исследование вольфрама в потоке стационарной плазмы: радиационные повреждения, эрозия, накопление изотопов водорода

Л.С. Данелян, \*В.В. Затекин, В.С. Койдан, С.Н. Корниенко, \*В.С. Куликаускас, С.Т. Латушкин, А.М. Муксунов, А.И. Рязанов, Е.В. Семенов, В.Н. Унежев, Б.И. Хрипунов

НИЦ “Курчатовский институт», Москва, Россия   
\*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ,  
 Москва, Россия

Накопление радиационных повреждений, возникающих в материалах термоядерных реакторов с магнитным удержанием типа токамак в результате воздействия на них нейтронного облучения (14 МэВ от DT-реакция), будет приводить к изменению их физических, механических и других свойств, а также к изменению удержания трития. Особенно важно исследовать такие изменения в материалах, которые будут применены в качестве покрытия первой стенки и дивертора, по их отношению к длительной работе в контакте с плазмой. Одним из кандидатных материалов покрытия стенки является вольфрам. В Курчатовском институте экспериментально исследуется метод получения радиационных повреждений высокого уровня в вольфраме и проводится исследование поврежденного материала в потоках стационарной плазмы при флюенсах отвечающих длительной работе реактора.

Нами получены образцы вольфрама, в которых степень радиационного повреждения, оцениваемая в единицах смещений на атом, находится в интервале от 0.1 до 600 сна. Этот интервал покрывает практически весь диапазон значений, соответствующих прогнозам для термоядерного реактора, включая проекты ИТЭР и ДЕМО. Исследован поликристаллический вольфрам W 99.95 вес.% (РФ). Радиационные повреждения материала получены в результате его облучения на ускорителе (циклотроне) тяжелыми ионами высокой энергии. Изучены варианты облучения вольфрама ионами гелия 4He2+ с энергией 3.5-4 МэВ и ионами углерода 12C3+ с энергией 10 МэВ при флюенсах от 5⋅1021 до⋅1023 ион/м2. После облучения образцы подвергались экспозиции в дейтериевой плазме на линейной установке ЛЕНТА-М в условиях моделирующих дивертор реактора токамака (полный поток ионов дейтерия 1025-1026 ион/м2; энергия ионов 250 эВ). Методами электронной микроскопии обнаружены сильные изменения в микроструктуре поверхности и поврежденного поверхностного (3,5-6 μм) слоя характерные для радиационного повреждения ионами. Анализу подвергался процесс эрозии поврежденного материала в дейтериевой плазме: измерены скорость эрозии, коэффициент эрозии Y=(3-5)·10-3 ат/ион. Ядерными методами изучены накопление газов в поврежденном слое материала (дейтерия – МРЯО, гелия – ОЯР). Получены распределения концентрации дейтерия по глубине поврежденного слоя. Обнаружено, что при высоких уровнях повреждений количество накопленного дейтерия в поврежденном материале может значительно возрасти (примерно на порядок величины) по сравнению с неповрежденным материалом.

Полученные данные представляют интерес для оценок тритиевой опасности длительно работающего термоядерного реактора и эффекта бомбардировки стенки альфа частицами термоядерных реакций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 11-08- 01093-а, № 13-08-00692-а.

Литература

[1]. Koidan V.S., et al., IAEA 25th FEC, St Petersburg, paper MPT/P7-37, 2014.