

DOI 10.18372/2786-5495.1.17316

УДК 620.7

Бруйка Ольга 

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри базових та спеціальних дисциплін
Навчально-наукового інституту розвитку освіти,
Національний авіаційний університет,
м. Київ, Україна

olha.bruyaka@npp.nau.edu.ua

Дзюба Павло,

студент факультету електротехніки та інформатики,
Технічний університет у Кошицях,
м. Кошице, Словаччина

pavlo.dziubav@gmail.com

ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУР У ТВЕРДИХ СПЛАВАХ

Анотація. У статті розглядаються перспективи застосування наноструктур, наведено результати дослідження впливу частки карбіду титану в твердих сплавах на характер утворення наноструктур в поверхневому шарі. Визначено найбільш вигідне співвідношення компонентів твердого сплаву, при якому ймовірність утворення наноструктури з

найменшим розміром буде максимальною.

Ключові слова: нанотехнології, нанооб'єкти, наноматеріали, тверді сплави, наноструктури, об'єм зерна, ріжучий інструмент, нано-структурні шари.

Annotation. *The article considers the prospects for the application of nanostructures, the results of the study of the influence of the proportion of titanium carbide in hard alloys on the nature of the formation of nanostructures in the surface layer are given. The most favorable ratio of hard alloy components has been determined, at which the probability of formation of a nanostructure with the smallest size will be maximum.*

Key words: nanotechnology, nanoobjects, nanomaterials, hard alloys, nanostructures, grain volume, cutting tool, nano-structural layers.

Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що формування наноструктур з ультрадрібними зернами може забезпечувати унікальне поєднання фізико-механічних властивостей, таких як: дуже висока міцність і пластичність, висока довговічність, зносостійкість. Ці властивості особливо важливі для інженерних застосувань наноструктурних сплавів як перспективних конструкційних і функціональних матеріалів нового покоління в умовах дії високих температур і тисків, агресивних середовищ, змінних навантажень.

Мета роботи - здійснити дослідження впливу частки карбиду титану в твердих сплавах, що містять Al_2O_3 і TiC у різних відсоткових співвідношеннях,

на характер отримання наноструктур в поверхневому шарі при дії іонізуючого випромінювання.

XXI століття визначається новою третьою науково-технічною революцією, пов'язаною з нанотехнологіями та наноматеріалами. Передумови НТР були створені фундаментальними науковими відкриттями XX ст. в галузі ядерної фізики, квантової механіки, кібернетики, мікробіології, хімії полімерів.

Ще у 1905 році Альберт Ейнштейн опублікував роботу, де доведено, що розмір молекул цукру становить приблизно один нанометр. Німецькі фізики Макс Кнолл та Ернст Руска створили у 1931 році електронний мікроскоп, який дозволяє виявити нанооб'єкти. У 1959 р. американським фізиком Річардом Фейнманом було науково доведено, що можна створювати речі безпосередньо з атомів. Співробітниками наукового підрозділу комп'ютерної компанії Bell Альфредом Чо і Джоном Артуром були розроблені теоретичні основи нанообробки поверхонь. У 1981 р. німецькі фізики Герд Бінніг і Генріх Рорер створили скануючий тунельний мікроскоп – прилад, що дозволяє впливати на речовину на атомарному рівні. Американські фізики Р. Керл, Х. Крото та Р. Смолі створили технологію, що дозволяє точно вимірювати предмети діаметром один нанометр. А вже 1989 р. співробітник компанії ІВМ викладає назву своєї фірми атомами ксенону: Nanotechnology Initiative.

Нанотехнологія – міждисциплінарна область фундаментальної та прикладної науки і техніки, що включає теоретичне обґрунтування, практичні методи дослідження, аналіз та синтез, а також методи виробництва та застосування продуктів із заданою атомарною структурою. Іншими словами, це

технології найвищого рівня, що дозволяють контролювано маніпулювати окремими атомами та молекулами в нанометровому масштабі.

Основна ідея нанотехнологій полягає в тому, що практично будь-яка хімічно стабільна структура може бути, якщо це не заборонено фізичними законами, побудована або зібрана штучно шляхом відповідної маніпуляції окремими атомами або їх групами. Тому можливості нанотехнологій воістину необмежені: від виробництва ДНК-комп'ютерів до створення молекулярних роботів-лікарів.

Останнім часом значна увага приділяється твердим сплавам з зносостійким покриттям. Тверді сплави є композиційними матеріалами, які складаються з карбідних частинок, пов'язаних разом металевою зв'язкою. Зміст фази карбиду в таких сплавах, зазвичай, становить 80-97 % від загальної ваги суміші, а розмір її зерна становить від 0,4 до 10 мкм.

Формування наноструктур та субмікроструктур призводить до підвищення мікротвердості, а отже – до зростання зносостійкості, що може забезпечити високу експлуатаційну стійкість та ефективність деталей машин та механізмів, різальних інструментів.

