

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ НІТРИДНИХ,
КАРБІДНИХ, БОРИДНИХ І ОКСИДНИХ НАНОПОКРИТТІВ НА ТВЕРДОМУ
СПЛАВІ Т23А**Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Україна

У даний час широко обговорюється питання про створення високоентропійних сплавів, які можуть знайти широке застосування в техніці за рахунок високої твердості, високої міцності за значних температур, істотно зменшеної повзучості у порівнянні з традиційними конструкційними матеріалами [1-5]. У той же час питання отримання НС як на високоентропійних сплавах так і в покриттях з цих сплавів, навіть експериментально практично не вивчено, а робіт у теоретичному плані з отримання НС за винятком наших практично немає.

Усе це говорить про те, що є істотна необхідність у розвитку робіт з одержання покриттів із нітридів, карбідів, боридів, оксидів та інших твердих сполук у разі утворення високоентропійного покриття. Вище викладене говорить про важливість та актуальність теоретичних досліджень, що проводяться у напрямку отримання високоентропійних нітридних карбідних, боридних та оксидних наноструктурних покриттів.

Було досліджено можливість створення високоентропійних покриттів із чистих металів на твердому сплаві Т23А, розглядалася можливість нанесення нітридів, карбідів, боридів та оксидів гафнію, цирконію, молібдену, вольфраму, ітрію та нікелю. Для цього на основі спільної задачі теплопровідності та термопружності визначався об'єм зерна та глибини його залягання для розглянутих елементів [1].

Для виконання умови високоентропійності визначаємо частку гафнію, що бере участь у процесі з урахуванням вимоги, щоб цирконію було не більше 30%, а потім оцінюємо скважність імпульсів напруги на випарнику з катодом СЦГ 20 і частку інших компонентів для яких необхідно мати один двокомпонентний катод, із співвідношенням компонентів 50%/50% та два випарники з однокомпонентними катодами (причому об'єднуючи у двокомпонентному катоді елементи з близькими парціальними тисками при однакових температурах) [2].

На рис. 1 для іонів гафнію (Hf^{+}) представлені залежності об'єму нанокластеру, мінімальної та максимальної глибини його залягання від енергії іонів. Видно, що об'єм, відповідний наноструктурам (НС), реалізується у всьому діапазоні енергії на мінімальній глибині $0 - 1,19 \cdot 10^{-9}$ м для енергії іонів $E=200$ еВ, $5,28 \cdot 10^{-10} - 5,69 \cdot 10^{-9}$ для $E=2000$ еВ; $4,14 \cdot 10^{-9} - 2,43 \cdot 10^{-8}$ для $E=20$ кеВ. Діапазон максимальної глибини залягання наноструктур енергії іонів $E=200$ еВ складає $1,96 \cdot 10^{-9} - 4,7 \cdot 10^{-9}$ м, при $E=2000$ еВ $- 5,69 \cdot 10^{-9} - 1,30 \cdot 10^{-8}$ м, при $E=20$ кеВ $- 1,58 \cdot 10^{-8} - 3,55 \cdot 10^{-8}$ м. Видно, що з ростом маси іона об'єм НС і глибини їх залягання зменшуються. Ця тенденція простежується для всіх розглянутих іонів.

Перейшовши до залежностей для цирконію Zr^{+} (рис. 2) отримуємо, що для всіх досліджуваних енергій реалізуються НС. Причому при 200 еВ глибини залягання становлять: мінімальна $- 0 - 1,58 \cdot 10^{-9}$ м; максимальна $- 2,20 \cdot 10^{-9} - 5,03 \cdot 10^{-9}$ м. При 2000 еВ мінімальні $- 8,8 \cdot 10^{-10} - 6,79 \cdot 10^{-9}$ м; максимальні $- 6,11 \cdot 10^{-9} - 1,42 \cdot 10^{-8}$ м. Для 20 кеВ мінімальна глибина залягання $- 5,33 \cdot 10^{-9} - 2,85 \cdot 10^{-8}$ м; для максимальної $- 1,75 \cdot 10^{-8} - 4,02 \cdot 10^{-8}$ м.

Для іонів вольфраму (W^{+}) представлені аналогічні графіки (рис. 3). Глибини залягання НС при енергії 200 еВ складають: мінімальна $- 0 - 1,18 \cdot 10^{-9}$ м, максимальна $- 1,96 \cdot 10^{-9} - 4,69 \cdot 10^{-9}$ м. При енергії 2000 еВ: мінімальна глибина $- 5,21 \cdot 10^{-10} - 5,67 \cdot 10^{-9}$ м; максимальна $- 5,68 \cdot 10^{-9} - 1,29 \cdot 10^{-8}$ м. При 20 кеВ: мінімальна глибина $- 4,13 \cdot 10^{-9} - 2,41 \cdot 10^{-8}$ м; максимальна $- 1,57 \cdot 10^{-8} - 3,54 \cdot 10^{-8}$ м.

