Исследование эрозии вольфрама во время мощной импульсной тепловой нагрузки, создаваемой пучком электронов

1,2,3Аракчеев А.С., 3Батаев В.А., 3Батаев И.А., 1,3Бурдаков А.В., 1,2Васильев А.А., 1,2Вячеславов Л.Н., 1Кандауров И.В., 1,2Касатов А.А., 1,2Куркучеков В.В., 1Меклер К.И., 1,2Попов В.А., 1,2Трунев Ю.А.

1Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия
2Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия
3Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия,
 alex.alex.vasilyev@gmail.com

Разрушение пластин первой стенки и диверторной зоны токамаков-реакторов под воздействием выбросов плазмы является одной из главных проблем для будущих установок с управляемым термоядерным синтезом. По результатом численного моделирования рабочих режимов экспериментального токамака ИТЭР было показано, что диверторная зона будет испытывать импульсные нагрузки до 10 МДж/м2 в результате ЭЛМов первого типа [1], что может привести к сильной эрозии материала плазмоприемника: образованию трещин, движению расплава, кипению и генерации микрочастиц. В качестве материала дивертора ИТЭР был выбран вольфрам из-за низкого накопления трития и его высоких термомеханических характеристик. Поскольку существующие плазменные ловушки не могут воспроизвести предполагаемые условия, то изучение поведения материала при импульсных тепловых нагрузках проводится на специализированных установках, в том числе и на новом испытательном стенде, разработанном в ИЯФ СО РАН. Стенд оснащен многоапертурным источником электронов с плазменным эмиттером, который способен генерировать электронный пучок с током 40 – 80 А энергией частиц до 110 кэВ и длительностью импульса до 300 мкс [2]. Угловые параметры получаемого пучка позволяют инжектировать его в магнитное поле ~0,2 Тл со сжатием до 30 раз и получать тепловую нагрузку на мишень, которая имеет гауссовый профиль с максимумом до 25 ГВт/м2 и шириной на полувысоте до 10 мм. Ключевой особенностью данной установки является применение набора оптических in-situ диагностик, при помощи которых можно получать данные об эрозии поверхности вольфрама и образующихся микрочастиц непосредственно во время импульса. Поверхность облучаемой мишени снимается в ИК спектре при помощи системы из четырех быстрых фотокамер в различные моменты времени, благодаря чему можно регистрировать динамику двумерного распределения температуры мишени. Были получены экспериментальные результаты по образованию трещин и перегретых областей на поверхности материала, а также по движению расплава при нагрузке существенно выше порога плавления. Быстрая фотосъемка в свете непрерывного зеленого лазера позволяет наблюдать динамику плавления вольфрама на краях образовавшихся трещин. Данные о разлете микрочастиц собираются при помощи съемки вдоль поверхности мишени и трехканальной системой регистрации рассеянного на малые углы лазерного излучения. Был обнаружен линейный рост скорости микрочастиц при увеличении расстояния от поверхности мишени, а также порог их интенсивной генерации.

Работа на экспериментальном стенде поддерживается Российским Научным фондом (проект № 14-50-00080).

Литература

1. A. Loarte et al., Physica Scripta, 2007, T128, 222–228
2. L.N. Vyacheslavov et al., AIP Conference Proceedings, 2016, 1771, 060004