Існує достатня кількість теоретичних робіт з розрахунку розміру нанозерна [1 - 2] при дії потоків іонів або іонізованого випромінювання. Але порівняння результатів розрахунків розмірів зерна в твердих сплавах після впливу іонізованого випромінювання немає. Проведемо таке порівняння для твердих сплавів, які містять Al_2O_3 та TiC в різних відсоткових співвідношеннях. Дослідження впливу частки компонентів в сплавах, які містять Al_2O_3 та TiC , на

ефективність отримання наноструктур дозволить конструювати нові тверді сплави з урахуванням утворення наноструктурних шарів.

Для випадку дії іонів бору вплив частки карбіду титану на обсяг наноструктури показано на рисунку 1. Видно, що мінімальні розміри наноструктури реалізуються при співвідношенні 50 на 50, тобто при рівній кількості Al_2O_3 і TiC . Дещо більші значення реалізуються при співвідношеннях 0-100 та 100-0, де один карбід титану або оксиду алюмінію. Причому такий характер зберігається для всіх енергій іонів 200, 2000 і 20000 еВ, а також при різних зарядових числах іонів 1, 2, 3. Напевно, це пов'язано з тим, що при рівному співвідношенні компонентів, утворюється твердий розчин і зерно подрібнюється. Менш інтенсивно утворюються наноструктури в разі дії іона бору на чистий Al_2O_3 і TiC . Співвідношення 20-80 і 80-20 між компонентами призводять до виникнення нерівноважних станів, які не дають утворюватися компактним наноструктурам, тому зростає розмір зерна і відповідно об'єм наноструктур (рис. 1).

При дії іонів азоту на тверді сплави з пропонованими співвідношеннями компонентів встановлено, що реалізуються умови; при яких розмір наноструктури зменшується, хоча характер впливу частки компонентів залишається незмінним (рис. 2).

У цьому випадку мінімальний об'єм наноструктури реалізується при співвідношенні компонентів 50-50, дещо більші значення реалізуються при співвідношенні компонентів 0-100 та 100-0, а найбільші значення реалізуються для співвідношень 20-80 і 80-20. За таких умов, ймовірно, так само впливає

процес нерівноважного утворення наноструктур, що призводить до росту об'єму [3].

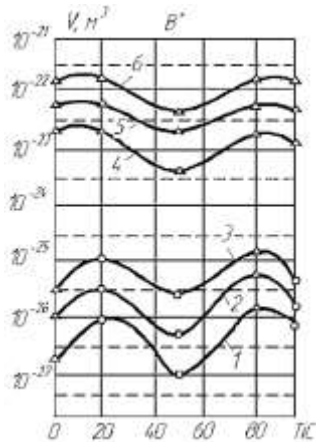


Рис. 1. Залежність об'єму наноструктури при дії іонів бору на тверді сплави групи $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ від співвідношення компонентів

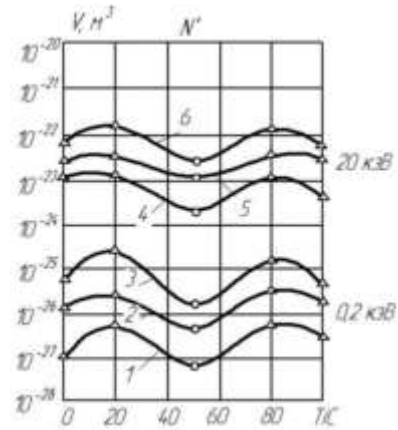


Рис. 2. Залежність об'єму наноструктури при дії іонів азоту на тверді сплави групи $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ від співвідношення компонентів

У разі дії іонів цирконію характер зміни об'єму від частки компонентів зберігається, але значення суттєво зменшується. При цьому так само мінімальний об'єм наноструктури реалізується при співвідношенні компонентів 50-50, дещо більші значення при співвідношенні компонентів 0-100 і 100-0, а максимальні значення реалізуються для співвідношень 20-80 і 80-20. Використання важких іонів призводить до суттєвого зменшення розміру зерна, причому ймовірність одержання наноструктури збільшується (рис. 3).

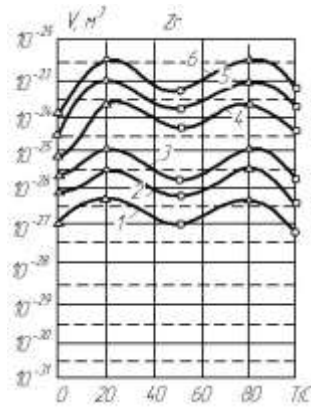


Рис. 3. Залежність об'єму наноструктури при дії іонів цирконію на тверді сплави групи $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ від співвідношення компонентів

