

АНОТАЦІЯ

Мазілін Б. О. **Структура та механічні властивості комбінованих нанокompозитних покриттів на основі керамічних матеріалів.** –

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 –

Прикладна фізика та наноматеріали (Галузь знань 10 – Природничі науки). –

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню однієї з важливих **задач** сучасної прикладної фізики та фізики наноматеріалів, яка полягає у створенні фізико-технологічних основ формування плазмових нанокompозитних функціональних покриттів на основі керамічних сполук та визначенні зв'язків структурно-фазового стану покриттів з механічними та фізико-хімічними властивостями композитів «металева підкладка – покриття».

Метою роботи є визначення впливу фізико-технологічних параметрів осадження на формування функціональних покриттів на основі керамічних багатoeлементних сполук, створених іонно-плазмовим випаровуванням матеріалів різного складу.

Для досягнення сформульованої мети необхідно було розв'язати **такі завдання:**

1. Визначити вплив умов розпорошення та конденсації (склад та кількість катодів-мішеней, склад та тиск реакційного газу в камері, вид та рівень потенціалу на підкладинці, тривалість осадження) на синтез вакуумно-дугових та магнетронних покриттів різного ступеня складності: SiC-AlN, Al₂O₃ і Al₂O₃/ZrO₂, MoCN, TiZrN/TiSiN, (Ti,Al,Si)N.
2. Дослідити морфологію поверхні, визначити елементний і фазовий склад синтезованих покриттів на основі керамічних сполук.

3. Дослідити вплив структурно-фазового стану нанокompозитних покриттів на їхні фізико-механічні властивості (модуль пружності та твердість).
4. Вивчити адгезійну взаємодію покриттів з підкладинкою та визначити триботехнічні характеристики створених функціональних керамічних покриттів.

Об'єкт досліджень – комбіновані нанокompозитні функціональні покриття на основі керамічних матеріалів, сформовані в нерівноважних умовах з іонно-плазмових потоків.

Предмет досліджень – закономірності формування певних структурно-фазових станів при синтезі функціональних покриттів на основі керамічних матеріалів конденсацією з іонно-плазмових потоків, шляхи оптимізації структурно-фазового стану покриттів для підвищення фізико-механічних характеристик.

Методи формування та дослідження структурно-фазового стану та властивостей покриттів: вакуумно-дугове осадження, магнетронне розпорошення, плазмово-електролітне полірування поверхні, растрова електронна мікроскопія, оптична металографія, рентгенівські мікроаналіз, дифрактометрія та фотоелектронна спектроскопія, вимірювання мікротвердості, склерометрія, профілометрія, триботехнічні випробування, термічний вплив. При обробці експериментальних даних застосовували числові методи та методи математичної статистики.

Розвиток науки і техніки, удосконалення та інтенсифікація виробничих процесів, де застосовуються найсучасніші технології та обладнання, висувають все жорстокіші вимоги до матеріалів, які задіяні у конструкціях цього обладнання та реалізації цих технологій. Такий підхід обумовлений підвищенням вагомості економічних чинників виробництва, необхідності забезпечення екологічних вимог та ощадного використання ресурсів. Застосування спеціальних покриттів в останні десятиліття все частіше використовують для покращення та розширення

експлуатаційних можливостей конструкційних та функціональних матеріалів. Оптимізовані спеціалізовані покриття, що призначені для застосування у конкретних умовах, можуть бути основою технічного прогресу у різних сферах.

Перехід матеріалознавства на новий ієрархічний рівень будови твердих тіл, а саме – перехід до нанорівня, до наноматеріалів та нанотехнологій, створив нові перспективи фундаментальним дослідженням та технологічним прикладним розробкам в цій сфері.

На теперішній час фізичні методи осадження, в тому числі з іонно-плазмових потоків, використовуються досить широко для формування захисних покриттів різного функціонального спрямування. Якщо дво- та трикомпонентні покриття на основі нітриду титану стали вже класичними, то технології створення багатокомпонентних, багатофазних та багатошарових покриттів, в тому числі з елементами наномасштабного рівня, розвиваються та досить активно удосконалюються.

