

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ КАРБІДНИХ НАНОПОКРИТТІВ НА $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

¹Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського
 «Харківський авіаційний інститут», Україна
²Акціонерне товариство «FED», Україна

У роботах [1-3] розглядаються можливості утворення твердих розчинів які мають високі фізико-механічні показники та значно висчу твердість. Є спроби створювати покриття з високоентропійних сплавів [4] і навіть експериментально отримувати нітриди на основі високоентропійних сплавів, але теоретичних робіт у області створення шарів з карбідних високоентропійних покриттів поки що замало, тому опираючись на теоретичні розрахунки було розглянуто питання отримання високоентропійних карбідних нанопокриттів на матеріалі $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$.

Була досліджена можливість створення високоентропійних карбідних покриттів на композитному матеріалі $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$, розглядалася можливість нанесення карбідів гафнію, цирконію, молібдену, вольфраму, ітрію та нікелю. Для цього на основі спільної задачі теплопровідності та термопружності визначався обсяг зерна та глибини його залягання для розглянутих елементів. Отримання карбідів вимагає подачі іонів вуглецю, які можна отримувати безпосередньо з вуглецевого електрода при використанні магнетрону або з газів, що містять вуглець. Для вуглецю залежності обсягу зерна (рис. 1, а), мінімальної (рис. 1, б) та максимальної (рис. 1, в) глибин залягання дозволяють отримати просторову картину утворення зерна у зоні дії іона вуглецю. Видно, що нано-зерно може бути отримано при енергіях іонів від 200 до 2000 еВ, тоді як поблизу 20 КеВ ймовірність його утворення невисока, а при зарядових числах 2 та 3 взагалі неможлива. Діапазон мінімальних глибин залягання становить величини $2,49 \cdot 10^{-9} \dots 1,31 \cdot 10^{-7}$ м, а максимальні – $4,51 \cdot 10^{-9} \dots 1,42 \cdot 10^{-7}$ м (рис. 1). Видно, що в цьому випадку досягається максимальна глибина зони, де утворюється зерно, збільшується практично до десятка мікрометрів, що в останньому випадку утворює субмікрозерно.

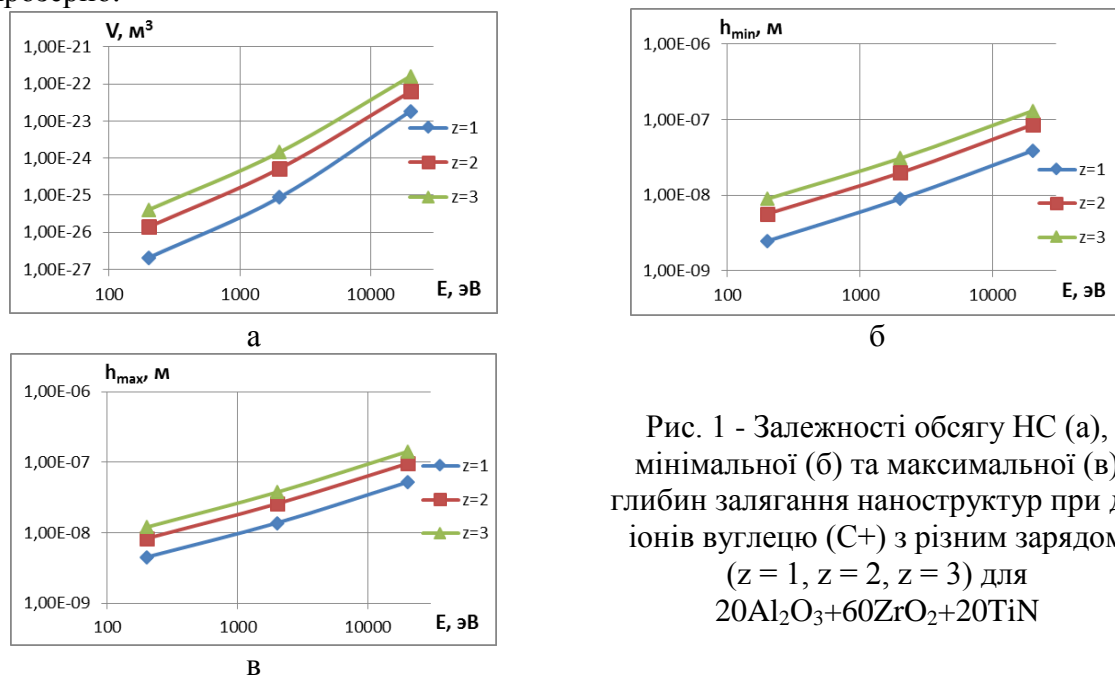


Рис. 1 - Залежності обсягу НС (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибин залягання наноструктур при дії іонів вуглецю (C⁺) з різним зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

