

Відгук отриманий 09.12.2021р.
Догода спеціалізованої
вченої ради № 64051.037

ВІДГУК

офіційного опонента, завідувача кафедри фізики металів і напівпровідників Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» МОН України, доктора фізикоматематичних наук, професора Малихіна Сергія Володимировича на дисертаційну роботу Мазіліна Богдана Олександровича «Структура та механічні властивості комбінованих нанокompозитних покриттів на основі керамічних матеріалів», подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

Формування на поверхні матеріалів захисних функціональних покриттів є ефективним засобом підвищення експлуатаційних характеристик та працездатності матеріалів. Завдяки спеціальним властивостям захисний шар може підтримувати функціональність матеріалів протягом тривалого часу навіть в екстремальних умовах комбінованого руйнівного зовнішнього впливу (механічні та термічні навантаження, опромінення, корозія та інші).

Протягом останніх десятиліть створення нових та удосконалення відомих функціональних нітридних покриттів, що формуються плазмовими методиками (зокрема, вакуумно-дуговим або магнетронним способами), залишається важливим напрямком розвитку сучасної прикладної фізики. Прогрес у зазначеній сфері діяльності вчених-матеріалознавців обумовлений новими даними для розуміння фізичних факторів, що визначають закономірності формування певного структурно-фазового стану як самих покриттів, так і композитів типу «покриття – підкладинка», а також переходом матеріалознавства на новий ієрархічний рівень – рівень наноматеріалів.

Відомо, що поверхнєве руйнування деталей та інших елементів машин, механізмів та апаратів є основною причиною втрати працездатності обладнання. На жаль, на сьогодні можливості покращення властивостей поверхні матеріалів формуванням простих за складом захисних покриттів практично вичерпані, через що розробники змушені приділяти увагу складнішим системам та складнішим технологіям.

Враховуючи все вищезазначене, можна стверджувати, що робота, в якій вирішується важлива науково-технічна задача сучасної прикладної фізики та фізики наноматеріалів, а саме – створення фізико-технологічних основ формування плазмових нанокompозитних функціональних покриттів на основі керамічних сполук та визначення зв'язків структурно-фазового стану покриттів з механічними та фізико-хімічними властивостями композитів «металева підкладинка – покриття», є актуальною.

Важливо, що вагому частку результатів здобувача складають результати, отримані при проведенні низки науково-дослідних робіт, які виконувались на

кафедрі матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна відповідно до планів науково-дослідних робіт і програм, спрямованих на розвинення найважливіших галузей економіки України. У зазначених роботах автор дисертації був виконавцем.

Підхід до формулювання **мети та задач** дослідження є фізично обґрунтованим. Це стосується і обрання **об'єкту та предмету досліджень**. Об'єкт та предмет дослідження визначені чітко, взаємоузгоджені та відповідають змісту роботи.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність наукових результатів забезпечена використанням низки сучасних дослідницьких методик (оптична мікроскопія, різні варіанти електронної мікроскопії, спектрометрія, низка рентгенівських методик, широкий спектр механічних випробувань у різних умовах), які реалізовані на сучасному науковому обладнанні. У дослідженнях застосований комплексний підхід до розв'язання експериментальних та технологічних завдань, що забезпечило адекватність та узгодженість відомих та нових експериментальних даних. Отримані результати мають належну відтворюваність, відповідають базовим загальнонауковим та фізичним закономірностям, сучасним концепціям розвитку прикладної фізики та фізики наноматеріалів.

До основних **нових наукових результатів** дисертації слід віднести:

- висновок про те, що багат шарові покриття TiZrN/TiSiN є композицією нанокристалів TiZrN та нанокристалів TiN , які вбудовані в аморфну матрицю SiN_x , при цьому при зменшенні періоду модуляції бішарової композиції TiZrN/TiSiN з 85,9 нм до 20 нм зафіксовано зростання твердості з 24,5 ГПа до 38,2 ГПа, а модуль пружності покриттів з періодом бішару 20 нм досяг рівня 430 ГПа;
- доведення позитивного впливу попередньо сформованого підшару нітриду розпорошеного матеріалу на механічні властивості різних типів плазмових покриттів, що містять кремній, при цьому формування підшару практично не змінює твердість, але призводить до підвищення опору механічному руйнуванню та зношуванню
- розробку фізико-технологічної схеми підвищення адгезійної міцності зв'язку покриття з підкладкою для покриттів типів $(\text{TiAlSiY})\text{N/CrN}$ та покриттів TiZrN/TiSiN ;
- реалізацію у вакуумно-дугових багат шарових покриттях на основі нітриду $(\text{TiAlSiY})\text{N}$ з підшаром мононітриду надтвердого стану з твердістю 49,5 ГПа та стійкістю до зношення близько 185 Н;
- створення різних за призначенням функціональних керамічних покриттів на основі систем SiC-AlN , $\text{AlN-TiB}_2\text{-TiSi}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$; покриття з нанокристалічними складовими (зокрема, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$) поєднують високі механічні та діелектричні властивості, що при ерозійному руйнуванні покриттів суттєво перешкоджає активації електрохімічної корозії та робить можливим застосування таких покриттів для захисту виробів

машинобудування.

