

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Мікосянчик Оксани Олександрівни**,
завідувача кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Державного
університету «Київський авіаційний інститут»,

на дисертаційну роботу **Полярус Олени Миколаївни** на тему «**Фізико-хімічні принципи вибору структурних складових композиційних матеріалів на основі систем NiAl / NiTi - MeB2 з підвищеними зносо- та корозійною стійкістю**», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство (13 Механічна інженерія).

Дисертаційна робота Полярус О.М. є науково-дослідною роботою, яка представлена у вигляді рукопису та містить анотацію, вступ, сім розділів, висновки, список літературних джерел із 461 найменувань та додатків на 43 сторінках. Дисертаційна робота викладена на 221 сторінці машинописного тексту із 113 рисунками і 10 таблицями. Загальний обсяг роботи 354 сторінки.

Актуальність обраної теми досліджень та зв'язок її з науковими програмами

Вирішення проблеми підвищення зносостійкості матеріалів в аерокосмічній, ядерній, оборонній, енергетичній промисловостях завжди буде на часі і тому потребує системних досліджень, підпорядкованих меті підвищення працездатності трибовузлів машин шляхом забезпечення сумісності їх складових елементів. Одним із найактуальніших напрямків сучасного матеріалознавства є розробка нових інтерметалідів, композиційних матеріалів та захисних покриттів на їх основі, призначених для використання в складних умовах експлуатації.

Алюмінід нікелю (NiAl) є одним з основних матеріалів для нанесення захисних покриттів, проте його використання у вузлах тертя, що працюють в умовах підвищених температур, обмежене через пластичну деформацію інтерметаліду при температурах вище 500 °С. Додавання тугоплавких сполук до складу NiAl може значно підвищити властивості вихідного інтерметаліду, що сприятиме розширенню галузі застосувань даних матеріалів. Розробка нових композиційних матеріалів на основі інтерметаліду NiAl з добавками тугоплавких сполук, зокрема боридів, які мають високі температуру плавлення, твердість та зносостійкість, є важливим напрямком для створення класу зносостійких матеріалів високотемпературного призначення.

Захист від корозії в водних середовищах є важливою задачею в багатьох промислових галузях, таких як морська техніка, нафтова і газова промисловість, енергетика та ін. Деградацію металевих компонентів обладнання внаслідок кавітаційної ерозії можна знизити використанням матеріалів з підвищеною стійкістю до кавітаційної ерозії. Інтерметалід NiTi є одним із найперспективніших матеріалів для використання в умовах корозії завдяки своїй здатності утворювати захисну оксидну плівку: NiTi часто використовують для виготовлення клапанів, труб, деталей відцентрових насосів, лопаток мінігідротурбін та ін., що піддаються

впливу агресивного середовища.

Актуальним, таким чином, є розробка нових композиційних матеріалів та покриттів з керованим комплексом експлуатаційних властивостей, що реалізуються при роботі в умовах високих температур та агресивних середовищах. Для підвищення характеристик інтерметалідів NiAl та NiTi та для розширення галузі їх застосування в якості тугоплавкої складової в роботі обрано дибориди титану, хрому та цирконію. Вибір боридів зумовлений їх стабільністю в порівнянні з карбідами та нітридами, високою твердістю та здатністю утворювати захисні оксидні плівки при високотемпературному застосуванні.

Дисертаційна робота виконана в рамках наукових програм Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. Автор був співвиконавцем 11 тем, які затверджені відповідними розпорядженнями Президії НАН України та постановами Бюро ВФТПМ НАН України та направлені на вирішення актуальних питань, пов'язаних з розробкою фізико-хімічних принципів створення композиційних матеріалів та покриттів із них з підвищеною корозійною стійкістю та зносостійкістю, розробкою нових композиційних матеріалів на основі інтерметалідів для захисту деталей від корозії та кавітаційного зношування, розробкою технологічних принципів отримання нових зносо- й корозійностійких покриттів та ін.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, поставлені мета та завдання досліджень, визначені наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, наведені дані щодо апробації результатів.