Надалі в залежності від того, яку послідовність шарів ми хочемо отримати, виходячи з адгезійних [2] та міцнісних [3] характеристик покриття, ми вибираємо поверхневий шар покриття та їх чергування.

При проектуванні високоентропійних покриттів елементів в з'єднанні повинно бути принаймні 5 та більше і, крім того, їх атомні концентрації повинні бути від 5 до 30%. Більш висока конфігураційна ентропія досягається при наявності в складі не менше п'яти елементів оскільки збільшення кількості компонентів збільшує ентропію і найкращим чином пояснює ефект високої ентропії який є важливим фактором для проектування високоентропійних з'єднань. Для виконання умови високоентропійності визначаємо частку гафнію, бере участь у процесі з урахуванням вимоги, щоб цирконію було не більше 30%, а потім оцінюємо інтенсивність імпульсів напруги на випарники з катодом ЦГ 20 та частку інших компонентів, для яких необхідно мати один катод двокомпонентний, із співвідношенням компонентів 50%/50%, і два випарники з однокомпонентними катодами (причому об'єднуючи у двокомпонентному катоді елементи з близькими парціальними тисками при однакових температурах).

Далі розглядаємо (залежно від обраної послідовності шарів, перший шар – зовнішній, для нього вибираємо діапазон глибин: мінімальний та максимальний, а також розмір зерна. Другим по глибині буде шар зі з'єднань, елементів або інтерметалідів) в залежності від характеру роботи різального інструменту (PI): якщо PI працює з ударною навантаженням, то другий шар повинен бути з чистого металу (інтерметалідний) або з'єднання демпфує деформацію першого шару. Наступні шари можуть бути з хімічних з'єднань.

На рис. 2 для іонів гафнію представлені всі три залежності. Видно, що об'єм, відповідний НС реалізується до енергії іонів близько 700-800 еВ і глибини: для мінімальної $9,91 \cdot 10^{-10} \dots 5,67 \cdot 10^{-8}$ м; для максимальної – $3,17 \cdot 10^{-9} \dots 6,63 \cdot 10^{-8}$ м. Видно, що із зростанням маси іона обсяги наноструктур (НС) та глибини їх залягання суттєво зменшуються. Ця тенденція простежується практично для всіх розглянутих іонів