Проведено дослідження процесів осадження конденсатних покриттів з іонно-плазмових потоків після випаровування та розпорошення катодів-мішеней, виготовлених з матеріалів різної природи (метали, сплави, кераміка, композити). Досліджено структурно-фазовий стан, архітектуру та властивості сформованих керамічних покриттів.

Вперше виявлено, що багатошарові покриття $\text{TiZrN}/\text{TiSiN}$ є композицією нанокристаллів TiZrN та нанокристаллів TiN , які вбудовані в аморфну матрицю SiN_x . Для багатошарових покриттів, утворених бішаровими композиціями $\text{TiZrN}/\text{TiSiN}$, зафіксовано зростання твердості з 24,5 ГПа до 38,2 ГПа при зменшенні періоду бішарової композиції з 85,9 нм до 20 нм. Модуль пружності покриттів змінювався аналогічно твердості, досягши для покриттів з періодом бішару 20 нм рівня 430 ГПа.

Вперше показано позитивний вплив попередньо сформованого підшару нітриду розпорошеного матеріалу мішені TiZr , TiCr , Cr , Ti на механічні

властивості різних типів плазмових покриттів, що містять кремній. Формування підшару практично не змінює твердість, але призводить до підвищення опору механічному руйнуванню та зношуванню. Розроблено фізико-технологічну схему підвищення адгезійної міцності зв'язку покриття з підкладинкою для покриттів типів (TiAlSiY)N/CrN та покриттів TiZrN/TiSiN.

Вперше у вакуумно-дугових багатошарових покриттях на основі нітриду (TiAlSiY)N з підшаром мононітриду реалізовано надтвердий стан з твердістю 49,5 ГПа та стійкістю до зношення близько 185 Н. Фізичним фактором утворення надтвердого стану з твердістю 50,5 ГПа карбонітридних покриттів на основі молібдену є сумарний тиск 0,4 Па суміші реакційних газів 80% C_2H_2 +20% N_2 .

Вперше отримано покриття на основі керамічних матеріалів SiC–AlN, AlN–TiB₂–TiSi₂, Al₂O₃/ZrO₂ різного функціонального спрямування. Доведено, що підвищення механічних властивостей покриття Al₂O₃/ZrO₂ забезпечує нанокристалічний стан з середнім лінійним розміром зерен менше 100 нм, при цьому покриття зберігає високі діелектричні властивості. Досягнутий рівень механічних характеристик та термічної стабільності покриття Al₂O₃/ZrO₂ є достатнім для застосування таких покриттів як термобар'єри для захисту лопаток турбін авіаційних двигунів.

У сукупності отримані результати підтверджують висновок про те, що застосуванням обох апробованих методик осадження – вакуумно-дугового випаровування та магнетронного розпорошення – можливо створення функціональних керамічних покриттів з високими механічними та корозійними властивостями для застосування у різних сферах машинобудування.

З практичної точки зору досліджені у роботі комбіновані нанокompatитні покриття продемонстрували високий рівень механічних та інших фізико-хімічних властивостей, що робить ці покриття перспективними для захисту елементів обладнання та пристроїв різних сфер машинобудування, починаючи з перешкоджання зносу та руйнуванню металевого, металокерамічного та

надтвердого керамічного різального інструменту до підвищення трибологічних характеристик пар тертя та створення термостійких покриттів авіаційно-ракетної техніки.

Визначенні в роботі зв'язки структурно-фазового стану покриттів з механічними та фізико-хімічними властивостями композитів «металева підкладка – покриття» розширили та поглибили знання про фізико-технологічні чинники керування структурно-фазовим станом твердотільних композитів з функціональними покриттями.

Створені на різальному інструменті функціональні захисні багатоеlementні нітридні покриття $(\text{TiAlSiY})\text{N}$ з додатковим підшаром нітриду випробувані в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Випробування продемонстрували підвищення стійкості інструменту з полікристалічного надтвердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору при обробці загартованих сталей у 1,5 рази, що стало підставою для рекомендації впровадження розроблених покриттів у виробництво такого різального надтвердого інструменту.

Ключові слова: іонно-плазмові покриття, вакуумно-дугове випаровування, магнетронне розпорошення, нітридні сполуки, багатошарові покриття, нанокompозити, надтвердий стан, структура, твердість, адгезійна міцність.