У **першому розділі** проведений аналіз літературних даних за темою дисертаційної роботи, обґрунтована актуальність та визначені основні напрямки досліджень щодо розробки композиційних матеріалів на основі металів або сплавів, армованих тугоплавкими сполуками (оксидами, карбідами, нітридами або боридами). На основі аналізу літературних даних визначено, що композиційні порошкові матеріали на основі алюмініду нікелю, які призначені для нанесення зносостійких захисних покриттів мають відповідати наступним вимогам: мати гетерофазну структуру, що дозволяє ефективно розсіювати енергію, проявляти високу твердість, характеризуватися високою адгезією між структурними складовими покриття в усьому діапазоні робочих температур.

Розглянуто перспективи застосування спеціальних матеріалів, які володіють підвищеною зносостійкістю та стійкістю до механічних пошкоджень, зокрема карбіди, бориди, кераміка, високовуглецеві сталі та композити для зниження гідроабразивного та кавітаційного зношування.

Визначена мета роботи і напрямки теоретичних і експериментальних досліджень: за різними технологіями отримати композиційні порошкові матеріали для нанесення детонаційних та плазмових покриттів, провести високотемпературні трибовипробування, визначити механізми зношування запропонованих покриттів, дослідити гідроабразивну стійкість матеріалів та розробити рекомендації по їх застосуванню.

У **другому розділі** наведено характеристику порошків (ПН70Ю30, ПН55Т45) та боридів CrB₂, TiB₂ та ZrB₂ для отримання шихти, проаналізовано

переваги методу “лежачої” краплі для оцінки змочування диборидів титану, хрому та цирконію металевими розплавами NiAl та NiTi, обґрунтовано доцільність застосування високотемпературного диференціально-термічного аналізу для встановлення температурного діапазону взаємодії між NiAl і боридами, дослідження процесів фазоутворення в композиційних матеріалах систем «NiAl-MeB₂», а також синтезу компактних композиційних матеріалів систем NiAl-TiB₂, NiAl-CrB₂ і NiAl-ZrB₂.

Охарактеризовано методи нанесення композиційних покриттів на сталеві зразки – плазмове та детонаційне напилення та обґрунтовано оптимізацію технологічних параметрів напилення покриттів залежно від співвідношення металевої та тугоплавкої складових в композиційних матеріалах.

Зазначено методи металографічного, рентгенофазового та мікрорентгеноспектрального аналізів для дослідження структури, фазового та хімічного складу розроблених компактних та порошкових композиційних матеріалів і покриттів із них.

Наведено режими випробувань та умови тертя для оцінки триботехнічних властивостей отриманих покриттів; представлено методики високотемпературного окиснення та оцінки термоерозійної стійкості матеріалів за умов термоабразивних випробувань у високошвидкісному струмені продуктів згоряння; зазначено технічні характеристики установок для досліджень на корозійну, кавітаційну та гідроабразивну стійкість покриттів.

У **третьому розділі** досліджено процеси міжфазної взаємодії, змочування і структуроутворення в системах NiAl(NiTi)-MeB₂.

Для інтерметаліду NiAl встановлено, що характерним є його розтікання по поверхні дибориду цирконію з утворенням кута змочування 22°, а по поверхні дибориду титану – 15°. При цьому в зоні взаємодії для даних систем не відбувається інтенсивної взаємодії між компонентами з утворенням нових фаз і вона складається з підкладки з дибориду титану та цирконію відповідно та інтерметалідної краплі з утворенням взаємних обмежених твердих розчинів.

Визначено, що для системи NiAl-CrB₂ характерним є утворення нульових кутів змочування, в зоні взаємодії спостерігається формування нової боридної фази як результат хімічної взаємодії між вихідними компонентами. Досліджено, що перехідна зона має гетерофазну структуру, яка складається з хаотично орієнтованих витягнутих кристалів, між якими рівномірно розподілена інтерметалідна фаза.

Отримано результати змочування в системах NiTi-MeB₂, які показали, що при розтіканні NiTi по поверхні дибориду титану фіксуються максимальні кути змочування 30°, розтікання інтерметаліду по поверхні дибориду цирконію характеризується утворенням контактних кутів змочування 17°, для системи з диборидом хрому, величина контактних кутів змочування є мінімальною і дорівнює 3°.

Проаналізовано глибину перехідної зони при взаємодії компонентів твердої та рідкої фаз. Встановлено, що для систем NiTi-ZrB₂ та NiTi-CrB₂ характерним є виникнення активної хімічної взаємодії між вихідними компонентами та утворення нових фаз TiB₂ та Ni₃Ti.

У **четвертому розділі** досліджено структуру, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості композиційних матеріалів NiAl-Ti(Cr,Zr)B₂.

