исследование эксплуатационных свойств плазменных электроизоляционных покрытий изделий бланкета итэр

А.Н. Зайцев1, В.М. Иванов1, Г.В. Дубинин1, В.А. Максимов1, Ю.С. Стребков1, А.Ю. Лешуков1, М.Н. Свириденко1, В.М. Сафронов2

1Научно-исследовательский конструкторский институт энерготехники  
 им. Н.А. Доллежаля, Москва, Россия, [skadi221@gmail.com](mailto:skadi221@gmail.com)  
2Частное учреждение “Проектный центр ИТЭР”, Москва, Россия

Одной из важных задач в процессе создания международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР является выявление закономерностей изменения свойств и характеристик материалов, конструкций при их эксплуатации. Результаты внереакторных экспериментальных исследований свойств применяемых материалов позволяют производить оценку расчетной долговечности изделий, открывая возможность их применения в конструкциях ТЯР ИТЭР.

Важными элементами конструкций модулей бланкета ТЯР ИТЭР являются изделия с плазменным электроизоляционным покрытием (ЭИП), обеспечивающим “контролируемое” протекание возникающих вихревых токов с панелей первой стенки на корпус вакуумной камеры. Циклический режим работы реактора (горение плазмы/пауза) в сочетании с флуктуацией температурных и силовых факторов вызывает микро/макро перемещения деталей с ЭИП в местах их установки. Проведенные предварительные расчеты показали возможность повышения рабочих температур изделий с ЭИП до 400 °С и рост сжимающих нагрузок в диапазоне от 300 до 500 МПа.

В АО НИКИЭТ проведены ряд экспериментальных исследований по оценке механических свойств плазменных ЭИП Al2O3, толщиной 0,35 – 0,05 мм:

- предел прочности сцепления на сдвиг под действием сжимающих усилий;

- интенсивность изнашивания, коэффициент трения в паре с ответными деталями;

- микротвердость, твердость, модуль упругости и др.

Триботехнические испытания проводились с контробразцами из алюминиевой бронзы БрАЖНМц9-4-4-1 и аустенитной коррозионностойкой стали 316L(N)-IG. Результаты экспериментальных испытаний на трение и износ ЭИП выявили высокие фрикционные свойства покрытий (коэффициент трения f = 0,4 – 0,85), что совпадает с ранее проведенными исследованиями плазменных оксидных покрытий в паре со стальными и бронзовыми контробразцами.

Анализ сложно-напряженного состояния в ЭИП, вызванное одновременно силами трения и сжимающими усилиями, выявил опасность хрупкого разрушения (растрескивание, образование сколов) и отслоения покрытия от основы в процессе работы ТЯР ИТЭР.

Одним из путей обеспечения надежной работы ЭИП является снижение сдвиговых усилий между покрытием и ответной деталью. В АО НИКИЭТ разработаны и испытаны на опытных образцах различные способы снижения сдвиговых усилий за счет уменьшения коэффициента трения, некоторые из которых позволяют гарантировать безотказность изделий с ЭИП в течение установленного периода эксплуатации ТЯР ИТЭР:

- нанесение дополнительного антифрикционного слоя на поверхность ЭИП;

- разделение пары трения ЭИП — ответная деталь посредством промежуточных пластин (трибологических элементов);

- использование твердосмазочных материалов на основе дисульфида молибдена;

- модификация поверхности ЭИП путем лазерного оплавления.