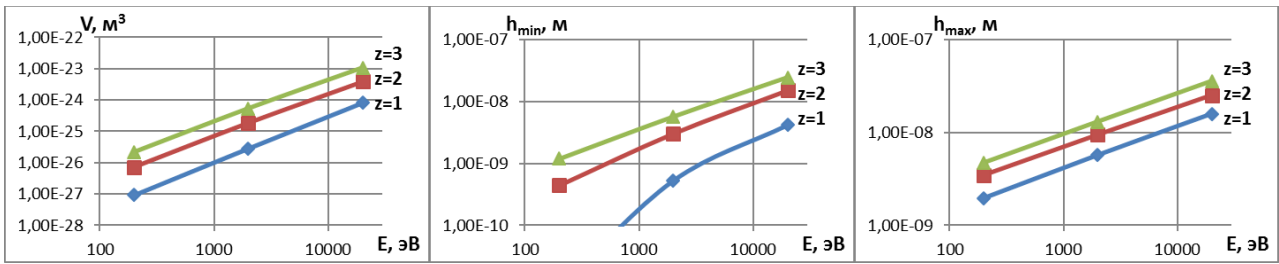


Рис. 1. Залежності об'єму нанокластера (НК) (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НК при дії іонів гафнію (Hf^+) з різним зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для T23A

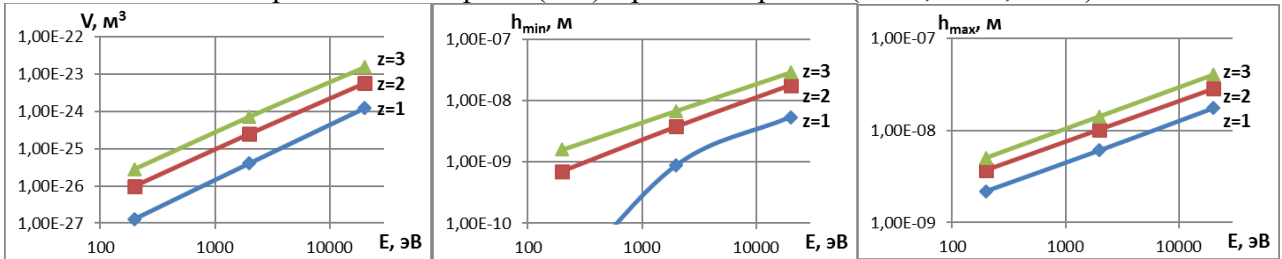


Рис. 2. Залежності об'єму нанокластера (НК) (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НК при дії іонів цирконію (Zr^+) з різним зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для T23A

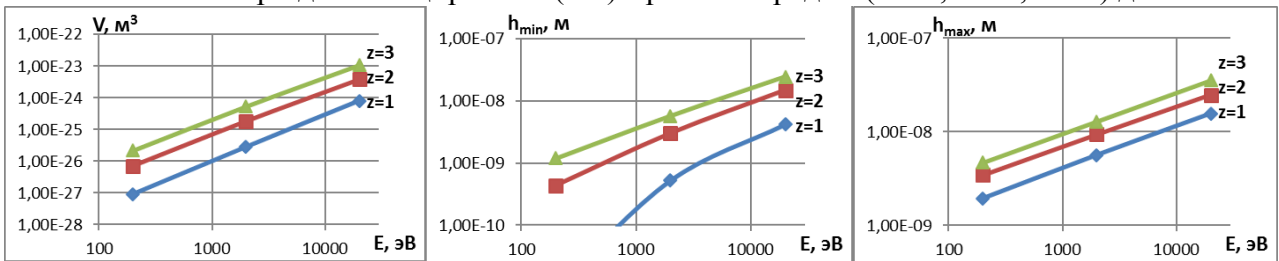


Рис. 3. Залежності об'єму нанокластера (НК) (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НК при дії іонів вольфраму (W^+) з різним зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для T23A

Для іонів молібдену, ітрію та нікелю отримано аналогічні залежності. У результаті спільної дії всіх розглянутих сортів іонів та з урахуванням дії іонів азоту, вуглецю, бору та кисню (вибравши відповідну енергію іонів) отримуємо високоентропійне нітридне, карбідне, боридне та оксидне наноструктурне покриття. Також можна відзначити, що завдяки створенню шарів з таких покриттів і вибравши послідовність шарів (перший на поверхні з урахуванням адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом) ми можемо конструювати ефективний різальний інструмент високої працездатності.

Список використаних джерел

1. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокровтиями и наноструктурными модифицированными слоями: монография-справ. в 2 кн. Кн.1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии / Г.И. Костюк – Харьков: «ПланетаПринт», 2016. – 735 с.
2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур: монография / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.
3. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы: монография / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. Центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.
4. Костюк, Г. И. Наноструктуры и нанопокровтия: перспективы и реальность: учеб. пособ. / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.
5. Костюк, Г. И. Научные основы создания современных технологий: учеб. пособ. / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.

Науковий керівник к.т.н., доцент Широкий Ю.В.