

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОТУЖНОЇ ВОДНЕВОЇ ПЛАЗМИ В РЕЖИМІ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА НА СТРУКТУРНО-НАПРУЖЕНИЙ СТАН ОДНО ТА ДВОШАРУВАТИХ ВОЛЬФРАМ-КВАЗІКРИСТАЛ ПОКРИТТІВ

Д.В. Литвінюк¹, С.В. Малихін², С.В. Суrowицький³

¹ аспірант кафедри ФМН, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

² професор кафедри ФМН, доктор фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

³ м.н.с кафедри ФМН, НТУ «ХПІ», Харків, Україна, Serhiy.Surovitskiy@khpri.edu.ua

В роботі вивчаються стимульовані процеси змінення структурно-фазового та напруженого стану в шаруватих плівкових композиціях перспективних в якості функціональних покриттів на поверхні сталей. Передбачається, що вони будуть придатними для використання в умовах радіаційно-термічного навантаження граничної інтенсивності в режимах термоядерного реактора ІТЕР. Розглядаються плівкові композиції побудовані з використанням вольфраму та Ti-Zr-Ni квазікристалу. Завдяки низькій швидкості розпилення та високому порогу плавлення вольфрам розглядається як поглинач енергії водневої плазми при зривах у реакторі для дивертора та першої стінки. Шари Ti-Zr-Ni квазікристалу здатні виконувати функцію поглинача водню у вигляді твердого розчину з подальшим його викидом назовні [1].

В роботі вивчаються наступні двошарові покриття: Ti₄₁Zr₄₁Ni₁₈ (5,4 мкм)/W(2мкм)/сталь EUROFER (зразок 1) та W(2мкм)/Ti₄₁Zr₄₁Ni₁₈(5,4 мкм)/сталь EUROFER (зразок 2). Опромінення потоком водневої плазми виконували на квазістаціонарному плазмовому прискорювачі КСПП Х-50 (ННЦ ХФТІ). Основні параметри плазмового опромінення були: теплове навантаження 0,6 МДж/м², що визначило температуру поверхні зразків близькою до температури плавлення, енергія удару іонів близько 0,4 кеВ, потік іонів водню в одному імпульсі забезпечував дозу $\approx 10^{18}$ см⁻² Максимальна кількість імпульсів становила 10. Дослідження проводили методами рентгенівської дифрактометрії та растрової електронної мікроскопії.

За допомогою $\sin^2\psi$ методу було визначені залишкові напруження в вольфрамовому шарі для двох різних конструкцій покриттів у вихідному стані та після відпалу при температурі 480°C, а також їх змінення при опроміненні (рисунк 1).

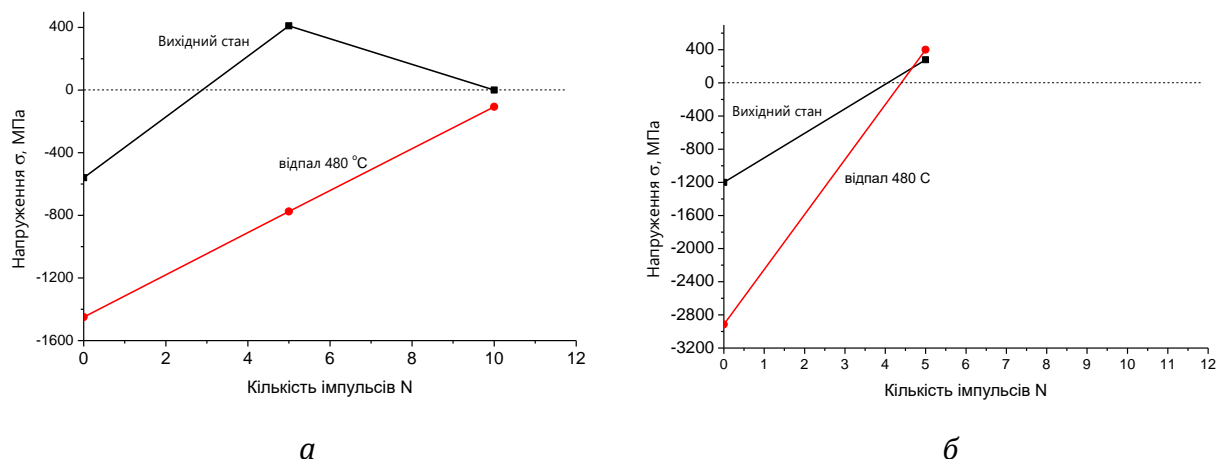


Рис. 1 – Графік залежності залишкових напружень від кількості опромінь: а – покриття Ti₄₁Zr₄₁Ni₁₈ (5,4 мкм)/W(2мкм)/сталь EUROFER; б – покриття W(2мкм)/Ti₄₁Zr₄₁Ni₁₈ (5,4 мкм)/сталь EUROFER

З графіків видно, що у вихідному стані діють напруження стиснення. Відпал в вакуумних умовах призводить до збільшення рівня залишкових напружень стиснення. Опромінення плазмою призводить до суттєвого зниження напружень та формування в окремих випадках напружень розтягу. Змінення в покриттях різної конструкції аналогічні, але мають різний масштаб. При цьому опромінення або майже не змінює, або трохи зменшує період кристалічної решітки вольфраму в ізотропному перерізі від приблизно 0,31672...0,31680 нм до 0,51650...0,51650 нм. Відбувається змінення також і напівширини дифракційних піків.