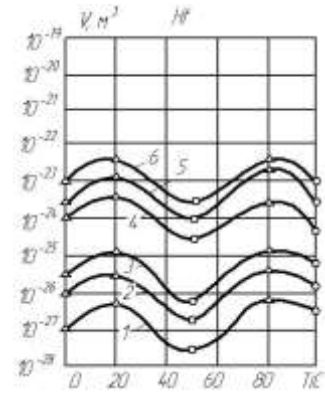


Рис. 4. Залежність об'єму наноструктури при дії іонів гафнію на тверді сплави групи $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ від співвідношення компонентів

Вплив іона гафнію на тверді сплави, що досліджуються, призводить до істотного зростання температури, але зона утворення наноструктур зменшується. Характер впливу частки компонентів на об'єм зерна зберігається. Що також, очевидно, пов'язані з появою нерівноважних структур, які впливають на розмір зерна за рахунок неупорядкованості структур, отже, їх твердий розчин є нерівномірним, що може погіршити їх характеристики (рис. 4).

Було досліджено вплив частки компонентів на величини температурних напружень при дії іонів азоту (рис. 5). Величина температурної напруженості зі зростанням частки TiC до 80 відсотків зростає, а після (100-0) падає до значень навіть менших, ніж при співвідношенні компонентів 0-100. У цьому випадку максимальна температурна напруженість не досягає необхідних значень для

реалізації наноструктур навіть при енергії 20000 еВ. У цьому випадку критерій одержання наноструктур під дією температурної напруги не виконується.

При дії іонів гафнію картина різко змінилася (рис. 6).

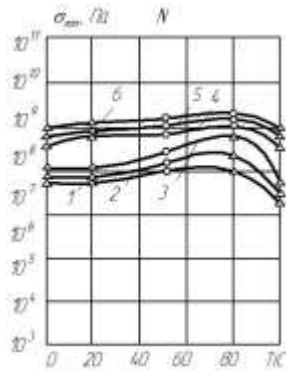


Рис. 5. Залежність температурних напружень від співвідношення компонентів твердого сплаву при дії іонів азоту

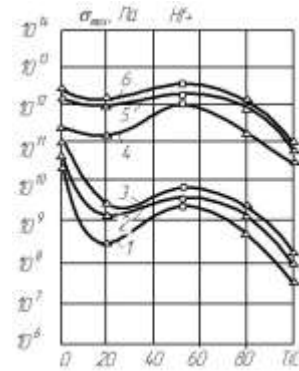


Рис. 6. Залежність температурних напружень від співвідношення компонентів твердого сплаву при дії іонів гафнію

Для високих енергій (20 кВ) практично для всіх зарядових чисел ($z=1, 2, 3$) реалізуються умови для утворення наноструктур і навіть при енергії 200 еВ є невелика зона (0-20), де є можливість утворення наноструктур.

Висновки. Проведені дослідження показують, що розрахунковим шляхом можна знайти найбільш вигідне співвідношення компонентів твердого сплаву, при якому реалізовуватимуться наноструктури з найменшим розміром та ймовірність їх утворення буде максимальною. Видно, що основний вплив на об'єм нанокластера надає енергія іона і його заряд, в той же час впливає і маса іона, правда, не так істотно. Зі збільшенням маси іона зменшуються мінімальна та максимальна глибини залягання зерна. Зона енергії, де можливе отримання

наноструктур, збільшується, що позитивно позначається на фізико-механічні характеристики покриття.

Так для утворення наноструктур за заданими критеріями необхідний діапазон температур 500 - 1500 К, швидкість наростання температури 107 К/с – це забезпечує мінімальний розмір зерна при співвідношенні компонентів Al_2O_3 , TiC твердого сплаву 50-50. Максимальні розміри зерна реалізуються при співвідношенні компонентів 20-80 і 80-20. Останнє пояснюється неврівноваженістю структур і складністю утворення стабільних твердих розчинів, які забезпечили б отримання нанозерна.

Проведені вище дослідження дозволяють оцінити об'єм нанокластерів, що будуть реалізовуватись при дії заданого іонізуючого випромінювання. В свою чергу за знайденими розмірами нанокластерів можна спрогнозувати фізико-механічні характеристики поверхневого шару твердого сплаву, що містить Al_2O_3 і TiC.

Список використаних джерел

1. Костюк Г.И. Эффективный инструмент с нанопокрытиями и наноструктурными модификационными слоями: моногр.-справ.: в 2 кн.: Харьков : Планета-принт, 2016. Кн. 1.: Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии. 735 с.

2. Костюк Г.И. Эффективный инструмент с нанопокрытиями и наноструктурными модификационными слоями : моногр.-справ. : в 2 кн. Харьков : Планета-принт, 2017. Кн. 2: Лазерные технологии. 507 с.

3. Бруяка О. Отримання наноструктур у твердих сплавах Al_2O_3 , TiC. *Актуальні проблеми в системі освіти: заклад загальної середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти: V Всеукраїнська науково-практична конференція*, 18 квітня 2019 р., м. Київ, Національний авіаційний університет. К. : НАУ, 2019. С. 42-44.