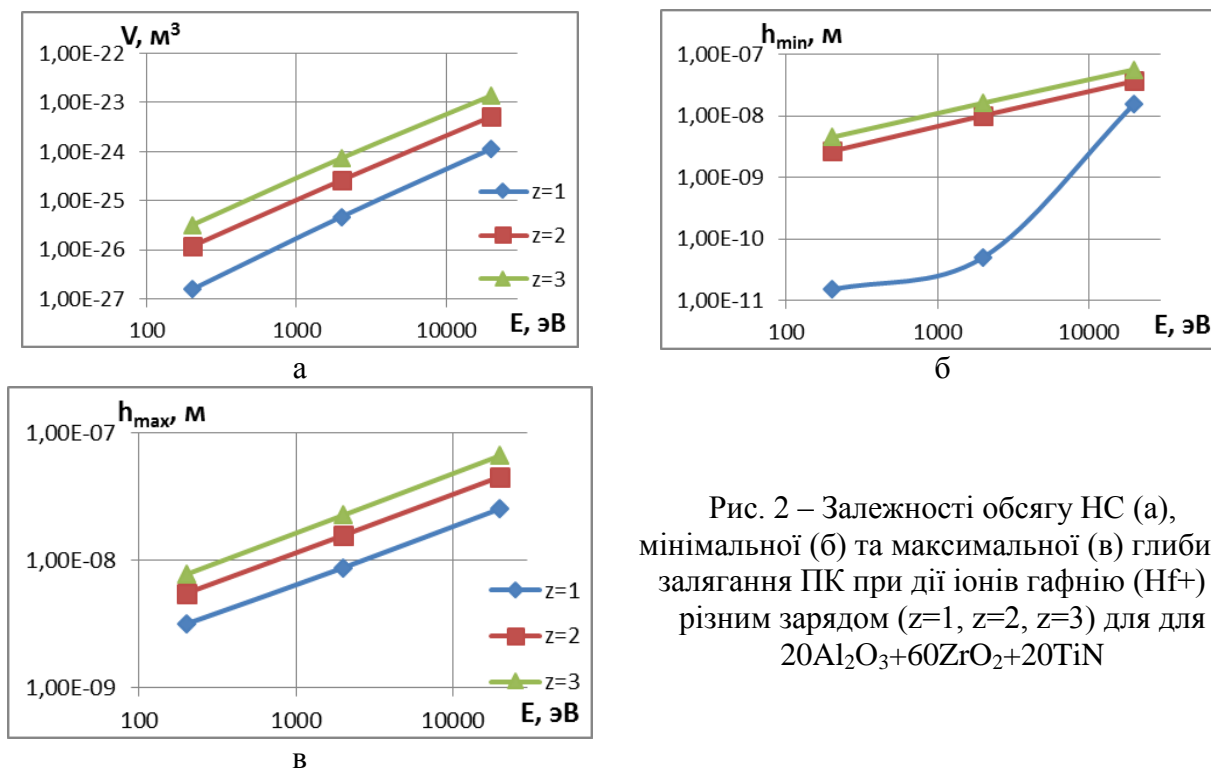
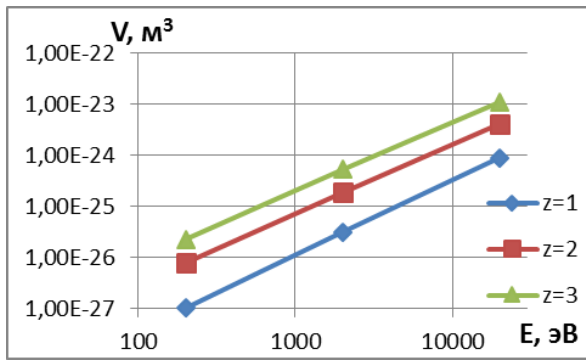
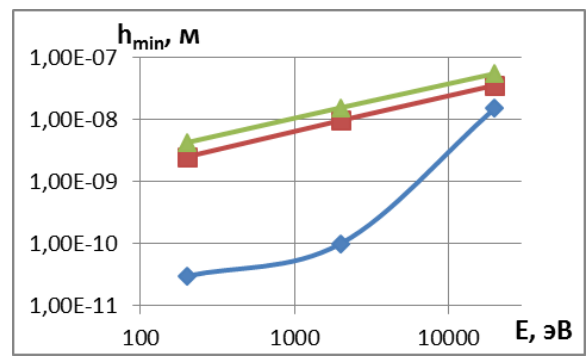


Рис. 2 – Залежності обсягу НС (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання ПК при дії іонів гафнію (Hf+) з різним зарядом (z=1, z=2, z=3) для для $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$

Далі представлені залежності обсягу, мінімальної та максимальної глибин залягання для (Zr+) (рис. 3), (Mo+) (рис. 4), (W+) (рис. 5), (Y+) (рис. 6), (Ni+) (рис. 7) на основі яких отримаємо, що практично для всіх досліджуваних енергій реалізуються НС.

