

РОЗВИТОК ПОРИСТОСТІ ТА СТРУКТУРНІ ЗМІНИ У КВАЗИКРИСТАЛІЧНОМУ ПОКРИТТІ НА СТАЛІ ПІД ЧАС ОПРОМІНЕННЯ ВОДНЕВОЮ ПЛАЗМОЮ

Д.І. Шпаков¹, І.А. Копилець²

¹ аспірант кафедри фізики металів та напівпровідників, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

² ст. викладач кафедри фізики металів та напівпровідників, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

Dmytro.Shpakov@infiz.khpi.edu.ua

Поверхня елементів конструкцій термоядерного реактора, особливо перша стінка та дивертор, зазнаватимуть інтенсивного радіаційно-термічного впливу. Відбуваються ерозія поверхні, розпорошення матеріалу елементів і поверхневе забруднення. У термоядерних установках ІТЕР і ДЕМО вольфрам використовується як матеріал першої стінки завдяки комплексу таких властивостей, як висока температура плавлення, висока стійкість до розпилення. У попередніх дослідженнях намагалися захищати поверхню першої стінки шляхом нанесення тонких поверхневих шарів (графіт, берилій, мідь, цирконій) або легуванням [1, 2]. Ми вважаємо, що перспективним може бути також використання одно- або багат шарових покриттів із застосуванням Ti-Zr-Ni квазикристалів. Їм властиві унікальні фізичні властивості, такі як висока міцність, низька теплопровідність, здатність накопичувати водень (до 2 H/ат.) у вигляді твердого розчину.

У цій роботі ставилося метою дослідження характеристик структурного стану покриття складом Ti₄₁Zr₄₁Ni₁₈ при взаємодії з воднем, особливостей стимульованого опромінення фазового перетворення квазикристалу на 2/1 кристал-апроксимант.

Досліджувалися покриття товщиною 5,7 мкм, які виготовляли методом магнетронного розпилення. Після осадження зразки відпалювали у вакуумі за температури 500 °С упродовж 4 годин для формування квазикристалічної фази. Основні параметри плазмового опромінення були такими: теплове навантаження становило 0,2 МДж/м², енергія удару іонів — близько 0,4 кеВ; потік іонів водню – до 20 імпульсів по 10¹⁸ см⁻² в одному імпульсі.

На основі експериментально спостережених результатів рентгенівської дифрактометрії, растрової та просвічувальної електронної мікроскопії виділено ефекти, стимульовані плазмовим опроміненням:

1. Під час опромінення відбувається насичення квазикристалічної фази покриття воднем у кількості до 1,2 H/ат.Ме із утворенням твердого розчину.

2. Спостерігається ефект виділення водню з твердого розчину на основі квазикристалічної фази (розпад пересиченого твердого розчину) з утворенням пор сферичної форми в об'ємі покриття та блистерів на поверхні.

3. Рекристалізація квазикристалічної фази.

4. Перебіг стимульованого фазового перетворення з утворенням фази 2/1 кристалічного апроксиманта з квазикристалічної фази, яке має локальний характер і спостерігається поблизу пор розміром ≥ 200 нм, навколо яких виникають стискальні напруження.

Список літератури:

1. G. Pintsuk et al. Materials for in-vessel components // Fusion Engineering and Design. 2022, v. 147, p 112994.

2. J. H. You et al. Limiters for DEMO wall protection: Initial design concepts & technology options // Fusion Engineering and Design. 2022, v. 174, p. 112998.