

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Стороженко Марини Сергіївни** на тему:
«Фізико-технологічні засади створення композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeB₂» для покриттів з високим рівнем зносостійкості», поданої на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство»
Технічні науки (13 Механічна інженерія)

Актуальність обраної теми дисертації

Дисертаційна робота Стороженко М. С., що подана до захисту, спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми – встановлення фізико-технологічних засад створення композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeB₂» з керованим структурно-фазовим складом для істотного підвищення зносостійкості покриттів в умовах тертя ковзання та абразивного зношування.

Дисертаційна робота Стороженко М. С. пов'язана з виконанням наукових програм Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України: III-33-12 (Ц) «Розробка принципів структурної інженерії зносостійких (на основі твердих сплавів) покриттів нового покоління з використанням електрофізичних методів поверхневої обробки»; III-34-17 (Ц) «Розробка фізико-хімічних принципів створення нових композиційних порошкових матеріалів на основі самофлюсівних сплавів систем Ni(Fe)CrBSiC з добавками тугоплавких сполук титану та хрому для газотермічних та електроіскрових покриттів з підвищеною зносостійкістю»; II-8-17 «Розробка композиційних матеріалів на основі самофлюсівних сплавів Ni(Fe)CrBSiC з добавками тугоплавких боридів для нанесення зносостійких покриттів»; I-1-18 «Перспективні металокерамічні покриття на основі самофлюсівних сплавів для підвищення зносостійкості деталей військової техніки»; II-6-16(P) «Розробка технологій і матеріалів для електроіскрового нанесення покриттів з метою підвищення терміну експлуатації і надійності деталей технологічного і енергетичного обладнання та інструментів».

Науково-дослідні роботи, що виконувались у межах вказаних наукової програм, є свідченням затребуваності науково-дослідних робіт з даного напрямку, і, відповідно, вказують на актуальність дисертаційного дослідження.

В дисертації авторкою було узагальнено результати робіт таких вчених, як А. Г. Косторнов, М. С. Ковальченко, Ю. С. Борисов, І. О. Подчерняєва, Л. Бергер, М. Джонс, П. Шипвей, Л. Павловські та ін. Глибокий аналіз літературних джерел показав, що інноваційний розвиток технологій нанесення покриттів для екстремальних умов експлуатації пов'язаний із застосуванням композиційних матеріалів, в яких вибором структурних складових можна керувати процесами фазоутворення і отримувати покриття з заданими експлуатаційними властивостями.

Дисертантка Стороженко М. С. обґрунтувала, що для отримання композиційних порошкових матеріалів на основі самофлюсівних сплавів з добавками тугоплавких сполук пропонується метод рідкофазного спікання заготовок в вакуумі з подальшим подрібненням і класифікацією. В цьому випадку кожна частинка отриманого порошку вже є композиційним матеріалом, що складається з металевої матриці в якій рівномірно розподілені тугоплавкі сполуки. За рахунок процесів змочування і контактної взаємодії при спіканні забезпечується високий адгезійний зв'язок частинок зміцнюючої добавки з матричним сплавом. При такому способі отримання порошків процеси міжфазної взаємодії між сплавом та тугоплавкою сполукою визначають структуру і властивості покриттів. За рахунок вибору структурних складових виникає можливість керувати структурно-фазовим складом покриттів, що дозволяє отримувати поверхні з необхідними експлуатаційними властивостями.

Тому, як показала дисертантка Стороженко М. С., для вибору складу композиційних матеріалів необхідним є визначення особливостей процесів міжфазної взаємодії в системі

«самофлюсівний сплав – тугоплавка сполука» та встановлення впливу добавок зміцнюючої фази на особливості формування структури композиційних матеріалів та покриттів з них.

Наведені обставини стали підґрунтям для формулювання дисертанткою Стороженко М. С. актуальної науково-технічної проблеми, що полягала у встановленні фізико-технологічних засад створення композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeV₂» для отримання покриттів зі стабільно високим рівнем зносостійкості.

Вирішення сформульованої дисертанткою Стороженко М. С. науково-технічної проблеми відкриває шляхи одержання високоефективних композиційних матеріалів для покриттів триботехнічного призначення з керованою структурою і прогнозовано високими функціональними властивостями.

Наведені факти характеризують тему рецензованої дисертації як *актуальну*, та підтверджують її відповідність вимогам за ознакою «актуальність обраної теми дисертації».

Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість наукових положень дисертаційного дослідження Стороженко М. С., їх переконливість, ґрунтовність висновків та рекомендацій, виконаних за результатами роботи, обумовлені використанням для їх одержання великої кількості різнопланових методів досліджень та найсучасного експериментального обладнання. Серед них використовувався системний підхід до теоретичних та експериментальних напрямів досліджень на основі аналізу й узагальнення виконаних розробок з використання матеріалів і технологічних процесів одержання покриттів. У роботі були використані експериментальні методи, а саме вибір компонентів нових композиційних матеріалів виконано за допомогою дослідження змочування та контактної взаємодії в системах «металевий сплав – тугоплавка сполука» методом «лежачої» каплі; структурно-фазовий склад зон контактної взаємодії, композиційних матеріалів та покриттів, а також доріжок тертя досліджували на електронних мікроскопах РЕМ–106И і JEOL JAMP-950; дюротричний аналіз проводили на мікротвердомірі ПМТ-3; дослідження процесів фазоутворення в композиційних матеріалах та закономірностей їх окиснення проводили методом високотемпературного диференційно-термічного аналізу (ВДТА) на установках ВДТА-8М та Derivatograph Q–1500–D; подрібнення та змішування порошкових сумішей здійснювали в планетарному млині «Санд-1»; спікання композиційних матеріалів здійснювали у вакуумній печі СШВЛ; покриття з розроблених композиційних матеріалів наносили методами плазмового напилення на установці УПУ-3Д та детонаційного напилення на установці «Дніпро-3», а також методом електроіскрового легування на установці ALLIER-52; триботехнічні характеристики газотермічних покриттів визначали на триботестерах CETR (Brucker) UMT Multi-Specimen Test System та МТ-68 за схемами “pin-on-disc” та “ball-on-disc”.