Представлено високотемпературний диференціально-термічний аналіз

композиційних матеріалів NiAl-15% ZrB₂, NiAl-15% TiB₂, NiAl-15% CrB₂. Для системи NiAl-CrB₂ встановлено утворення нової зміцнюючої боридної фази з мікротвердістю 9-11 ГПа.

Представлено результати дослідження твердості композитів за Вікерсом: значення твердості в 1,2-1,6 разів перевищують даний показник для інтерметаліду, проаналізовано показники мікрокрихкості та мікроміцності.

Проаналізовано характер високотемпературного окиснення композитів на повітрі при 500°C, 800°C та 1000°C і витримці впродовж 90хв та 1хв. Встановлено, що для композиційних матеріалів NiAl-15% ZrB₂, NiAl-15% TiB₂, NiAl-15% CrB₂ товщина оксидного шару на поверхні боридних зерен відповідно в 6, 7 та 3 рази перевищує товщину оксидних шарів Al₂O₃, що сформувалися на інтерметалідній матриці NiAl.

Проаналізовано результати склерометрії та встановлено, що для композиційних матеріалів характерним є дисперсне зміцнення утвореної захисної плівки та її повне збереження по всій поверхні композиту в процесі індентування.

Представлені результати дослідження на термоерозійну стійкість розроблених композиційних матеріалів показали зменшення їх зносу у 1,5-2 рази, порівняно зі сталевим зразком та сплавом ЖС 26. Максимальна зносостійкість встановлена для композиту, що містить 45% CrB₂.

Проведено оцінку деформаційного мікрорельєфу залежно від кута атаки абразивних часток при високотемпературних газоабразивних випробуваннях.

У **п'ятому розділі** представлено розробку композиційних порошкових матеріалів на основі алюмініду нікелю для зносостійких газотермічних покриттів.

Представлено технологічні особливості плазмового напилення з використанням плазмоутворюючого газу – суміші аргону з воднем з витратами 40 ÷ 50.

Встановлено, що на підкладках зі сталей Ст45, Р18, 12Х18Н10Т структура досліджуваних композиційних покриттів наслідує структуру компактних композитів, є ламелеподібною і складається з двох фаз – інтерметаллідної та рівномірно розподіленими включеннями боридів.

Визначено оптимальні технологічні режими детонаційного напилення композиційних покриттів за допомогою детонаційногазової установки «Дніпро – 5 МА» при використанні суміш ацетилену з киснем для досягнення пористості покриттів становила ~ 1-2 %. Рекомендовано технологію конгломерування композиційних порошкових матеріалів гарячим пресуванням та рідкофазним спіканням з подальшим подрібненням спеків для нанесення газотермічних покриттів.

В **шостому розділі** представлено результати триботехнічних випробувань композиційних плазмових покриттів систем NiAl-Ti(Cr,Zr)B₂ на машині тертя, що обладнана високотемпературним модулем за схемою “pin-on-disc”.

Встановлено підвищення зносостійкості зміцнених композиційних покриттів, в порівнянні з вихідним інтерметалідним покриттям, за рахунок розподілу контактного навантаження переважно на твердих боридних частинках.

Визначено, що оптимальним складом композиційного покриття, при якому забезпечується значне підвищення зносостійкості інтерметаліду, є покриття системи NiAl-CrB₂.

Дослідження впливу кількості тугоплавкої домішки дибориду хрому (5, 15, 30 мас.%) на механізм зношування композиційних покриттів в парі з NiAl

контртілом показали, що всі розроблені композиційні покриття мають менші значення інтенсивності зношування, в порівнянні з вихідним інтерметалідним покриттям, а покриття, що містить в своєму складі 15%CrB₂ показало найвищу зносостійкість за рахунок наявності оксидних фаз NiO та Al₂O₃, а також сліди Cr₂O₃, які при терті виконують роль твердого мастила.

Представлено результати дослідження термічної стабільності композиційних плазмових покриттів системи NiAl-CrB₂ при нагріванні in-situ для трансмісійної електронної мікроскопії (ТЕМ). Встановлено, що ex-situ нагрівання покриття системи NiAl-CrB₂, яке відбувається при його високотемпературному трибовипробуванні при T=500°C, показало, що аморфний матеріал із каналів у сферичних включеннях кристалізується та має тенденцію до агломерації до більш округлої форми.

