

Исследование движения расплавленного металлического слоя под действием интенсивных потоков плазмы, с параметрами, характерными для быстрых плазменных процессов в ИТЭР

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

¹Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований

²Проектный центр ИТЭР

³Московский физико-технический институт (государственный университет)

Во время быстрых плазменных процессов (ELM-ов и срывов тока) защитные покрытия дивертора и первой стенки токамака-реактора ИТЭР будут подвергаться воздействию значительных тепловых нагрузок, что повлечет интенсивную эрозию этих элементов конструкции [1] и в конечном итоге приведет к сильному снижению их ресурса. В модельных экспериментах на квазистационарном сильноточном плазменном ускорителе КСПУ-Т было продемонстрировано, что основной механизм разрушения металлических покрытий заключается в их утончении за счет перемещения расплавленного слоя вдоль поверхности [2]. Для создания и проверки расчетно-теоретических моделей движения расплавленного металлического слоя [3] необходимы новые экспериментальные данные [4].

Так как непосредственное измерение параметров приповерхностной плазмы и движения расплава во время разряда КСПУ-Т представляет задачу, связанную с рядом сложностей, то является целесообразным проведение простых качественных экспериментов, в которых можно было бы изучить влияние различных контролируемых факторов на конечный результат после облучения.

В данной работе исследовалось:

- влияние магнитного поля на движение расплава
- характер течения расплава на поверхностях из различных материалов и в зависимости от расстояния до электродов ускорителя.
- изменение картины течения расплава при искусственном создании центростремительного и кориолисова ускорений:
- изменение картины течения расплава после каждого облучения в серии:

В ходе экспериментов металлические мишени облучались интенсивными потоками плазмы на КСПУ-Т. Для измерения распределения тепловой нагрузки по поверхности мишеней, в их тыльную сторону встраивалась многоканальная система термомпар.

В серии экспериментов исследовалось влияние магнитного поля на течение расплава. Поле, составляющее по порядку 0,1 Тл, создавалось неодимовым магнитом дискообразной формы, который устанавливался непосредственно за плоскостью мишеней. Облучению плазмой подвергались идентичные по форме мишени, при этом, кроме изменения магнитного поля (установка или отсутствие магнита), в ходе эксперимента дополнительно варьировались следующие условия и параметры: материал мишеней (различные нержавеющие и углеродистые стали), расстояние между мишенями и ускорителем. Эксперименты показали уменьшение интенсивности течения расплава на периферии кратера эрозии в присутствии магнитного поля, а также значительное различие в характере течения и интенсивности перемещения расплавленного слоя на поверхностях из различных сталей, даже весьма незначительно отличающихся по химическому составу.

Проведены эксперименты, в которых облучению плазмой были подвергнуты вращающаяся и неподвижная мишени при одинаковой тепловой нагрузке. Продемонстрировано, что действие центростремительного и кориолисова ускорений приводит к изменению формы кратера эрозии, а именно, в центральной его части отсутствует возвышение, характерное для неподвижных мишеней из нержавеющей стали. На поверхности вращающейся мишени наблюдаются сильно вытянутые, узкие, искривленные струи застывшего металла вместо характерных для неподвижной мишени широких хаотических волн. Данные, полученные при обработке изображений и профилей поверхности, позволили оценить скорость и ускорение расплавленного слоя.

Выполнена компьютерная обработка фотографий мишени из ниобия, подвергнутой ранее серии облучений плазменными потоками на установке КСПУ-Т. Исследовано изменение пространственного положения, формы и размеров структур на поверхности после каждого облучения в серии.

Литература

1. *Roth J., Tsitrone E., Loarte A. [et al].* Recent analysis of key plasma wall interactions issues for ITER // Journal of Nuclear Materials. 2009. V. 390-391. P. 1-9.
2. *Позняк И.М., Климов Н.С., Подковыров В.Л. [и др.]* Эрозия металлов при воздействии интенсивных потоков плазмы // ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез. 2012. Т. 35. №4. С.23-33.
3. *Мартыненко Ю.В.* Движение расплавленного слоя металла и капельная эрозия при воздействии плазменных потоков, характерных для переходных режимов ИТЭР // ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез. 2014. Т.37. №2. С.53-59.
4. *Позняк И.М., Сафронов В.М., Цыбенко В.Ю.* Движение расплавленного металлического слоя в условиях, характерных для быстрых плазменных процессов в ИТЭР // ВАНТ, Сер. Термоядерный синтез. 2016. Т. 39. №1. С. 15-21.