Достовірність одержаних у дисертаційній роботі результатів, положень, висновків і рекомендацій підтверджено співпаданням результатів експериментів, отриманих різними експериментальними методами, застосуванням сучасного високоточного експериментального обладнання, а також апробацією результатів досліджень в умовах виробництва, про що свідчить затверджена технічна документація, яку наведено у «Додатках» до дисертації.

Результати всебічних досліджень, що отримані автором з використанням перелічених методів, надали надійну і взаємоузгоджену інформацію про особливості структуроутворення та комплекс властивостей високоефективних матеріалів для покриттів триботехнічного призначення, одержаних за розробленими технологіями, відпрацьованими в процесі виконання дисертації.

Обґрунтовані положення і висновки рецензованої роботи не вступають у протиріччя з фундаментальними основами матеріалознавства, порошкової металургії, металознавства та термічної обробки металів.

Вирішення поставленої науково-технічної проблеми дозволило Стороженко М. С. одержати низку нових результатів, що являть собою *наукову новизну* дисертації. Вважаю за необхідне наголосити на найважливіших положеннях:

Вперше:

–сформульовано наукові засади створення композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeV₂» з керованим структурно-фазовим складом, які полягають в тому, що хімічна

взаємодія між компонентами композиційних матеріалів системи «тугоплавка сполука – металевий сплав» призводить до утворення нових високотвердих боридів та карбоборидів, які сприяють суттєвому підвищенню зносостійкості. В рамках дисертаційної роботи такий підхід реалізовано при створенні композиційних порошкових матеріалів ($TiB_2-(Fe-Mo)$) та на основі серійних дисперсійно твердіючих самофлюсівних сплавів з добавками тугоплавких сполук ($FeNiCrBSiC-MeB_2$) для покриттів;

– запропоновано метод рідкофазного спікання з наступним подрібненням для отримання композиційних порошкових матеріалів систем $TiB_2-(Fe-Mo)$ та $MeB_2-FeNiCrSiBC$, що забезпечує підвищення триботехнічних властивостей;

– проведено системні дослідження кінетики змочування та механізмів контактної взаємодії тугоплавких сполук TiB_2 , CrB_2 , ZrB_2 , TiC з самофлюсівним сплавом на основі заліза $FeNiCrBSiC$ марки ПГ-Ж14. Встановлено, що для розробки композиційних матеріалів перспективними є системи $FeNiCrBSiC-TiB_2$ та $FeNiCrBSiC-CrB_2$, які характеризується малими кутами змочування ($\theta \ll 90^\circ$) та хімічною взаємодією між компонентами сплаву та тугоплавкої сполуки з утворенням високотвердих складних боридів хрому;

– методом пошарового Оже-аналізу встановлено вплив структурних складових покриттів систем $FeNiCrBSiC-MeB_2$ на процеси формування оксидних плівок в процесі тертя. Встановлено, що добавки тугоплавких боридів сприяють формуванню вторинних структур на основі оксидів TiO_2 , B_2O_3 , NiO , SiO_2 , які під впливом високих контактних навантажень та температур в зоні тертя ущільнюються і формують суцільну оксидну плівку. Оксидні плівки на поверхнях покриттів систем $FeNiCrBSiC-MeB_2$ екранують механічний та термічний впливи в процесі тертя, що сприяє зменшенню пошкоджень та забезпечує високу зносостійкість покриттів;

– проведено системне дослідження процесів змочування дибориду титану сплавами $Fe-Mo$ та вивчено механізми їх міжфазної взаємодії. Встановлено, що для створення нових порошкових композиційних матеріалів перспективною є система $TiB_2-(Fe-13\text{мас.}\%Mo)$, яка характеризується нульовими контактними кутами змочування та хімічною взаємодією з утворенням складних боридів Mo_2FeB_2 , що додатково зміцнюють структуру матеріалів;

– виявлено механізм зношування плазмових та детонаційних покриттів з розроблених композиційних матеріалів $TiB_2-(Fe-13\text{мас.}\%Mo)$ в абразивному середовищі. В умовах абразивного зношування розроблених покриттів частинки дибориду титану та складних боридів Mo_2FeB_2 екранують дію абразивних частинок при кутах атаки менших 90° і тим самим запобігають контакту абразиву з матрицею, що сприяє підвищенню зносостійкості. Покриття ТБФМ40, яке містить 40мас.% $Fe-Mo$, характеризується найбільш високою зносостійкістю серед розроблених покриттів за рахунок оптимального співвідношення твердих частинок та пластичної металевої матриці.