В сьомому розділі представлено результати досліджень корозійної та кавітаційної стійкості композиційних матеріалів на основі інтерметалідів NiAl та NiTi у водних середовищах.

За показниками електрохімічної стійкості композитів системи NiAl-CrB₂ у морській воді встановлено, що даний матеріал не відповідає вимогам до корозійностійких матеріалів: як на матриці, так і на боридних зернах фіксуються «обемні» шари оксидів нікелю і алюмінію.

Встановлено, що інтерметалід NiTi та композити на його основі в умовах електрохімічної корозії показали підвищення зносостійкості.

Результати випробувань композиційних матеріалів на основі інтерметаліду NiTi в умовах кавітаційного зношування показали вищу кавітаційну стійкість, в порівнянні з вихідним інтерметалідом та сталлю.

Встановлена висока гідроабразивна стійкість композиційних покриттів системи NiTi-CrB₂, які забезпечують повний захист сталевोї підкладки при напруцюванні.

Висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі одержаних результатів. Вони наведені в кінці 1-7 розділів і в узагальненому вигляді в заключній частині дисертації.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Висунуті у дисертації наукові положення та отримані висновки і рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Достовірність та обґрунтованість результатів досліджень підтверджуються великим обсягом експериментальних даних, отриманих з використанням комплексу сучасних методів і методик досліджень, статистичною обробкою даних лабораторних дослідів і промислових випробувань розроблених композиційних матеріалів і покриттів. Експериментальні результати отримані шляхом планування і проведення лабораторних та стендових випробувань на основі теорії моделювання та планування експерименту.

До найбільш вагомих нових наукових результатів, отриманих дисертантом, можна віднести наступні:

- Обґрунтовано фізико-хімічні принципи вибору структурних складових композиційних матеріалів на основі систем NiAl(Ti)-MeB₂ (Me – Ti, Cr, Zr) для підвищення зносо- та корозійної стійкості деталей.

- Науково обґрунтовано технологічні підходи створення нових композиційних порошкових матеріалів на основі інтерметалідів NiAl та NiTi з добавками тугоплавких боридів шляхом рідкофазного спікання або гарячого пресування з подальшим подрібненням спеків.

- Доведено, що інтерметалід NiAl повністю розтікається по поверхні дибориду хрому CrB₂ ($\Theta \approx 0^\circ$), а в зоні контакту в результаті хімічної взаємодії утворюється борид NiCrB, що позитивно впливає на роботу композиту в умовах високих температур завдяки зменшенню напруженості між матрицею та CrB₂.

- Встановлено механізми високотемпературного окиснення композитів систем NiAl-Ti(Cr, Zr)B₂, які полягають в селективному окисненні боридів та інтерметаліду. На поверхні інтерметаліду утворюється тонкий шар щільного оксиду алюмінію, який екранує доступ кисню до інтерметаліду і зупиняє подальший процес його окиснення.

- Встановлено зміну механізму зношування в інтерметаліді NiAl з адгезійного на оксидний завдяки введенню добавок Cr(Ti, Zr)B₂, що призвело до підвищення зносостійкості газотермічних композиційних покриттів в 2 рази, в порівнянні із вихідним NiAl.

- Встановлена висока зносостійкість покриття Cr₂O₃ в парі з інтерметалідним покриттям NiAl в умовах високотемпературних трибовипробуваннях.

- Встановлено механізм зношування композиційних матеріалів на основі NiAl з добавками диборидів в умовах високих температур, який полягає в зменшенні деформаційних процесів в поверхневих шарах завдяки наявності боридних зерен.

- Встановлено механізм корозійної стійкості композитів NiTi-CrB₂, який полягає в утворенні бориду TiB₂ та Ni₃Ti, які характеризуються більшою корозійною стійкістю порівняно із NiTi.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вибрано склад та встановлено технологічні режими отримання композиційних порошкових матеріалів систем NiAl(NiTi)-MeB₂ для нанесення газотермічних покриттів з високим рівнем зносо- та корозійної стійкості.

2. Результати промислово-технічних випробувань на АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – ІНЖИНІРІНГ» газотермічних композиційних покриттів NiAl-15-30мас%CrB₂(TiB₂, ZrB₂), нанесених на опірні шийки відцентрованого секційного насосу ЦНС 180-1900-3Т-М, встановили підвищення зносостійкості поверхні валу з розробленими покриттями в 1,3-1,8 рази, порівняно з традиційними матеріалами.

