Движение расплавленного металлического слоя в условиях, характерных для переходных плазменных процессов ИТЭР

1И.М. Позняк, 1,2В.М. Сафронов, 1,3В.Ю. Цыбенко

1Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г.Троицк, г.Москва
2Проектный центр ИТЭР, г.Москва
3Московский физико-технический институт, г.Долгопрудный

Во время работы ИТЭР защитные пластины дивертора и первой стенки будут подвергаться воздействию значительных плазменно-тепловых нагрузок, что повлечет их интенсивную эрозию [1]. Согласно результатам исследований, выполненных на плазменном ускорителе КСПУ-Т [2], основным механизмом эрозии металлических покрытий является уменьшение их толщины из-за перемещения расплавленного слоя по поверхности. Существующие модели движения расплава не позволяют объяснить его значительное перемещение, наблюдаемое в экспериментах [2]. Для создания и проверки расчетно-теоретических моделей [3] необходимы новые экспериментальные данные.

Целью данной работы является определение ускорения расплава и вклада различных сил в его движение. Для этого были проведены эксперименты по облучению металлических мишеней потоками водородной плазмы на установке КСПУ-Т.

Плазменному воздействию подвергалась композитная мишень, представляющая собой медную плоскую пластину с цилиндрическими вставками из стали. Вставки расположены на разных расстояниях от центра пластины. Тепловая нагрузка подбиралась таким образом, чтобы получить плавление металла на вставках, но не расплавить основной материал мишени. Это позволило измерить перемещение стального расплава, оценить его скорость и ускорение на различных расстояниях от оси плазменного потока. Определен вкладразличных сил (вязкое трение, градиент давления и т.д.) в полное ускорение металлического расплавленного слоя.

Показано, что максимальное перемещение расплава наблюдается не на оси плазменного потока, а на некотором расстоянии от нее. Градиент давления не может обеспечить движения расплава, наблюдаемого в эксперименте, что согласуется с результатами работы [2].

Исследовалось влияние добавочного ускорения (центробежного) на движение расплавленного слоя. Для этого неподвижную и вращающуюся (f = 100 Гц) стальные мишени подвергали плазменному облучению при одинаковых тепловых нагрузках. Проведено оптическое исследование рельефа и измерены профили поверхности мишеней после облучения. Получены шлифы поперечного среза образцов.

Наличие центробежного ускорения приводит к изменению характерной формы кратера эрозии: выравниванию его поверхности в центральной области. Помимо этого, наблюдается вытягивание и искривление струй застывшего металла. Полученные экспериментальные данные позволили оценить скорость и ускорение расплава.

Литература.

1. Roth J., Tsitrone E., Loarte A. et al. – Journal of Nuclear Materials, 2009, V.390-391, P.1-9.
2. Позняк И.М., Климов Н.С., Подковыров В.Л. и др.– ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез, 2012, Т.35, №4, С.23-33.
3. Мартыненко В.Ю. – ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез, 2014, Т.37, №2, С.53-59.