З моєї точки зору, наведені дані позитивно характеризують наукові напрацювання дисертантки Стороженко М. С. і свідчать про вагомість одержаних результатів та узагальнень, що дозволило авторці розробити склад та встановити технологічні режими отримання композиційних порошкових матеріалів НХТБ20, ФХТБ20 та ФХБ20 систем $FeNiCrBSiC-20\%MeB_2$ для нанесення газотермічних покриттів з високим рівнем зносостійкості.

Значимість результатів дисертаційної роботи для науки і практики

Наукова та практична значимість дисертації Стороженко М. С. полягає в тому, що авторка на основі теоретичних та експериментальних досліджень здійснила інноваційні розробки ефективних композиційних матеріалів для покриттів триботехнічного призначення, технології їх одержання й використання. Дисертантка вперше запропонувала метод рідкофазного спікання з наступним подрібненням для отримання композиційних порошкових матеріалів систем $TiB_2-(Fe-Mo)$ та $MeB_2-FeNiCrSiBC$. В результаті застосування даної технології кожна частинка отриманих порошків є композитом, що складається з металевої матриці та частинок тугоплавких сполук. При газотермічному напиленні таких порошків не відбувається сегрегації компонентів, що призводить до формування гетерофазної структури покриттів з рівномірним розподілом зміцнюючих частинок і забезпечує підвищення триботехнічних властивостей.

Окрім цього авторка дисертації показала, що для нанесення газотермічних покриттів оптимальним є композиційний порошок матеріал ТБФМ40, який містить 40мас.%($Fe-13\text{мас.}\%Mo$). В плазмовому та детонаційному покриттях ТБФМ40 реалізується така

структура, в якій пластична матриця запобігає крихкому руйнуванню, а тверді зерна дибориду титану сприймають основне навантаження при терті ковзання та сприяють формуванню захисних оксидних плівок на поверхні тертя і таким чином ефективно підвищують зносостійкість.

В умовах абразивного зносу тверді частинки боридів в структурі покриттів ТБФМ40 запобігають входженню частинок абразиву, а металева матриця ефективно утримує частинки TiB_2 та Mo_2FeB_2 в структурі покриття, що забезпечує високу абразивну стійкість покриттів.

Мені видається, що вагомим науковим доробком є виявлений механізм формування оксидних плівок в процесі тертя. Встановлено, що добавки тугоплавких боридів сприяють формуванню вторинних структур на основі оксидів TiO_2 , B_2O_3 , NiO , SiO_2 , які під впливом високих контактних навантажень та температур в зоні тертя ущільнюються і формують суцільну оксидну плівку, яка екранує механічний та термічний впливи в процесі тертя, що сприяє зменшенню пошкоджень та забезпечує високу зносостійкість покриттів.

Вважаю за необхідне зазначити, що важливим практичним напрацюванням дисертанта є дослідно-виробнича перевірка результатів дисертаційного дослідження, а саме, розробки Стороженко М. С. пройшли апробацію в умовах ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», на КП «Київський метрополітен», на ПАТ «Сумське НВО», на ТОВ ПМТЗ «Сервіс» та надали позитивні результати.

Вищевказане переконливо свідчить про високу наукову та практичну значимість виконаного Стороженко М. С. дисертаційного дослідження.

На мою думку різнобічні дослідження, наукові та практичні результати яких представлено у дисертації, відрізняються системністю, коректністю та обґрунтованістю накопиченого фактажу, який отримано із застосуванням сучасних методів досліджень та обладнання, і підтверджених практичною апробацією в умовах промислового виробництва.

Повнота викладу основних результатів дисертації

Основні результати рецензованої дисертаційної роботи Стороженко М. С. опубліковані у 41 науковій праці: 23 статті у наукових фахових виданнях, з яких 12 статей – в журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus, Web of Science) та 11 статей – в виданнях України, що входять до Переліку МОН України; 16 публікацій за матеріалами доповідей на міжнародних конференціях; отримано 2 патенти на корисну модель на композиційні матеріали.

Загалом вимоги стосовно повноти публікацій та апробації результатів дисертації Стороженко М. С. виконано у повному обсязі.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація Стороженко М. С. складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 14,6 авторських аркушів, у тому числі, 8 додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 12,8 авторських аркушів, 232 рисунка, 95 таблиць. Список використаних джерел нараховує 342 найменування.

Вступ дисертації достатньо повно розкриває сутність та сучасний стан науково-технічної проблеми, аргументи, що зумовили її постановку; автором обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, наведено зв'язок роботи з науковою програмою, мету роботи, задачі, об'єкт, предмет і методи досліджень, сформульовано наукову новизну, визначено практичну значимість одержаних результатів, наведено особистий внесок здобувача, апробацію результатів досліджень, публікації за темою дисертації та структуру роботи.

У **першому розділі** дисертантка Стороженко М. С. докладно висвітлила сучасний стан питання та узагальнення щодо відомих розробок і тенденцій розвитку технологій нанесення покриттів. Зроблено огляд науково-технічної інформації стосовно розробки нових композиційних матеріалів з метою підвищення експлуатаційних властивостей покриттів.

Аналіз літературних джерел показав, що для забезпечення технологічності процесу нанесення захисних покриттів методами газотермічного напилення та електроіскрового легування доцільно використовувати матричні композиційні матеріали з керованою структурою.