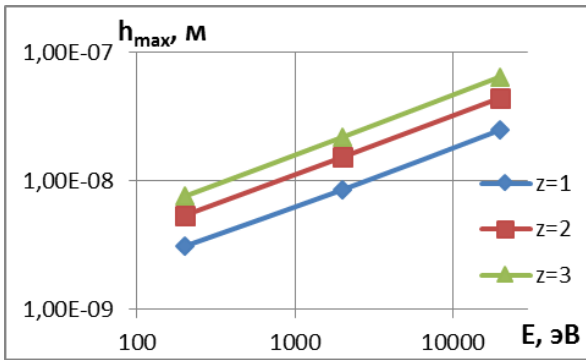


а

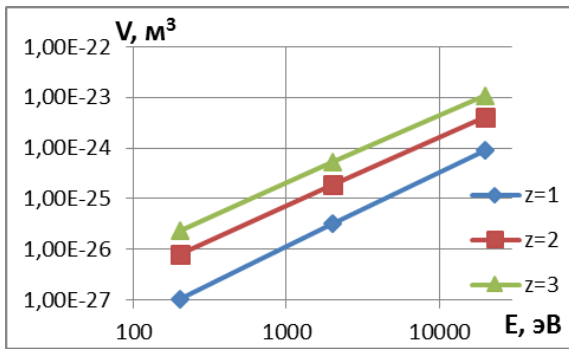


б

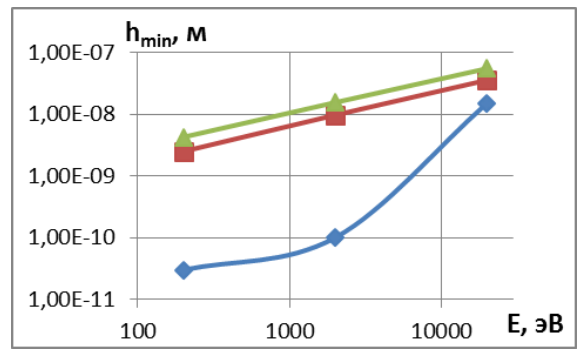
Рис. 3. - Залежності обсягу НС (а), мінімальної (б) та максимальної (в) глибини залягання НС при дії іонів цирконію (Zr^{+}) з різним зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$



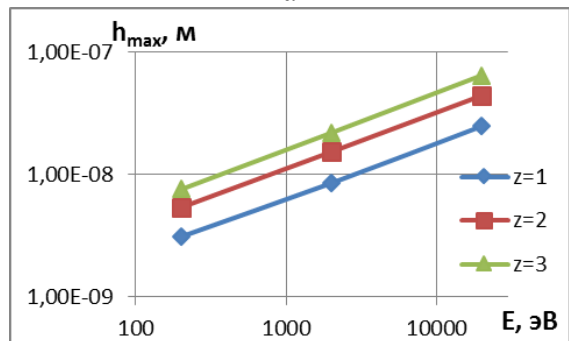
в



а



б



в

Рис. 4 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов молибдена (Mo^{+}) с различным зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для $20Al_2O_3+60ZrO_2+20TiN$

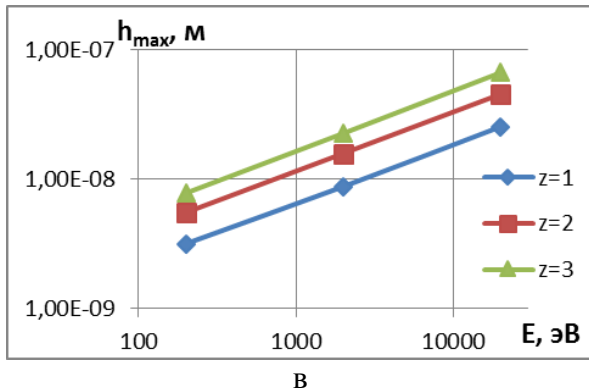
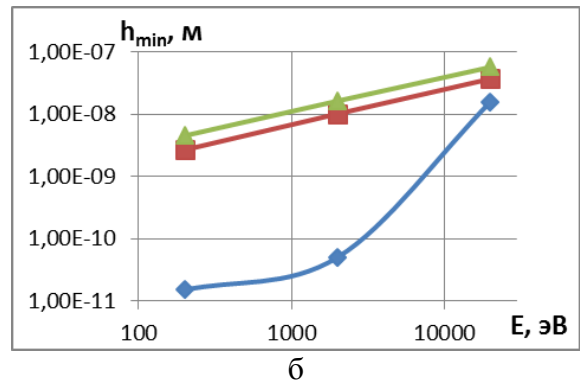
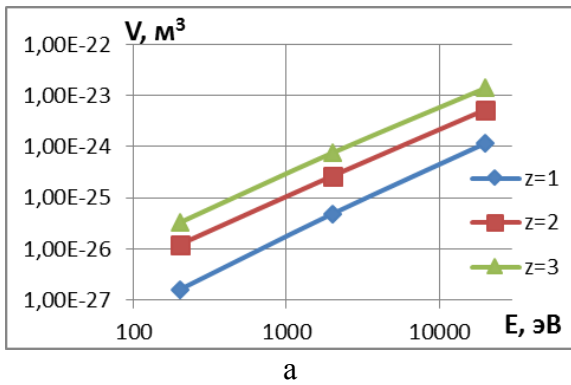