3. Рекомендовано до застосування в якості матеріалів, що підвищують корозійну та гідроабразивну стійкість поверхонь деталей, композиційні матеріали NiTi-30мас%CrB₂(TiB₂, ZrB₂) (ТОВ «Композиційні системи» (Запоріжжя)).

4. Рекомендовано до застосування газотермічні покриття з композиційних порошків NiAl-15-30мас%CrB₂(TiB₂, ZrB₂) для захисних втулок масляних ущільнень відцентрованого насосу для підвищення стійкості поверхонь захисних втулок із розробленими покриттями в 1.2-1.3 рази порівняно із втулками, що застосовуються на даний час (ТОВ «ТРІЗ ЛТД» (Суми)).

5. Забезпечено підвищення зносостійкості в 1,5-1,8 разів при T=500 °C

лопаток турбокомпресору турбореактивного двоконтурного двигуна, торці яких були зміцнені покриттям $\text{NiAl-15\%CrB}_2$, порівняно з лопатками, типовими для даної конструкції (стендові випробування в ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»).

6. Розроблені композиційні матеріали $\text{NiTi-30мас\%CrB}_2(\text{TiB}_2, \text{ZrB}_2)$ можуть бути рекомендовані для застосування у гідроенергетичній промисловості в якості компактних матеріалів і в якості покриттів на їх основі для захисту деталей, що працюють в умовах дії агресивних водних середовищ, зокрема морської води.

7. Розроблені композиційні порошкові матеріали $\text{NiAl-15-30мас\%CrB}_2(\text{TiB}_2, \text{ZrB}_2)$ можуть бути рекомендовані для нанесення газотермічних покриттів на вали відцентрованих секційних насосів, що працюють в умовах високотемпературного зношування без мастила, а також для нанесення покриттів на захисні втулки масляних ущільнень відцентрованих насосів.

Повнота викладу основних результатів дисертації

За темою дисертаційної роботи надруковано 51 наукову працю, у тому числі 29 статей у наукових фахових виданнях, з яких 17 статей – в журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus, Web of Science), 9 статей – у наукових періодичних виданнях України, що входять до Переліку наукових фахових видань МОН України категорій «А» і «Б» та 3 статті у наукових виданнях, не включених до Переліку фахових. Результати роботи доповідалися і пройшли апробацію на 22 міжнародних конференціях. Всі вимоги положень ДАК МОН України щодо наукових публікацій витримано.

Дискусійні положення та зауваження

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Полярус О.М., що виконана на достатньо високому науковому рівні, слід зазначити деякі зауваження, дискусійні питання та побажання:

1. В розділі 2 (стор. 87) наведено формули визначення енергетичних параметрів змочування - міжфазного натягу та роботи адгезії, однак в подальших розділах не представлено аналіз даних параметрів для розроблених композиційних матеріалів. Наприклад, на стор. 109, 110 проаналізовано лише крайовий кут змочування.

2. В розділі 2 (стор. 95) зазначено, що «мікротвердість отриманих композиційних матеріалів і покриттів визначали на мікротвердомірі ПМТ-3 ... при навантаженні $0,05 \div 0,1 \text{ Н}$ », а в результатах досліджень не зазначено при якому навантаженні на індентор проводили вимірювання мікротвердості. Наприклад, на стор. 106 «фаза 1, мікротвердість $H_{\mu}=14, 3 \text{ ГПа}$); NiAl частково легованого Zr и B (фаза 2, мікротвердість $H_{\mu}=5,1 \text{ ГПа}$) та Ni_3B , легованого Zr (фаза 3, мікротвердість $H_{\mu}=7, 26 \text{ ГПа}$ », значення мікротвердості в табл. 3.1 (стор 108) та ін.

3. Обґрунтуйте доцільність використання композиційних матеріалів з NiAl-ZrB_2 , якщо «оксидні шари, що сформувалися на зернах ZrB_2 , мають тріщини» (стор. 133); «структура оксидного шару, утвореного на поверхні інтерметалідної матриці компактного КМ системи NiAl-ZrB_2структура поверхні окиснених зерен дибориду цирконію має тріщини» (стор. 143).