Особливу увагу дисертантка приділила питанням отримання і застосування самофлюсівних сплавів $FeNiCrBSiC$, які традиційно використовуються в якості зносостійких газотермічних

покриттів. Встановлено, що в екстремальних умовах експлуатації (високі швидкості, навантаження та температури) розмір і кількість твердих частинок в структурі самофлюсівних покриттів недостатньо великі для запобігання адгезійної взаємодії з матеріалом контртіла чи абразивному зносу.

Авторка дисертації приділяє значну увагу огляду публікацій, присвячених вивченню закономірностей змочування та контактної взаємодії тугоплавких сполук металів IV групи (Ti, Cr, V) з металевими сплавами.

Значну кількість наукових робіт, як детально показала Стороженко М. С., присвячено створенню компактних композиційних матеріалів.

Втім шляхом критичного аналізу дисертанткою було зроблено висновок, що на сьогодні відсутні узагальнюючі дані щодо впливу процесів контактної взаємодії при створенні композиційних порошкових матеріалів для нанесення покриттів.

Як завершення розділу 1 здобувачка Стороженко М. С. формулює головний напрямок дисертаційних досліджень та шляхи вирішення поставлених завдань.

Мені видається, що огляд літературних вітчизняних і закордонних джерел та наступні узагальнення аналітичних даних, що виконані шляхом критичного аналізу, дозволили здобувачеві Стороженко М. С. переконливо обґрунтувати доцільність виконання досліджень з означеної теми, визначити мету і завдання роботи та окреслити шляхи їх реалізації, що представлено у вигляді структурної схеми дисертаційної роботи.

У другому розділі дисертації здобувачка Стороженко М. С. висвітлює узагальнену методологію виконання дисертаційної роботи. Авторкою сформовано методологічний підхід до виконання досліджень, який дозволив визначити послідовність проведення експериментів, спрямованих на досягнення сформульованої мети роботи.

У даному розділі подається опис використаних в роботі матеріалів. Так, для матеріалів для створення композиційних порошкових матеріалів на основі самофлюсівних сплавів було обрано серійні порошки марок ПГ-СР3 (Cr–16 мас. %, Si–3.2 мас.%, C–0.75 мас.%, B–2.7 мас.%, Fe<5 мас.%, Ni–осн.) та ПГ-Ж14 (Ni–37 мас.%, Cr–14 мас. %, Si–2.5 мас.%, C–1.4 мас.%, B–2.2 мас.%, Mo<1 мас.%, Fe–осн); в якості зміцнюючих добавок – TiB₂ та CrB₂. Для отримання композиційних матеріалів системи TiB₂–(Fe–Mo) використовувались порошки дибориду титану, заліза та молібдену.

Для компонентів композиційних матеріалів систем TiB₂–(Fe–Mo) та Fe(Ni)CrBSiC–MeB₂ вивчались закономірності кінетики змочування та контактної взаємодії в системах «металевий сплав – тугоплавка сполука» методом «лежачої» каплі в вакуумі із використанням гарячепресованих керамічних підкладок.

Надалі у розділі 2 авторка детально показала, що для визначення температурних діапазонів структурно-фазових перетворень в композиційних матеріалах систем TiB₂–(Fe–Mo) та Fe(Ni)CrBSiC–MeB₂ спресовані зразки сумішей піддавали диференційному термічному аналізу (ДТА) на установці ВДТА–8М шляхом нагріву в середовищі гелію. Для отримання шихти КМ вихідні порошки змішували у відповідних пропорціях та подрібнювали у лабораторному планетарному млині «Санд-1» в середовищі спирту. Гранулометричний склад порошків визначали на лазерному мікроаналізаторі «SK Lazer Micron Sizer».

Методом рідкофазного спікання у вакуумній печі СШВЛ було отримано компактні композиційні матеріали, які використовували в якості електродів. Температура спікання варіювалась залежно від складу металевої фази. Для отримання композиційних порошків компактні матеріали механічно дробили та класифікували на фракції: для детонаційних покриттів – (–63 + 40) мкм; для плазмових – (–100 + 63) мкм.

Покриття з розроблених композиційних матеріалів наносили на сталеві зразки методами плазмового та детонаційного напилення, а також методом електроіскрового легування. Плазмове напилення здійснювали на установці УПУ-3Д у відкритій атмосфері з використанням в якості плазмоутворюючого газу суміші аргону і водню. Детонаційне напилення покриттів здійснювали за допомогою детонаційно-газової установки «Дніпро - 5 МА».

При виконанні дисертаційного дослідження дисертантка Стороженко М. С. проводила оптимізацію технологічних параметрів газотермічного напилення покриттів залежно від співвідношення металевої та тугоплавкої складових в КМ.

Далі даному розділі дисертації авторка обґрунтувала та скомпонувала комплексну методику розгалужених експериментальних досліджень, що має у своєму складі низку найсучасних тонких, стандартних та оригінальних методів досліджень з використанням різноманітного експериментального устаткування.

Так, електроіскрове легування сталі 45 матеріалами систем $TiB_2-(Fe-Mo)$ та $Fe(Ni)CrBSiC-MeB_2$ проводилось на установці ALIER-52. Кінетика масопереносу вивчалась гравіметричним методом, вимірюючи питомий та сумарний приріст маси катоду, питому та сумарну ерозію аноду через кожну хвилину обробки 1 см^2 поверхні.

