов И.П., Березнеева Е.В., Пушилина Н.С., Кудияров В.Н., Коваль Н.Н., Крысина О.В., Шугуров В.В., Иванова С.В., Николаева А.Н. Свойства ZrO_2 и TiO_2 покрытий, полученных методом плазменно-ассистированного дугового напыления на циркониевом сплаве Э110 // Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 2 – С. 102-104.
2. Петельгузов И.А. Исследование кинетики коррозии твэльных труб из кальциетермического циркониевого сплава $Zr+1\%Nb$ ($Zr1Nb$) в воде при температуре 350°С и в паре при температурах 400 и 500°С // ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ. 2002. №6 – С. 90-94.
3. Калина Б.А. Учебник для вузов. / Под общей ред. – М.: МИФИ, 2008 – С. 176-180.
4. Шмаков А.А., Смирнов Е.А. Абсорбция водорода оболочками твэлов легководных реакторов. – Научная Сессия Мифи - 99. – С. 125-134.
5. Zuttel A. Materials for hydrogen storage, Materials Today. 2003. vol. 6, №9, P. 24-33.