

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА Э110 С ИМПЛАНТИРОВАННЫМ СЛОЕМ ТИТАНА

М.С. Сыртанов, Е.Б. Кашкаров, А.Э. Шевелев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: maxim-syrtanov@mail.ru

Авария на АЭС Фукусима-1 в результате потери теплоносителя дала серьезный толчок в области разработки покрытий для защиты тепловыделяющих элементов (ТВЭЛы) водо-водяных энергетических реакторов [1]. На сегодняшний день активно разрабатываются покрытия на основе Cr, SiC, CrN, TiN/TiAlN и другие, за счет высокой стойкости к окислению [2, 3]. Существенным недостатком нанесения покрытий является их плохая адгезия с циркониевыми сплавами, поэтому наряду с технологиями нанесения покрытий разрабатываются методы модификации поверхности пучками заряженных частиц. Высокоинтенсивная имплантация низкоэнергетических ионов титана может быть использована для формирования модифицированного слоя, обеспечивающего повышенные механические и трибологические свойства циркониевых сплавов [4]. Однако, исследования стойкости циркониевых сплавов с имплантированным слоем титана не проводились ранее. Таким образом, целью настоящей работы является изучение процессов высокотемпературного окисления циркониевого сплава Э110 модифицированного титаном.

Для исследования были подготовлены образцы циркониевого сплава Э110 размером 20×20×2 мм. Ионная имплантация титана осуществлялась на установке, разработанной в Томском политехническом университете, при следующих параметрах: плотность ионного тока – 100 мА/см²; продолжительность импульса – 5 мкс; температура – 973 К; флюенс – 5,6×10²⁰ ион/см². Высокотемпературное окисление образцов осуществлялось в воздушной атмосфере при 873 К в течение 10 часов и в потоке водяного пара при 1373 К в течение 10 минут. По результатам исследования было установлено, что стойкость к окислению имплантированного сплава значительно ниже, чем у исходного циркониевого сплава Э110. Однако, при высокотемпературном окислении в водяном паре наблюдается увеличение коррозионной стойкости, прирост массы снижается до 10,1 мг/см². Также установлено, что высокотемпературное окисление в среде водяного пара сопровождается формированием орторомбической фазы TiZrO₄, которая имеет более плотную микроструктуру по сравнению с оксидами ZrO₂. Оксидный слой имплантированного образца имеет неоднородную структуру поверхности, а на границе раздела оксид/металл обнаружено существенно меньше трещин, чем в образцах циркониевого сплава Э110 без имплантации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-48-703034.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Minin N 2018 Energy Strategy Rev. 21 98.
2. Sidelev D V, Kashkarov E B, Syrtanov M S and Krivobokov V P 2019 Surf. Coat. Technol. 369 69.
3. Tang C, Stueber M, Seifert HJ and Steinbrueck M 2017 Corros. Rev. 35 141.
4. Ryabchikov A I, Kashkarov E B, Pushilina N S, Syrtanov M S, Shevelev A E, Korneva O S, Sutygina A N and Lider A M 2018 Appl. Surf. Sci. 439 106.