Для вивчення структурно-фазового складу композиційних матеріалів, порошоків, покриттів, а також поверхонь тертя використовувались методи рентгенофазового аналізу (РФА) (ДРОН-УМ1) та мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА) з використанням мікроскопів РЕМ – 106И і JEOL JAMP-9500.

ДюрOMETричний аналіз проводився на мікротвердомірі ПМТ-3. Пористість спечених композитів та нанесених покриттів, а також співвідношення фаз в КМ і покриттях встановлювали методом січних. Адгезійну міцність зчеплення покриттів з підкладками визначали штифтовим методом.

Визначення температурних параметрів окиснення порошоків композиційних матеріалів систем $Fe(Ni)CrBSiC-MeB_2$ проводили на приладі Derivatograph Q-1500-D в діапазоні температур $20 - 800^\circ\text{C}$ на повітрі.

Дослідження зносостійкості компактних композиційних матеріалів та покриттів $TiB_2-(Fe-Mo)$ проводили в умовах тертя ковзання без мастила на машині тертя МТ-68 за схемою вал-вкладиш у парі із загартованою сталлю 65Г (швидкість $4-12\text{ м/с}$, навантаження $2-6\text{ МПа}$). Контролювали масовий знос зразка, лінійний знос пари тертя та коефіцієнт тертя. Стійкість покриттів системи $TiB_2-(Fe-Mo)$ до абразивного зношування вивчали на машині тертя Х4-Б, на експериментальній установці в абразивному середовищі та методом склерометрії на приладі «Мікрон-гамма».

Триботехнічні властивості покриттів системи $Fe(Ni)CrBSiC-MeB_2$ досліджували за методикою pin-on-disc та ball-on-disc на триботестері CETR (Brucker) UMT Multi-Specimen Test System в умовах тертя ковзання без мастила в широкому діапазоні швидкостей та навантажень ($v = 0,5; 1,0; 1,5\text{ м/с}$; $P = 0,2 - 0,4\text{ МПа}$) в інтервалі температур $20 - 400^\circ\text{C}$. Зносостійкість розроблених покриттів визначали в парі тертя з різними матеріалами: покриттям $Fe(Ni)CrBSiC-MeB_2$, $FeNiCrBSiC$, Al_2O_3 , Cr_2O_3 .

Після проведення триботехнічних випробувань знімали профілограми доріжок тертя в чотирьох різних точках і визначали об'ємний знос покриттів відповідно до вимог стандарту ASTM G99.9217.

Для вивчення процесів формування захисних оксидних плівок на поверхнях тертя покриттів застосовувався метод Оже-спектроскопії з використанням мікроскопу JEOL JAMP-9500.

З моєї точки зору, даний розділ дисертації Стороженко М. С. є надзвичайно значущим розділом, який розкриває обґрунтований напрям досліджень та методи вирішення задач, поставлених у роботі.

Вказане демонструє послідовний та системний підхід авторки до вирішення важливої науково-технічної проблеми, що поставлена у дисертації.

На мою думку, сформована дисертантом Стороженко М. С. методика проведення всебічних досліджень, що викладена у розділі 2, забезпечила одержання достовірних та коректних результатів.

Вважаю, що загалом даний розділ дисертації Стороженко М. С. свідчить про логічні та чіткі напрямки реалізації поставленої мети роботи, та підтверджує здатність авторки ставити і послідовно розв'язувати складні наукові завдання, застосовувати найсучасніші методики та обладнання, співставляти і аналізувати одержані різними методами результати, робити на їх основі коректні висновки, що демонструє системний підхід до вирішення складних задач.

У третьому розділі дисертації здобувачка Стороженко М. С. зосереджується на розробці композиційних матеріалів системи $TiB_2-(Fe-Mo)$. Вибір сплавів $Fe-Mo$ обумовлений тим, що залізо є недорогим та недефіцитним металом, а молібден – широко використовується при виготовленні безвольфрамових твердих сплавів.

В роботі авторкою було зроблено припущення, що внаслідок взаємодії компонентів сплаву Fe–Mo з диборидом титану вдасться уникнути утворення в КМ крихких інтерметалідів. Для визначення складу нових композиційних матеріалів вивчено закономірності змочування та контактної взаємодії TiB₂ зі сплавами Fe–Mo в концентраційному діапазоні 2 – 30 мас.% Mo.

Авторка встановила, що введення в залізо добавок молібдену в кількості 2 – 20 мас.% сприяє зниженню контактних кутів змочування та збільшення адгезії сплаву до дибориду титану.

У процесі подальших досліджень було обґрунтовано обрано систему TiB₂–(Fe–13мас.%Mo), що характеризується нульовими кутами змочування та утворенням високоміцних боридів Mo₂FeB₂ (H_{μ} =20–22 ГПа).

Далі авторка дисертації представила технологічну схему отримання електродів та порошків ТБФМ. В розділі 3 дисертаційної роботи методом рідкофазного спікання були отримані КМ системи TiB₂–(Fe–13мас.%Mo) з вмістом металевої фази 20, 40, 60, 80 мас.% (ТБФМ20, ТБФМ40, ТБФМ60, ТБФМ80 відповідно) у вигляді компактних електродів для ЕІІ та порошків для напилення газотермічних покриттів. Спікання при температурі 1520–1550 °С протягом 40 хвилин забезпечило отримання компактних зразків ТБФМ з залишковою пористістю до 5–8%.

