

**И.К. МЕЛЬНИКОВ, С.В. МАЛЫХИН**, докт. физ.-мат. наук,  
**С.В. БАЗДЫРЕВА**, аспирант

### Исследования развития остаточных макронапряжений в вольфрамовых мишенях при плазменном облучении

Объектами исследования являются образцы вольфрама, облучённого потоками водородной плазмы с удельной энергией близкой к тепловым нагрузкам на поверхности термоядерного реактора ИТЕР. Основные параметры плазменных потоков были следующими: энергия частиц до 400 эВ, длительность импульса 0,25 мс. Тепловая нагрузка на поверхность образца составляла  $0,45 \text{ МДж}\cdot\text{м}^{-2}$ . Исследование напряжённого состояния образцов проводилось на дифрактометре ДРОН-2 в фильтрованном медном излучении способом многократных наклонных съёмок. Результаты исследований в виде  $a - \sin^2 \psi$ -графиков представлены на рис. 1.

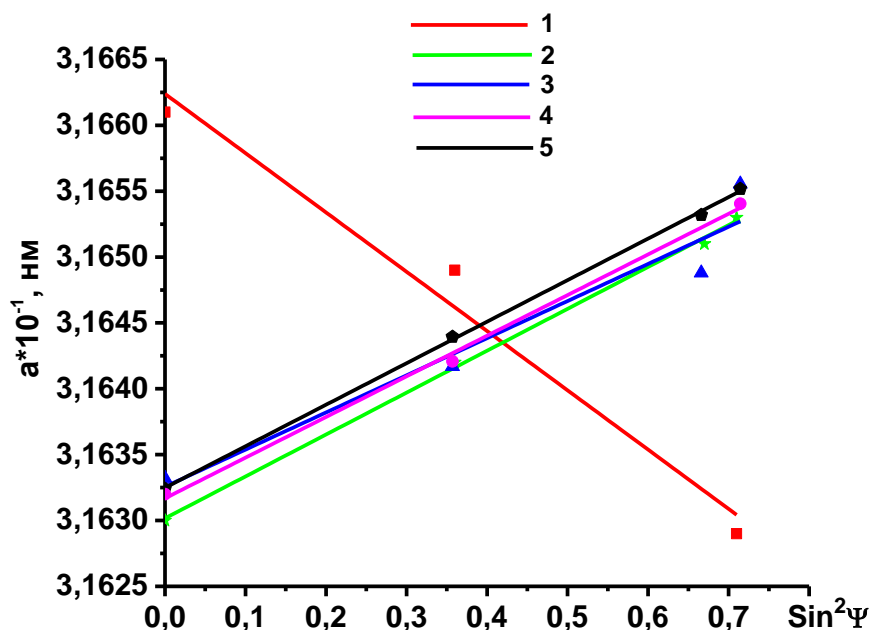


Рис. 1 –  $a - \sin^2 \psi$ - графики для образца вольфрама в исходном состоянии (1) и после облучения: (2) – после 100 импульсов; (3) – после 200 импульсов; (4) – после 300 импульсов; (5) – после 400 импульсов

Наклон графика в исходном состоянии свидетельствует, что в образце действуют остаточные макронапряжения сжатия. После облучения угол наклона изменяется. Это означает, что в поверхностном слое образца в результате воздействия исходные напряжения отжигаются и развиваются макронапряжения растяжения. Природа этих напряжения заключается в

неоднородном нагреве образца по глубине, реализуемом при краткосрочном воздействии, и она находится в хорошем согласии с теоретическими положениями [1].

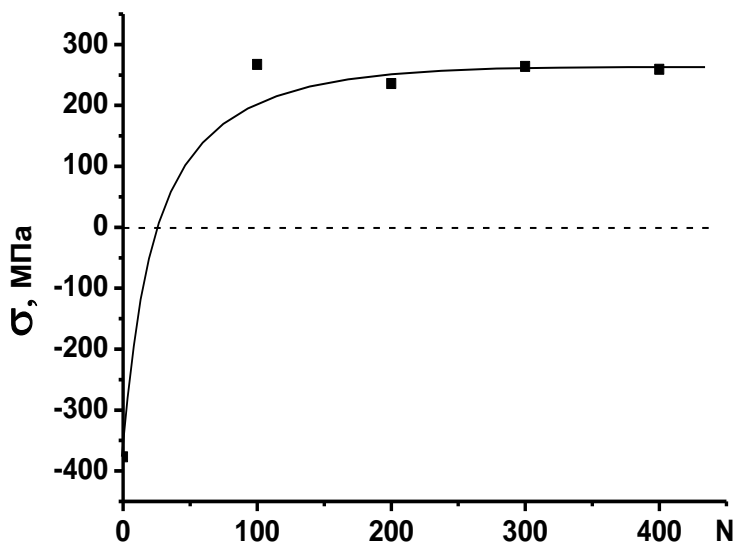


Рис. 2 – Зависимость величины остаточных напряжений от N – количества импульсов облучения

С увеличением дозы облучения величина остаточных напряжений изменяется от  $-380 \pm 20$  МПа до  $270 \pm 20$  МПа при 100 циклах облучения, как это показано на рис. 2. Увеличение количества циклов облучения до 400 значение остаточных напряжений изменяет незначительно. В ранее исследованных образцах [2] напряжения также стремительно развивались и примерно в таких же масштабах. Однако затем напряжения снижались, а на поверхности формировалась система макро- и микротрещин. В нашем случае этих эффектов не наблюдается. И это для работы ИТЕРа является важным.

Мы предполагаем, что данные различия заключаются в изменении фирмой изготовителем образцов (Pensee, Австрия) технологии их изготовления. Для изготовления данных образцов использовали технологию двойного деформирования, а предыдущие изготавливали способом однократной вытяжки.

#### **Список литературы:**

1. Гладких Л.И., Малыхин С.В., Пугачёв А.Т. Дифракционные методы анализа внутренних напряжений. – Харьков:НТУ «ХПИ». – 2006 – С. 303.
2. Makhraj V.A., Garkusha I.E., Malykhin S.V., Pugachov A.T., Landman I Residual stresses in tungsten under exposure with ITER ELM-like plasma loads // Physica Scripta. – 2009. – P. 1–5.