4. Порівняйте допустимі та рекомендовані значення мікрокрихкості та

мікроміцності для композиційних матеріалів, які рекомендовані для використання, наприклад, лопаток турбокомпресору, з значеннями, які одержані в роботі на стор. 160-161: «Значення мікрокрихкості та мікроміцності для цього композиту дорівнюють відповідно $\gamma = 0,95$ та $\sigma = 0,92 \text{ Н/мкм}^2$ » та ін.

5. Потребує обґрунтування та пояснення вибір «моделювання процесу абразивного зношування („Scratch tests”)» (стор. 96) саме для дослідження зносостійкості покриттів за наявності вільного чи закріпленого абразиву, який не передбачено в обраній методиці склерометрії.

6. Не обґрунтовано вибір режимів випробувань («навантаження в зоні контакту $P=8 \text{ МПа}$, швидкість ковзання $V=1,5-1,8 \text{ м/с}$, дистанція тертя $S=1000 \text{ м}$ » (стор. 97)) при дослідженні зносостійкості матеріалів в умовах впливу високих температур.

7. На стор. 166 зазначено: «Згідно МРСА на поверхні досліджуваних сплавів фіксуються 2 основні фаз.....Також були виявлені ділянки скупчення продуктів згоряння та зносу у вигляді оксидів». Поясніть механізми появи «продуктів згоряння».

8. Як результат практичного значення роботи вказано «Розроблені композиційні матеріали $\text{NiTi-30мас\%CrB}_2(\text{TiB}_2, \text{ZrB}_2)$ можуть бути рекомендовані для застосування у гідроенергетичній промисловості, як компактні матеріали, так і покриття на їх основі для захисту деталей, що працюють в умовах дії агресивних водних середовищ, зокрема морської води». Однак, на стор. 246 зазначено, що «при корозії в морській воді матеріали системи «інтерметалід NiAl – диборид CrB_2 » є мікрогальванічною парою» та «розчин електроліту підлучується внаслідок утворення гідроксильних (OH^-) – іонів, які формуються на поверхні катодних ділянок мікрогальванічного елементу, тобто на поверхні CrB_2 ». Чи доцільно використання цього матеріалу в агресивних водних середовищах?

9. Порядок деяких висновків наукових та практичних результатів роботи слід було узгодити з переліком сформульованих завдань, наприклад, перший висновок відповідає третьому завданню, п'ятий висновок – четвертому завданню.

10. Ілюстративний матеріал в авторефераті дисертаційної роботи потребує більш чіткого відображення для ефективного сприйняття сутності виявлених теоретично та експериментально закономірностей досліджуваних процесів: малий кегель, наприклад, на рис. 17, контраст надписів на рис. 9, 12.

Наведені зауваження по роботі не зменшують значущості отриманих наукових та практичних результатів дослідження, тому не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Полярус Олени Миколаївни на тему «Фізико-хімічні принципи вибору структурних складових композиційних матеріалів на основі систем NiAl/NiTi-MeB_2 з підвищеними зносо- та корозійною стійкістю» є закінченою науково-дослідною роботою, що містить вирішення важливої науково-технічної проблеми підвищення зносо- та корозійної стійкості покриттів в умовах тертя ковзання без мастильного матеріалу в широкому діапазоні температур ($20\ldots 800 \text{ }^\circ\text{C}$) та агресивної дії водних середовищ шляхом розробки та

апробації нових підходів щодо створення композиційних матеріалів на основі систем «інтерметалід $\text{NiAl}(\text{NiTi})\text{-MeB}_2$ » з керованим структурно-фазовим складом.

Незважаючи на наведені вище зауваження, дисертаційна робота у цілому виконана на високому науковому рівні і є завершеною щодо поставлених завдань. Її нові теоретичні і практичні результати є актуальними, науково обґрунтованими та достовірними. Оформлення, стиль і мова викладення роботи в цілому відповідають встановленим вимогам.

Головні результати дисертаційної роботи опубліковані досить широко і мають національне та міжнародне визнання.

Зміст автореферату відповідає основним положенням і змісту дисертації. Положення і результати, що виносилися дисертантом на захист кандидатської дисертації не використані у докторській дисертаційній роботі.

У цілому робота відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій згідно з *п.п.* 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор Полярус Олена Миколаївна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри прикладної
механіки та інженерії матеріалів
Державного університету
«Київський авіаційний інститут»

Оксана МІКОСЯНЧИК