Серед іншого дисертанткою Стороженко М. С. встановлено, що за даними МРСА та РФА компактні КМ ТБФМ системи TiB₂–(Fe–13%Mo) мають гетерофазну структуру, що складається з твердого розчину на основі Fe, частинок TiB₂ розміром 5–7 мкм та боридів Mo₂FeB₂ розміром 10–20 мкм. При цьому рівень механічних властивостей КМ ТБФМ варіюється залежно від співвідношення тугоплавкої та металевої складових в їх структурі. Так, зі збільшенням вмісту TiB₂ твердість композитів ТБФМ збільшується, а міцність на згин та коефіцієнт тріщиностійкості зменшуються. Композиційний матеріал ТБФМ20 має відносно низькі механічні характеристики, що можна авторка пояснила більшою пористістю цього КМ (8%).

На мій погляд цікавими є результати трибологічних досліджень. Так, дисертантка показала, що зі збільшенням кількості металевої складової в структурі плазмових покриттів ТБФМ до 60–80 мас.% їх зносостійкість в умовах тертя ковзання зменшується.

На поверхнях тертя покриттів ТБФМ60 та ТБФМ80 було виявлено сліди адгезійної взаємодії зі сталевим контртілом. На думку авторки дисертації механізм зношування плазмових покриттів ТБФМ20 полягає в зрізанні мікрооб'ємів сталевого контртіла в процесі тертя під дією прикладеного навантаження.

Авторкою показано, що при випробуваннях на абразивний знос відносна зносостійкість газотермічних покриттів збільшується в ряду ТБФМ20 → ТБФМ80 → ТБФМ60 → ТБФМ40. Зносостійкість збільшується зі зменшенням кількості металевої зв'язки, а також зі збільшенням твердості покриття. Винятком є покриття з КІМ ТБФМ20, в якому очікуване підвищення зносостійкості не відбулося внаслідок низької адгезії і когезії покриття, що, на думку дисертантки, обумовлено недостатньою кількістю металевої зв'язки.

Для моделювання процесів зношування покриттів в абразивному середовищі дисертанткою Стороженко М. С. проведено склерометричні дослідження. Було виявлено, що частинки абразиву в основному зношують металеву матрицю. Включення складних боридів Mo₂FeB₂ за рахунок великих розмірів та твердості, ефективно екранують дію абразивних частинок при кутах атаки менших 90° і тим самим запобігають контакту абразивних частинок з матрицею і таким чином підвищують зносостійкість матеріалу. Для детонаційних покриттів ТБФМ спостерігаються ті ж закономірності зношування, що й для плазмових, але інтенсивність їх зношування на 15–20% менша, що пояснюється автором більш дрібнодисперсною структурою та меншою пористістю.

Далі авторка зосереджується на дослідженнях електроіскрового зміцнення поверхонь деталей. В результаті чого було показано, що для електроіскрового зміцнення та відновлення поверхонь деталей в якості електроду доцільно використовувати композиційний матеріал ТБФМ20.

Важливим є, що в результаті досліджень дисертанткою було розроблено компактні та порошкові КМ ТБФМ системи TiB₂–(Fe–13мас.%Mo) для нанесення електроіскрових та газотермічних покриттів, які за рівнем триботехнічних властивостей не поступаються покриттям з стандартного твердого сплаву ВК-6.

У підсумку для зміцнення робочих поверхонь деталей машин дисертанткою Стороженко М. С. рекомендуються покриття з КМ ТБФМ40, який забезпечує технологічність процесів нанесення

покриттів та їх високу зносостійкість за рахунок оптимального поєднання металевої та тугоплавкої складових.

Важливим доробком розділу 3 є те, що покриття з розроблених матеріалів ТБФМ системи $TiB_2-(Fe-13\%Mo)$ пройшли виробничі випробування на промислових підприємствах України. Випробування на ПАТ «Сумське НВО» показали збільшення ресурсу роботи змінних ножів РЗ-01032.00.00-10, зміцнених плазмовими покриттями ТБФМ40, в 1,5 рази порівняно з серійними деталями. За результатами дослідно-виробничої перевірки на ТОВ ПМТЗ «Сервіс» композиційні матеріали ТБФМ40 рекомендовано для нанесення захисних покриттів методом плазмового напилення на робочі поверхні деталей сільськогосподарської техніки з метою підвищення їх зносостійкості та ресурсу (до 4-5 разів).

Результати виробничої перевірки на КП «Київський метрополітен» показали, що застосування композиційного матеріалу ТБФМ40 для ЕІЛ-відновлення піввісей сходин ескалатора типу «ЭТ-2» з метою їх відновлення забезпечує подовження ресурсу вказаних деталей в 2,0–2,5 рази (150–170 тис. км).

Мені видається, що наведені у даному розділі результати та зроблені висновки показують важливість отриманого фактажу і ґрунтовних висновків не тільки у науковому, але і у прикладному плані, коли стає можливим цілеспрямовано формувати структуру композиційних покриттів та прогнозувати їх функціональні характеристики.

Четвертий розділ дисертації Стороженко М. С. розкриває результати розробки композиційних матеріалів на основі серійного самофлюсівного сплаву $NiCrBSiC$ з добавками тугоплавких сполук для підвищення зносостійкості покриттів. Для вибору зміцнюючої добавки для КМ на основі самофлюсівних сплавів авторкою проведено комплексне дослідження процесів змочування та міжфазної взаємодії в системах « $NiCrBSiC - TiC, ZrB_2, TiB_2, CrB_2$ ».

