Программа экспериментов на токамаке т-10 в поддержку Вольфрамового дивертора ИТЭР

В.П. Будаев, Ю.В. Мартыненко, С.А. Грашин, А.В. Карпов, Л.Н. Химченко1, И.В. Мазуль2, Р.Н. Гиниятулин2, А.М. Житлухин3, Л.Б. Беграмбеков4

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, budaev@nfi.kiae.ru
1Частное учреждение «ИТЭР-Центр», Москва, Россия
2ФГУП НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, С.-Петербург, Россия
3ГНЦ РФ ТРИНИТИ, Московская обл., Россия
4НИЯУ МИФИ Москва, Россия

Изготовление и эксплуатация вольфрамового дивертора ИТЭР требует дополнительных испытаний и изучения стойкости вольфрама при повышенных плазменных нагрузках, оценки последствий возможного плавления и растрескивания вольфрама, образования пылевых частиц и формирования пористых слоев на поверхности. В докладе представлен краткий обзор современного состояния проводимых испытаний вольфрама при мощных плазменных нагрузках. Испытания вольфрама в JET и AUG показали отличие процессов разрушения вольфрама в условиях плазмы токамака в сравнении с испытаниями при других условиях (электронные и ионные пучки, и др.), что вызвано эффектами взаимодействия плазма-стенка в магнитном поле токамака (протеканием токов, термоэмиссией и др.). При испытании вольфрамовых пластин, используемых для изготовления дивертора ИТЭР, импульсными плазменными нагрузками до 2 МДж/м2 (что соответствует срыву в ИТЭР), обнаружены переплавление, образование трещин, малоизученные изменения поверхности и рекристаллизция вольфрама на глубину до 50 мкм с образованием хрупкой структуры [1].

Программа экспериментов на токамаке Т-10 предполагает экспозицию таких вольфрамовых пластин в плазме, испытание при мощных плазменных нагрузках в КСПУ-Т (ТРИНИТИ) при термоциклировании и воздействии ионными и электронными пучками на установках ЦЕФЕЙ (НИИЭФА) и СОПМАТТ (НИЯУ МИФИ). Такой комплекс испытаний пластин ИТЭР в переменных условиях, включая мощные нагрузки уровня ИТЭР в КСПУ-Т, последующая экспозиция в плазме токамака и термоциклирование, позволит получить новые данные, в том числе о трещинообразовании и охрупчивании при субкритических нагрузках, необходимые для оценки ресурса дивертора ИТЭР.

Планируется исследовать вопросы защиты поверхности вольфрама покрытиями, в том числе карбидом бора и пористой вольфрамовой структурой (fuzz). Особое внимание будет уделяться мало исследованным эффектам рекристаллизации и растрескивания поверхности на глубине ~10 - 50 мкм и перенапылённых слоёв вольфрама и оценке разрушения таких слоев с образованием пылевых частиц микронного и субмикронного размера.

Планируется цикл экспериментов, направленных на исследование взаимного влияния вольфрамовой рекристаллизованной поверхности и приповерхностной плазмы, включая эффекты повышенной термоэмиссии негладкой поверхности (fuzz) и связанные с этим эффекты изменения передачи тепла из плазмы на поверхность, дуговые процессы, образование пылевых частиц и влияние на процессы переноса тепла и плазмы. Программа рассчитана на продолжение экспериментов на токамаке Т-15.

Литература

1. В.П. Будаев и др., ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2013, т. 36, вып. 3, с.53