Капельная и паровая эрозия вольфрама при его облучении интенсивными потоками плазмы

1,2Ларченко М.А., 1,2Позняк И.М.

1ГНЦ РФ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Россия  
2Московский физико-технический институт (ГУ), Россия

Во время переходных процессов в ИТЭР (ELM-ов и срывов) плазменные тепловые нагрузки на вольфрамовые и бериллиевые облицовочные пластины будут доходить до Q = 80 МДж/м2 [1] при длительности t = 1–3 мс, что существенно превосходит пороги плавления этих материалов.

Мощные плазменно-тепловые нагрузки повлекут эрозию защитных пластин и образование продуктов эрозии в виде испаренного вещества и металлических капель. Поступление примесей в горячую плазму вызовет ее радиационное охлаждение, кроме этого, будет происходить сокращение срока службы защитных покрытий и накопление пыли в вакуумной камере токамака [1]. Для создания и проверки расчетно-теоретических моделей [2,3], описывающих указанные процессы, нужны экспериментальные данные о поведении материалов под действием интенсивных плазменных потоков, а также – о свойствах образующихся продуктов эрозии. Получить такие данные являлось основной целью работы.

В представленной работе эксперименты были выполнены на импульсной плазменной установке МК-200UG. Интенсивность плазменного потока, фактор теплового воздействия   
(F = Q/t0,5), энергия ионов, плотность и давление плазмы на МК-200UG близки к параметрам, ожидаемым во время срывов и ELM-ов в ИТЭР [4].

В рамках представленной работы мишень из вольфрама облучалась потоками водородной плазмы длительностью 25 мкс, плотностью тепловой энергии до 10 МДж/м2 и энергией ионов ≈ 1,5 кэВ. Взаимодействие плазмы с мишенью происходило в продольном магнитном поле величиной 1,5 Тл.

Данные, полученные в эксперименте, показывают, что в диапазоне тепловых нагрузок от 1 до 2 МДж/м2 при длительности воздействия tpl = 25 мкс светящийся вблизи поверхности плазменный слой формируется менее чем за 1,5 мкс и существует на протяжении всего времени воздействия. Присутствие продольного магнитного поля ограничивает распространение мишенной плазмы поперек силовых линий. Отчетливо регистрируется выброс вольфрамовых капель, вылетающих изотропно с поверхности мишени. Скорость капель составляет vdr ≈ 5 – 10 м/с.

Литература

1. Pitts R.A., Carpentier S., Escourbiac F. et al. A full tungsten divertor for ITER: Physics issues and design status. // J. Nucl. Mat., 2013, V.438, P. S48-S56.
2. Bazylev B.N., Janeschitz G., Landman I.S. et al. Melt damage simulation of W-macrobrush and divertor gaps after multiple transient events in ITER // J. Nucl. Mat., 2007 V. 363, P.1011-1015.
3. Pestchanyi S., Arkhipov N., Landman I. et al. Simulation of tungsten plasma transport along magnetic field under ELM-like heat loads. // J. Nucl. Mat., 2013 V.438, P. S459-S462.
4. Позняк И.М., Архипов Н.И., Карелов С.В. и др. Свойства примесей вольфрама, образующихся в плазме при облучении вольфрамовых мишеней мощными плазменными потоками. // ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2014, Т.37, №1, С.70-79