Було встановлено, що для зміцнення самофлюсівного сплаву $NiCrBSiC$ доцільно використовувати добавки TiB_2 . Контактний кут змочування дибориду титану самофлюсівним сплавом 18 становить $\sim 34^\circ$, при цьому в системі « $NiCrBSiC-TiB_2$ » відбувається утворення боридів хрому та карбоборидів титану-хрому, які сприяють збільшенню зносостійкості композиційних матеріалів.

Зазначений розділ розкриває комплексні дослідження особливостей контактної взаємодії в системах «самофлюсівний сплав $NiCrBSiC$ – тугоплавка сполука (TiC, ZrB_2, TiB_2, CrB_2)»: визначено кінетичні параметри змочування та вивчено структуру і фазовий склад продуктів взаємодії.

Авторкою встановлено, що досліджувані системи характеризуються інтенсивною взаємодією між компонентами самофлюсівного сплаву та тугоплавкої сполуки, що призводить до утворення нових хімічних сполук. Виявлено, що для створення нових композиційних матеріалів перспективною є система $NiCrBSiC-TiB_2$, яка характеризується малим кутом змочування ($\theta=34^\circ$) та хімічною взаємодією між компонентами сплаву та тугоплавкої сполуки з утворенням високотвердих боридів та карбоборидів хрому, які можуть позитивно впливати на зносостійкість покриттів.

Окрім цього дисертанткою Стороженко М. С. досліджено механізми формування структурно-фазового складу композиційних матеріалів на основі самофлюсівного евтектичного сплаву $NiCrBSiC$ з добавками 10, 20, 40 % TiB_2 в процесі рідкофазного спікання в вакуумі. Встановлено, що збільшення вмісту добавок дибориду титану в самофлюсівному сплаві призводить до зменшення розміру зерен бориду хрому (до 10–30 мкм). Отже, кількістю добавок дибориду титану можна впливати на розмір зерен бориду хрому, що дає можливість керувати структурно-фазовим складом композиційних матеріалів.

На мою думку значущим також було вивчення морфології, хімічного і фазового складу отриманих композиційних порошків НХТБ ($NiCrBSiC-TiB_2$). Встановлено, що кожна частинка порошку має гетерофазну структуру, в якій зерна зміцнюючих фаз рівномірно розподілені в матриці на основі нікелю.

Авторкою дисертації виявлено, що завдяки технології отримання композиційних порошкових матеріалів НХТБ, що включає в себе рідкофазне спікання в вакуумі з наступним подрібненням, вдається забезпечити високий адгезійний зв'язок між частинками тугоплавкої сполуки та металевим сплавом за рахунок міжфазної взаємодії, що дозволяє уникнути сегрегації

компонентів в процесі газотермічного напилення і реалізувати в покриттях структуру композиційних матеріалів. Структура плазмових покриттів НХТБ на основі самофлюсівного евтектичного сплаву NiCrBSiC ідентична структурі компактних та порошкових композиційних матеріалів і складається з пластичної металевої матриці, в якій розподілено тверді зерна бориду титану, бориду хрому та карбобориду титану-хрому.

Також здобувачкою виявлено, що зносостійкість плазмових покриттів НХТБ визначається як структурно-фазовим складом покриттів, так і матеріалом контртіла.

Результати комплексних триботехнічних випробувань показали, що введення до складу самофлюсівного сплаву NiCrBSiC добавок дибориду титану в кількості 10–40% призводить до збільшення зносостійкості в 3–4 рази порівняно з покриттям з промислового порошку самофлюсівного сплаву ПГ-СР3.

Серед розроблених покриттів найбільшою зносостійкістю характеризується покриття НХТБ20, що авторка пояснює оптимальним співвідношенням твердих боридних включень та пластичної металевої зв'язки в матеріалі покриття. Встановлено, що висока зносостійкість плазмового покриття НХТБ20 в парі з плазмовими покриттями NiCrBSiC, Al₂O₃ та Cr₂O₃ досягається шляхом реалізації окиснювального механізму зношування, що супроводжується процесами утворення на поверхнях тертя захисних оксидних плівок складного компонентного складу.

Представлений дисертанткою аналіз результатів показує, що цей розділ дисертації Стороженко М. С. займає одну з ключових позицій з погляду не тільки наукової цінності доробку авторки, але і з точки зору рекомендацій виробникам та розробникам нових ефективних технологій.

П'ятий розділ дисертації Стороженко М. С. присвячений розробці композиційних матеріалів на основі самофлюсівного сплаву FeNiCrBSiC з добавками тугоплавких боридів для нанесення зносостійких покриттів.

Як показала дисертантка, для створення нових композиційних матеріалів перспективними є системи FeNiCrBSiC–TiB₂ та FeNiCrBSiC–CrB₂, які характеризується малими кутами змочування ($\theta \ll 90^\circ$) та хімічною взаємодією між компонентами сплаву та тугоплавкої сполуки з утворенням твердих боридів та карбоборидів хрому-заліза-молібдену.

Авторкою було зроблено висновок, що для створення нових композиційних матеріалів на основі серійного самофлюсівного сплаву FeNiCrBSiC (ПГ-Ж14) доцільно використовувати 20% добавок TiB₂ та CrB₂.

