Исследование ИТЕР-подобного вольфрама при циклическом воздействии струи плазменной пушки и плазмы токамака

А.В. Воронин, В.К. Гусев, Е.В. Демина\*, А.Н. Новохатский, М.Д. Прусакова\*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический  
 институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,  
 [voronin.mhd@mail.ioffe.ru](mailto:voronin.mhd@mail.ioffe.ru)  
\*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии  
 и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Москва, Россия,  
 [elenadyom@mail.ru](mailto:elenadyom@mail.ru)

Проблема выбора защитных материалов для элементов конструкций, обращенных к плазме, является одной из наиболее острых при разработке термоядерного реактора с магнитным удержанием. Эти материалы должны противостоять воздействию плазмы не только во время стационарной работы токамака-реактора, но и во время так называемых переходных процессов типа срывов тока или локальных неустойчивостей - ELM-событий (edge lokalized mode), приводящих к резкому росту тепловых потоков на теплозащитные покрытия. Ожидается, что при срывах тока тепловая нагрузка на диверторные пластины Международного Термоядерного Экспериментального Реактора (ИТЭР) может достигать 10—100 МДж/м2 за промежуток времени 1—10 мс, а во время ELM-событий — 0,2—5 МДж/м2, 0,1—1 мс. Цель настоящей работы состоит в пополнении базы данных циклического воздействия плазмы на различные виды вольфрама, создающей большие нестационарные тепловые нагрузки, аналогичные ELM-событиям. Изучается возможность создания высокоэффективной защиты первой стенки термоядерного реактора на основе ITER\_D\_2EDZJ4, PLANSEE Double Forged и других видов вольфрама. Данные основаны на экспериментах по облучению вольфрама струями плазменной пушки с большой кинетической энергией и последующим взаимодействием облученного вольфрама с плазмой токамака Глобус-М.

Весьма вероятно, что в ИТЭР на поверхности вольфрамовых покрытий будут возникать расплавленные слои толщиной до 100 мкм. Эти слои будут возникать во время переходных процессов типа срывов тока или локальных неустойчивостей - ELM-событий, приводящих к резкому росту тепловых потоков на теплозащитные покрытия. На поверхности вольфрама будет происходить большое количество циклов плавления и затвердевания, что приведет к образованию тонкого хрупкого слоя из-за эффектов рекристаллизации. При взаимодействии с плазмой возможно отслаивание и образование хлопьев, что в свою очередь может привести к срыву плазмы. Основной задачей настоящей работы является изучение структуры и свойств поверхностных слоев вольфрама, облученного плазменным пучком, имитирующим ELM-события, и последующей их экспозиции в дейтериевой плазме токамака Глобус-М в районе выхода внешней ветви сепаратрисы. В работе представлены первые результаты исследований параметров плазмы токамака при взаимодействии с рекристаллизованной поверхностью вольфрама, а также структуры поверхности и морфологии образцов, изготовленных из разных видов вольфрама и облученных плазмой в различных условиях. Результаты исследований получены впервые.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 11-08-00813-а, IAEA Research Contract No: 16939, 16960, ГК №G34.31.0041.