

УДК:621.039.546

**ЗАЩИТНОЕ TiC ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ПОГЛОЩАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ HfH<sub>x</sub>**

А.В. Пирожков, Н. Курдюмов, Р.Р. Эльман

Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук Д.В. Сиделёв  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: [alpir11260@gmail.com](mailto:alpir11260@gmail.com)

**PROTECTIVE TiC COATING FOR ABSORBING ELEMENTS MADE FROM HfH<sub>x</sub>**

A.V. Pirozhkov, N. Kurdyumov, R.R. Elman,

Scientific supervisor: Associate Professor, PhD D.V. Sidelev  
National Research Tomsk Polytechnic University,  
Russia, Tomsk, Lenin Ave., 30, 634050  
Email: [alpir11260@gmail.com](mailto:alpir11260@gmail.com)

***Abstract.** The effect of TiC coating on the hydrogen desorption from HfH<sub>x</sub> samples is investigated at high temperatures. The samples were heated to a temperature of 950 °C with a heating rate of 6 °C/min. X-ray diffraction analysis was performed to reveal a decomposition of hafnium hydride to hafnium and hydrogen, then the release of hydrogen from the samples.*

**Введение.** Для современной атомной энергетики, при создании ядерных реакторов нового поколения и эксплуатации действующих, важной задачей является повышение безопасности и ресурса органов, регулирующих работу ядерного реактора. Одним из возможных решений данной задачи является использование новых материалов, используемых в качестве поглощающих элементов нейтронов. Благодаря совокупности физико-химических и механических свойств таким материалом может стать гидрид гафния. Он имеет высокое значение сечения поглощения тепловых нейтронов, коррозионную стойкость, обладает допустимыми механическими свойствами, высокие термические и радиационные стойкости при длительном облучении. Это позволяет рассматривать гидрид гафния в качестве материала для поглощающих элементов (пэлов) нового поколения для реакторов на быстрых нейтронах (типа БН).

Однако при температурах выше 550 °C возможен распад гидрида гафния и последующая десорбция высвободившегося водорода с постепенным снижением доли гидрида в объёме поглощающего элемента. Это может привести к снижению поглощающей способности пэлов. Для предотвращения данного эффекта предлагается использовать защитные покрытия. Среди большего числа покрытий перспективным может быть карбид титана (TiC).

**Цель настоящей работы** является изучение возможности использования TiC в качестве защитного покрытия для поглощающих элементов на основе гидрида гафния (HfH<sub>x</sub>).

**Материалы и методы исследования.** В качестве исследуемого материала использовались цилиндры из гидрида гафния (диаметром 10 мм). Для осаждения TiC покрытий использовалась вакуумная ионно-плазменная установка, оснащённая ионным источником и комплектом магнетронных

распылительных систем с двумя катодами из титана (99,95%) и углерода (МПГ-6) [1]. Исследования по термостимулированной десорбции производились на автоматизированном комплексе по наводороживанию и изучению десорбции водорода из материалов [2]. Нагрев осуществлялся до температуры 950 °С со скоростью 6 °С/мин. Образец выдерживался при данной температуре в течение 20 минут.

Фазовый состав образцов до и после исследований по термостимулированной десорбции определялся исследовался методом рентгеновской дифракции с помощью дифрактометра Shimadzu XRD-7000S с использованием  $\text{CuK}\alpha$  излучения при 40 кВ и 30 мА.

**Результаты и их обсуждение.** На рисунке 1 представлена дифрактограмма таблетки из гидроксида гафния в исходном состоянии. По результатам рентгеноструктурного анализа полученный образец содержит только фазу гидроксида гафния с кубической сингонией. Фазовый состав гидроксида близок к фазе  $\text{HfH}_{1.7}$ .