Практична цінність роботи полягає у створенні науково-технологічної бази для вибору оптимальних режимів формування функціональних покриттів на елементах обладнання та пристроїв різних сфер машинобудування (захист пар тертя від зносу, захист від руйнування металевих та надтвердого різального інструменту, термостійкі покриття елементів високотемпературних пристроїв та інше).

Вельми важливим є те, що розроблені на основі одержаних результатів функціональні захисні керамічні нітридні покриття були випробувані в Інституті надтвердих матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України для захисту різального інструменту. У доданому до дисертації акті випробувань зафіксовано підвищення стійкості твердого різального інструменту при обробці загартованих сталей у 1,5 рази.

До тексту дисертаційної роботи є **зауваження**:

1. До опису технології формування покриттів TiZrN/TiSiN необхідно додати інформацію про температуру підкладки під час осадження.
2. На РЕМ-зображеннях перерізів покриттів TiZrN/TiSiN (рис. 3.2), $(\text{TiAlSiY})\text{N/TiCrN}$ (рис. 3.10) помітно різницю товщини окремих прошарків, що складають бішар. Бажано пояснити, що є причиною цієї різниці.
3. Для підготовки поверхні низки сталевих підкладок було застосовано плазово-електролітичне полірування. В чому доцільність такої операції? Чому не були використані підкладки зі сталевих прокату з вже полірованою поверхнею?
4. При використанні газових сумішей можливе розшарування реакційних газів в камері в процесі осадження покриття. Таке розшарування може впливати на структурно-фазовий стан покриття. Бажано оцінити можливі наслідки цього процесу та пояснити, як запобігти цьому.
5. У роботі є певні технічні вади, наявні дублювання окремих фраз. На деяких ілюстраціях застосовано іншомовні позначки (наприклад, рис. 3.13, 3.15, 4.2) та обрано невдалий масштаб підписів на осях (рис. 4.6), є застосування різних одиниць виміру фізичних величин (Торр – Па, ГПа – НВ та ін.).

Зазначу, що сформульовані зауваження не знижують цінності отриманих науково-практичних результатів та не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Повнота викладення результатів досліджень в публікаціях. Всі основні результати та положення дисертаційної роботи висвітлені у 22 друкованих працях, 14 з яких – статті у виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus. Всі представлені результати досліджень, кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Відповідність вимогам академічної доброчесності. Наведені в дисертації результати є новими, робота не містить запозичених даних інших авторів без

належних посилань на їхні дослідження, тобто робота відповідає вимогам академічної доброчесності.

Загальні висновки по роботі. Вважаю що дисертаційна робота Мазіліна Б. О. «Структура та механічні властивості комбінованих нанокompозитних покриттів на основі керамічних матеріалів» є завершеним експериментальним дослідженням, виконаним на високому науковому рівні у повній відповідності до сформульованої мети та завдань. Робота має як наукову, так і практичну цінність, оскільки вирішує важливу науково-технічну задачу 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».

За своєю спрямованістю та змістом дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 – Природничі науки, а також вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та положенням Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167 зі змінами згідно з Постановами Кабінету Міністрів № 979 від 21.10.2020 та № 608 від 09.06.2021.

Враховуючи актуальність, обґрунтованість наукових положень і висновків, наукову новизну та практичну значущість дисертаційної роботи, дотримання академічної доброчесності її автором, вважаю, що Мазілін Богдан Олександрович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Завідувач кафедри
фізики металів і напівпровідників
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
доктор фізико-математичних наук,
професор

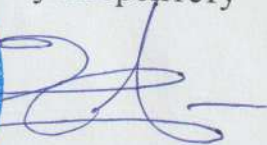


Сергій МАЛИХІН

Підпис зав. каф. ФМН, доктора фіз.-мат. наук, проф. Малихіна С.В.

ЗАСВІДЧУЮ

вчений секретар Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Заковоротний О.Ю.