Экспериментальное моделирование эрозии и поверхностного повреждения бериллия при переменных тепловых плазменных нагрузках, ожидаемых в ИТЭР

1Куприянов И.Б., 1Николаев Г.Н., 1Базалеев Е.В., 1Порезанов Н.В., 1Курбатова Л.А., 2Подковыров В.Л., 2Музыченко А.Д., 2Житлухин А.М., 3Сафронов В.М., 4Гиниятулин Р.Н.

1АО «ВНИИНМ», г. Москва, Россия   
2Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г. Троицк,  
 г. Москва, Россия   
3Частное учреждение Государственной корпорации РОСАТОМ «Проектный центр  
 ИТЭР», г. Москва, Россия  
4Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры  
 им. Д.В. Ефремова, г. Санкт-Петербург, Россия

Панели первой стенки главной камеры ИТЭР будут полностью облицованы бериллием. Основными причинами выбора бериллия в качестве материала облицовки первой стенки ИТЭР являются его низкий атомный номер, высокие характеристики поглощения кислорода, а также высокая теплопроводность. Во время горения плазмы в ИТЭР на бериллий, помимо воздействия циклических тепловых нагрузок (нормальных событий), будут также воздействовать высокие переходные тепловые нагрузки, такие как ELM (краевая локальная мода), срывы плазмы, VDE (вертикальное смещение плазмы) и т. д. (нестационарные события). Эти переходные нагрузки вызывают быстрый нагрев поверхности бериллия и могут привести к значительным изменениям в поверхностных и приповерхностных областях, таких как потеря материала, плавление, растрескивание, испарение и образование бериллиевой пыли, а также удержание изотопов водорода как в облицовке, так и в пыли. Ожидается, что эрозия бериллия под действием переходных плазменных нагрузок, таких как ELM и срывы, окажет существенное влияние на срок службы первой стенки ИТЭР.

В данной статье представлены основные результаты многочисленных экспериментов, проведенных в последние годы на установке КСПУ-Be в АО ВНИИНМ. Установка КСПУ-Be представляет собой одностадийный коаксиальный квазистационарный плазменный ускоритель с собственным магнитным полем. Она способна обеспечить плазменные (водородные или дейтериевые) и радиационные тепловые нагрузки на поверхности мишени, имитирующие ELM, срывы плазмы и смягченные срывы, ожидаемые в ИТЭР. Макеты из Be и Be/CuCrZr специальной конструкции были испытаны в потоках водородно-дейтериевой плазмы (5 см в диаметре) с длительностью импульса 0,5 мс в диапазоне тепловых нагрузок 0,2-2,2 МДж/м2 при максимальном количестве импульсов плазмы до 100 -250 выстрелов. Угол между потоком плазмы и поверхностью макета составлял 30о. Во время экспериментов температура макетов поддерживалась в диапазоне RT - 500 °C. В экспериментах исследовалось две марки бериллия, допущенные к использованию в ИТЭР: ТГП-56ПС (РФ, АО ВНИИНМ) и S-65C (США, Materion Brush). Представлено влияние величины плазменных тепловых нагрузок, температуры поверхности и количества импульсов плазмы на эрозию и поверхностное повреждение бериллия. Полученные экспериментальные данные используются для проверки соответствующих числовых моделей и для оценки времени жизни бериллиевой облицовки.