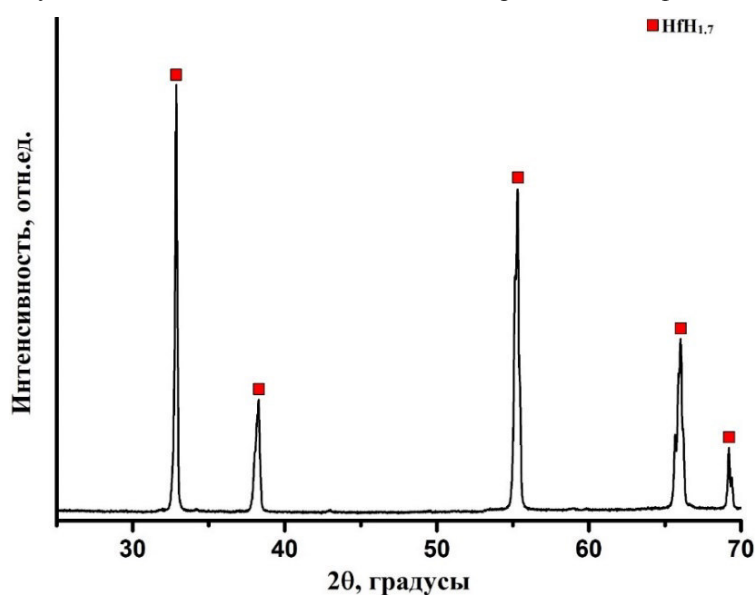


Рис. 1. Дифрактограмма исходного образца гидроксида гафния

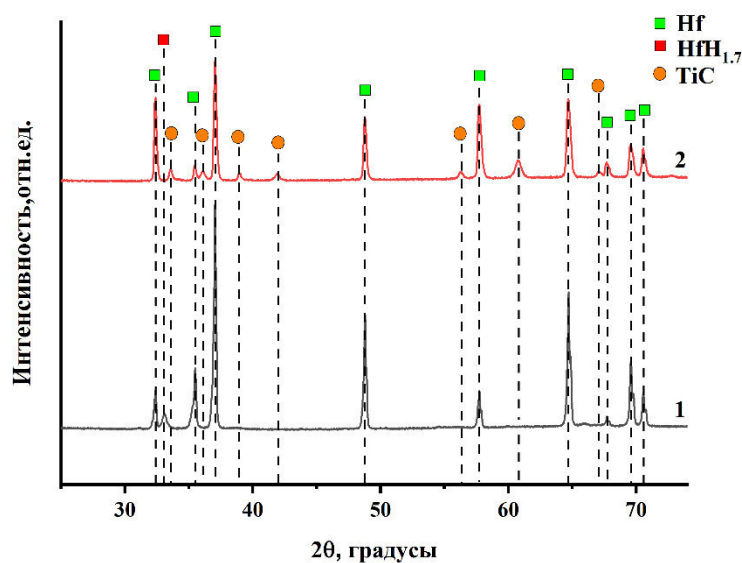


Рис. 2. Дифрактограммы образцов гидроксида гафния (1) и гидроксида гафния с покрытием TiC (2) после наводороживания

Полученные дифрактограммы образцов гидрида гафния (1) и образцов с нанесенным покрытием TiC (2) после процесса наводороживания. Для образцов с покрытием TiC в результате качественного анализа обнаружено три фазы: Hf, TiC и HfN<sub>1,7</sub>. Для образцов без покрытия обнаружено присутствие лишь двух фаз, а именно: Hf и HfN<sub>1,7</sub>.

После эксперимента было обнаружено, что структурная целостность образца с TiC покрытием была нарушена, наблюдались обширные трещины по всей поверхности образца, что продемонстрировано на рисунке 3.



*Рис. 3. Изображение образца с покрытием TiC после проведения эксперимента по термостимулированной десорбции водорода*

Наиболее вероятно, что выход водорода из образца с покрытием произошёл при его растрескивании, когда сплошность защитного покрытия была нарушена. Требуется проведение дополнительных исследований по поведению образцов из гидрида гафния при высокой температуре.

**Выводы.** В результате выполненного исследования установлено, что при высокой температуре происходит распад гидрида гафния и последующий выход водорода из материала. В экспериментах по термостимулированной десорбции водорода на поверхности образцов образовались трещины, которые затрудняют объективную оценку защитных свойств покрытия на основе TiC. Надёжно не установлено защитных свойств покрытия из карбида титана на поверхности гидрида гафния.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания в рамках научного проекта № FSWW-2021-0017.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sidelev D.V., Kashkarov E.B., Syrtanov M.S., Krivobokov V.P. Nickel-chromium (Ni–Cr) coatings deposited by magnetron sputtering for accident tolerant nuclear fuel claddings // Surface and Coatings Technology. – 2019. – V. 369. – P. 69-78.
2. Lider A., Kudiiarov V., Kashkarov E., Syrtanov M., Murashkina T., Lomygin, A., Sakvin I., Karpov D., Ivanov A. Hydrogen Accumulation and Distribution in Titanium Coatings at Gas-Phase Hydrogenation // Metals. – 2020. – V. 10. – P. 880.