Плазменно-пучковые испытания вольфрамовых макетов диверторной облицовки

1,3Будаев В.П., 1Дедов А.В., 1Комов А.Т., 1Варава А.Н., 1Федорович С.Д., 2Гиниятулин Р.Н., 2Маханьков А.Н., 2Литуновский Н.В.

1Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия,  
 [budaev@mail.ru](mailto:budaev@mail.ru)  
2Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры  
 им. Д.В. Ефремова, г. Санкт-Петербург, Россия  
3НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия

Тепловые нагрузки на вольфрамовые пластины облицовки дивертора в ИТЭР в стационарной стадии разряда могут достигать величины 10 МВт⋅м−2, при медленных переходных процессах (в течение 10 сек) достигают величины 20 МВт⋅м−2, а при срывах и ЭЛМах импульсные нагрузки будут значительно увеличиваться (cм. [1]), что может привести к значительному перегреву и даже к плавлению вольфрама. Требуются масштабные испытания макетов и прототипов дивертора. Исключительно важным представляется обеспечить адекватные условия пучковой и плазменной нагрузки на вольфрам [1] и разработать методы эффективного охлаждения диверторных модулей.

Для плазменно-пучковых испытаний в НИИЭФА им. Ефремова были разработаны и изготовлены водоохлаждаемые макеты с вольфрамовой облицовкой, рис. 1. Использовался вольфрам марки ВМ-П, изготовленный по спецификации ИТЭР (см. [1]). В НИУ «МЭИ» проводятся комбинированные испытания таких водоохлаждаемых макетов с вольфрамовой облицовкой в комбинированной схеме плазменно-пучковых испытаний – (1) термоциклические испытания в установке с электронным пучком с нагрузкой от 5 до 40 МВт/м2, при испытаниях обеспечивается охлаждение водным потоком; и затем (2) испытание в плазменной установке ПЛМ [2] стационарными плазменными нагрузками 0,5 – 1 МВт/м2 и более. Такие комбинированные испытания проводятся впервые и моделируют переменную нагрузку на диверторные пластины в ИТЭР в стационарных разрядах с ЭЛМ неустойчивостями. Плазменные испытания в установке ПЛМ [2], которая представляет собой линейную систему с мультикасповой схемой магнитного удержания плазмы, проводятся впервые. Особенность такой установки – стационарный многочасовой разряд. Параметры плазмы в этой установке, плотность электронов – более 1012 см–3, температура электронов – несколько эВ, подобны параметрам пристеночной плазмы в токамаке, что в совокупности с условием стационарной многочасовой нагрузки на мишень создает адекватные модельные условия плазменных испытаний термоядерных материалов. Полученные результаты таких испытаний представляют интерес для оценки эрозии вольфрама в термоядерном реакторе, в том числе, в ИТЭР, ТИН и ДЕМО.

Рис.1. Вольфрамовый макет диверторной облицовки из материалов ИТЭР, вольфрамовые пластины 20 х 20 х 8 мм припаяны на подложку из бронзы CuCrZr, с каналом охлаждения диаметром 14 мм.

Литература

1. Будаев В.П. ВАНТ сер. Термоядерный синтез, 38, 4, 5 (2015).
2. Будаев В.П. и др. ВАНТ сер. Термоядерный синтез, 40, 3, 23 (2017).