Модификация и эрозия поверхности материалов первой стенки термоядерного реактора в потоке стационарной плазмы

Гуреев В.М., Койдан В.С., Корниенко С.Н., Муксунов А.М., Петров В.Б., Столярова В.Г., Хрипунов Б.И.

Национальный исследовательский центр Курчатовский институт, Москва, Россия, boris@nfi.kiae.ru

Первая стенка и дивертор термоядерного реактора-токамака представляют собой компоненты, испытывающие наибольшие нагрузки со стороны плазмы в виде потоков частиц, излучения, нейтронов (14 MeV, D-T). Учет воздействия всех этих факторов необходим уже на стадии создания реактора ИТЭР, а проблема выбора материалов покрытия, обеспечивающих большие сроки службы этих компонент, будет только обостряться в дальнейшем (ДЕМО и далее). Наиболее сложным с точки зрения экспериментального изучения стойкости материалов представляется учет радиационного повреждения структуры твердой стенки энергичными нейтронами.

В работе проведено исследование эрозии кандидатных материалов покрытия первой стенки и дивертора (на основе углерода и вольфрама) в потоках плазмы с учетом влияния радиационных повреждений высокого уровня. На плазменной установки ЛЕНТА с прямым магнитным полем (0,2 Т) проведено моделирование пристеночного слоя и дивертора реактора-токамака, получены высокие значения потока дейтериевой плазмы на стенку (1025-1026 ион/м2, достигаемые в одном цикле нормальной работы реактора ИТЭР). В этих условиях изучена эрозия и модификация поверхности радиационно-поврежденных материалов. Радиационные повреждения высокого уровня были получены с помощью тяжелых ионов, ускоренных на циклотроне до высоких энергий МэВ-ного диапазона (ионов углерода С3+ и гелия Не2+). Повреждению подвергался поверхностный слой материала на глубину 3,5-6,5 мкм. Получены образцы, в которых ионами уровень повреждений в результате облучения составил от единиц до сотен смещений на атом, что покрывает практически весь диапазон, представляющий интерес для термоядерного синтеза [1]. Эрозия поврежденных материалов исследована в стационарной дейтериевой плазме при энергии ионов плазмы на поверхности 100-250 эВ, определена скорость эрозии. Показано, что наличие радиационных повреждений оказывает влияние на эрозию материалов в плазме. На исследованных углеграфитовых материалах обнаружено значительное изменение микроструктуры поверхности и ускорение их эрозии в плазме (до пятикратного для углеродного композита SEP NB-31). Изменение эрозии радиационно-поврежденного вольфрама не выявлено, однако, обнаружены существенные изменения микроструктуры поврежденного слоя. Проводится анализ накопления изотопов водорода в радиационно-поврежденном вольфраме. Результаты данной работы важны для исследования радиационной стойкости материалов термоядерного реактора к воздействию плазмы и нейтронного облучения.

Работа поддержана грантами РФФИ, проекты № 13-08-00692-а, № 11-08-08180-а.

Литература

1. A.I. Ryazanov et al., Fusion Science and Technology, V.61, Nr. 2, FUSTE8 (2) 107-117 (2012)