

Н.С. БЕРЕЖНАЯ, С.В. БАЗДЫРЕВА, аспирант,
С.В. СУРОВИЦКИЙ, инженер

Изменение структуры и субструктуры вольфрама при циклическом облучении водородной плазмой

Важным конструктивным элементом международного экспериментального термоядерного реактора (ITER - International Thermonuclear Experimental Reactor) является дивертор. Дивертор поглощает срывы плазмы при работе реактора, поэтому в качестве материала элементов защиты дивертора ITER решено использовать тугоплавкий вольфрам. Поведение вольфрама при воздействии циклических плазменных нагрузок при развитии переходных явлений в ITER, таких как срывы тока (disruption) и граничные локализованные моды (Edge Locales Modes – ELM), остаётся одной из самых важных проблем, которые будут определять работу современного ТОКАМАКа.

В данной работе комплексно изучается эволюция структурного состояния, развитие остаточных макронапряжений и формирование поверхностных трещин при многократном циклическом (до 400 имп.) облучении плазмой вольфрамовых образцов (99, 99%) нового типа, полученных способом двойного деформирования (double forging). Образцы облучали водородной плазмой в условиях, моделирующих переходные явления в ITER, на квазистационарном плазменном ускорителе КСПУ X-50 (ХФТИ). Плотность энергии в потоке, достигающего поверхности вольфрама за один импульсом, составляла $0,45 \text{ МДж/м}^2$, длительность импульса – 0,25 мс. Исследования морфологии и структуры, субструктуры и напряженного состояния выполняли методами растровой электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии. Информацию о состоянии структуры и её изменение при облучении получали путём анализа положения, ширины, интенсивности и характера распределения интенсивности в профиле дифракционных линий. Остаточные макронапряжения (σ) и период решётки в ненапряженном состоянии (a_0) определяли с помощью $a\text{-sin}^2\psi$ -графиков.

В образцах выявлена аксиальная текстура, характеризуемая осью [100] вдоль нормали к поверхности и шириной кривой качания $\approx 20^\circ$. После облучения текстура не меняется. Установлено, что в исходном состоянии значение периода решётки в недеформируемом сечении a_0 составляет $0,31640 \pm 0,00002 \text{ нм}$, а при облучении он незначительно увеличивается. После облучения исходные остаточные макронапряжения сжатия отжигаются и вместо них формируются напряжения растяжения. С увеличением количества импульсов величина напряжений стабилизируется и составляет $270 \pm 20 \text{ МПа}$. При этом уменьшается ширина дифракционных линий на 10-20 % и изменяется знак асимметрии профиля дифракционных линий, что свидетельствует о перераспределении структурных дефектов.