Рис. 5 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов вольфрама (W+) с различным зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

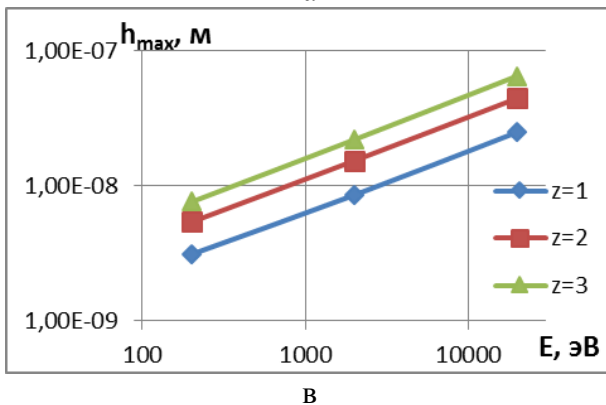
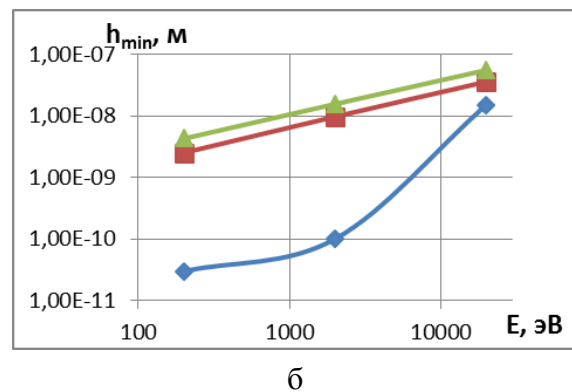
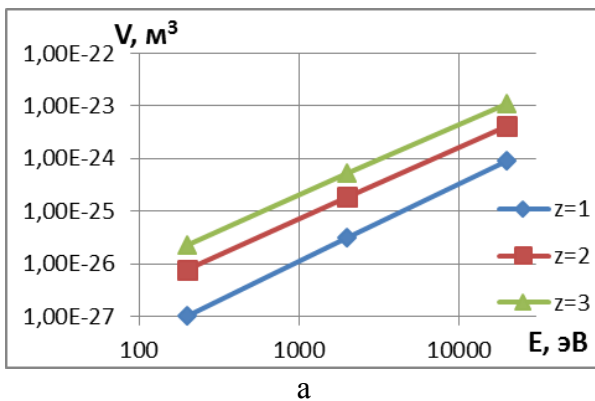


Рис. 6 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов иттрия (Y+) с различным зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

Зі збільшенням маси іона зменшуються мінімальна та максимальна глибини залягання зерна, а також трохи зменшуються обсяги зерна. Зона енергії, де можливе отримання наноструктур, збільшується, що позитивно позначається на фізико-механічні характеристики покриття, яке при наноструктурному зерні має велику мікротвердість, межу плинності, межу міцності, підвищується також корозійна стійкість, причому збільшується здатність сприймати ударні навантаження за рахунок зниження модуля пружності. Це дозволяє

витримувати високі навантаження у зоні пружності, тобто при великих деформаціях ми маємо невисоку напругу.