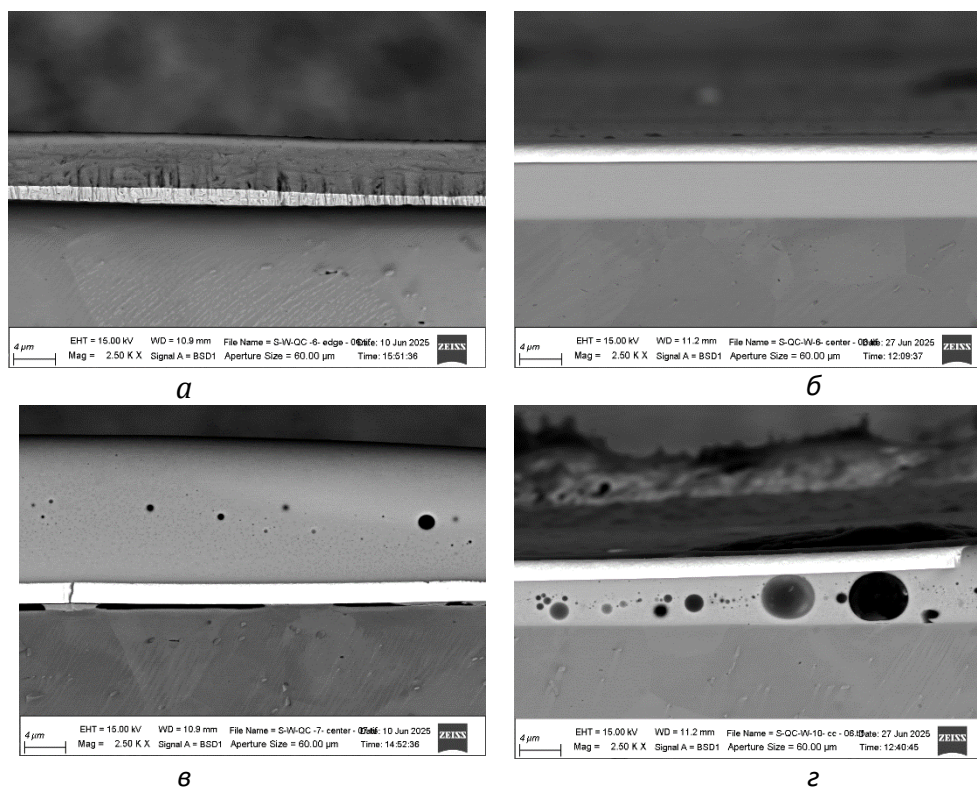


Рис. 2 – Розвиток морфології поверхні зразків без відпалу: *а* – Ti41Zr41Ni18 /W/сталь у вихідному стані; *б* – W/Ti41Zr41Ni18 /сталь у вихідному стані; *в* та *г* – зразки 1 та 2 після опромінення 10 та 5 імпульсів

Згідно з картин растрової електронної мікроскопії, наведених на рис.2, у вихідному стані в зразках 1 та 2 спостерігаються суцільні та гладкі шари вольфраму та квазікристалу. Товщина шарів практично збігається з номінальною за технологічним процесом нанесення. Як видно з рис.2в та рис.2г, опромінення водневою плазмою в кількості 10 для першого зразка та 5 імпульсів для другого зразка призводить до утворення водневих пор по шарі квазікристалічної фази. Шар вольфраму залишається незмінним. Для зразка 1 відмічається розпухання та збільшення товщини квазікристалічного шару. Найбільші пори не перевищують 2 мкм. У зразку 2 водень проходить шар вольфраму та накопичується в шарі квазікристала без розпухання останнього. Пори, які утворюються, значно перевищують за розміром попередній випадок. В заключення можна відмітити, що обидві конструкції захистили сталь від насичення воднем.

Проведення досліджень відповідає розділу «Плазмово-поверхнева взаємодія» програми з термоядерної енергетики EUROfusion – Ukraine.

Список літератури:

1. Stadnik Z.M. *Physical properties of quasicrystals*//Berlin: Springer – 1999 – 365 p.