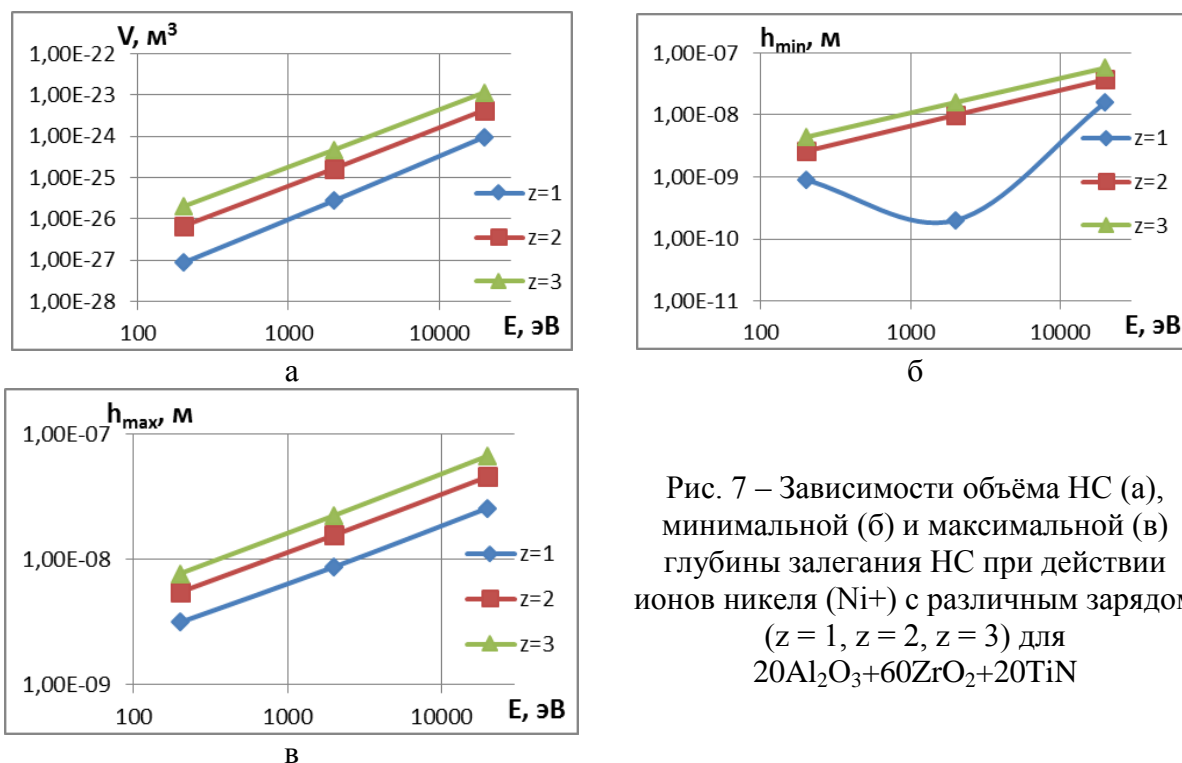


Рис. 7 – Зависимости объёма НС (а), минимальной (б) и максимальной (в) глубины залегания НС при действии ионов никеля (Ni^+) с различным зарядом ($z = 1, z = 2, z = 3$) для $20\text{Al}_2\text{O}_3+60\text{ZrO}_2+20\text{TiN}$

Ми розглянули можливість отримання карбідів з урахуванням просторового характеру дії основних металів. Реалізувати високо-ентропійне покриття з 6-ма металами можна в установці Булат 6, використовуючи чотири випарники, в двох з яких будуть катоди з чистих металів, а в решті 2-х – двокомпонентні катоди. Ось так, наприклад, якщо один із катодів буде з ЦГ20 (20%Нf+80%Zr), щоб забезпечити отримання високоентропійного покриття необхідно, наприклад, щоб гафнію було 7,5%, а цирконію 30 % – максимально можлива кількість одного компонента у високоентропійному покритті. Тоді розрахунки показують, що інші елементи повинні складати 15,6225 % як у 2-х однокомпонентних катодах, так і в 2х компонентному катоді.

Розглянуто теоретичне отримання високоентропійного карбідного нанопокриття з 6-ма металами з урахуванням просторового характеру дії основних металів.

Список використаних джерел

1. Костюк, Г. І. Ефективний різальний інструмент з нанопокриттями та наноструктурними модифікованими шарами: монографія-справ. у 2 кн. Кн.1. Плазмово-іонні та іонно-променеві технології/Г.І. Костюк – Харків: «ПланетаПринт», 2016. – 735 с.
2. Костюк, Г. І. Нанотехнології: вибір технологічних параметрів та установок, продуктивність обробки, фізико-механічні характеристики наноструктур: монографія/Г. І. Костюк. - Київ: Вид. центр Міжнар. академії наук та інновацій. технологій, 2014. - 472 с.
3. Костюк, Г. І. Нанотехнології: теорія, експеримент, техніка, перспективи: монографія/Г. І. Костюк. - Київ: Вид. центр Міжнар. академії наук та інновацій. технологій, 2012. - 648 с.
4. Костюк, Г. І. Наноструктури та нанопокриття: перспективи та реальність: навч. посіб. / Г. І. Костюк. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харків. авіац. ін-т», 2009. - 406 с.

Науковий керівник д-р.техн.наук, професор Сисоєв Ю.О.