Окрім цього було оптимізовано технологічні параметри отримання розроблених композиційних порошкових матеріалів ФХТБ20 (FeNiCrBSiC–TiB₂) та ФХБ20 (FeNiCrBSiC–CrB₂) методом рідкофазного спікання в вакуумі. Встановлено, що ефективний час розмолу суміші порошків серійного самофлюсівного сплаву ПГ-Ж14 та тугоплавких боридів становить 3 години та дозволяє отримувати зразки з пористістю до 10–12%, що є оптимальним для подальшого механічного подрібнення компактних зразків. В результаті експериментів було отримано композиційні порошкові матеріали ФХТБ20 (FeNiCrBSiC–20%TiB₂) та ФХБ20 (FeNiCrBSiC–20%CrB₂) методом рідкофазного спікання в вакуумі з подальшим подрібненням.

Дуже важливим результатом є факт, що в процесі газотермічного напилення порошків ФХТБ20 та ФХБ20 не відбувається сегрегації компонентів металевого сплаву та тугоплавкої сполуки, що призводить до формування гетерофазної структури покриття з рівномірним розподілом частинок боридів та in-situ карбоборидів в металевої матриці. Структура покриттів ФХТБ20 та ФХБ20 відрізняється високою щільністю та малою кількістю оксидних плівок, що забезпечує високий когезійний зв'язок в покриттях.

Здобувачка Стороженко М. С. виявила, що добавки дибориду титану та дибориду хрому до самофлюсівних сплавів на основі нікелю (НХТБ20) та заліза (ФХТБ20, ФХБ20) обумовлюють формування оксидів V₂O₅, TiO₂, Cr₂O₃, які приймають участь в утворенні складних оксидних плівок на поверхні композиційних матеріалів в процесі тертя.

За рахунок збільшення вмісту та розміру твердих частинок боридів та in-situ карбоборидів в структурі покриттів на основі самофлюсівних сплавів вдається перейти від адгезійного до окиснювального механізму зношування в умовах тертя ковзання без мастила при високих температурах, що призводить до збільшення зносостійкості при підвищених температурах.

В результаті досліджень виявлено, що окиснювальний механізм зношування розроблених плазмових покриттів системи FeNiCrBSiC–MeB₂ полягає в формуванні захисних оксидних плівок та супроводжується ефектом "самозаліковування" дефектів поверхонь тертя.

За результатами триботехнічних випробувань, проведених згідно міжнародного стандарту ASTM G99.9217 спільно з Талліннським технічним університетом розроблені газотермічні покриття НХТБ20, ФХТБ20 та ФХБ20 характеризуються зносостійкістю в 2–3 рази вищою порівняно з покриттями з серійних порошків ПГ-СР3 та ПГЖ-14, що підтверджено актом випробувань.

В даному розділі також зазначається, що розроблені здобувачкою плазмові покриття з композиційного порошкового матеріалу ФХТБ20 пройшли виробничі випробування на ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля». В ході випробувань встановлено, що нанесення покриттів ФХТБ20 на робочі поверхні кілець торцевих ущільнень марки ЦВС–30.50.01.200 в залежності від навантажень забезпечує збільшення зносостійкості вузла ущільнення в 1,8-2,2 рази порівно з покриттями з серійних самофлюсівних сплавів марок ПГ-СР3 та ПГ-Ж14.

Не менш важливим результатом є встановлення особливостей нанесення ЕІЛ-покриттів з розроблених композиційних матеріалів ФХТБ20 (FeNiCrBSiC–20%TiB₂) та ФХБ20 (FeNiCrBSiC–20%CrB₂). В процесі ЕІЛ розробленими КМ ФХТБ20 та ФХБ20 на сталі формується гетерофазна структура, яка являє собою матрицю на основі заліза, дисперсно зміцнену зернами боридів титану та хрому розміром 1–2 мкм, що сприяє підвищенню зносостійкості в 4–5 разів порівняно з ЕІЛ-покриттям з серійного самофлюсівного сплаву FeNiCrBSiC (ПГ-Ж14).

Електроіскрові покриття ФХТБ20 пройшли виробничі випробування на промисловому підприємстві «Київський метрополітен», що підтверджується відповідним актом випробувань.

За результатами роботи розроблено технічні умови ТУ У 25.9–05416930–049–014:2019 «Електроди FeNiCrBSiC–TiB₂ для електроіскрового зміцнення деталей триботехнічного призначення».

Встановлений автором дисертації фактаж переконує у важливості отриманих результатів і висновків не тільки у науковому, але й у прикладному плані, що дозволяє позитивно охарактеризувати здобувачку Стороженко М. С. як ретельного науковця, яка чітко окреслює та успішно вирішує найскладніші наукові завдання і реалізує їх на практиці.

Мені видається, що наведені у даному розділі дисертації результати ілюструють такий важливий і невід’ємний бік роботи, як реальну можливість інженерної реалізації напрацювань здобувачки Стороженко М. С.

У додатках до дисертації, що рецензується, представлено затверджену технічну документацію, яка підтверджує застосування наукових напрацювань на практиці, це– акти дослідно-виробничої перевірки результатів дисертаційної роботи на підприємствах ПАТ «Сумське НВО», ТОВ ПМТЗ «Сервіс», КП «Київський метрополітен», ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля» та затверджені технічні умови ТУ У 25.9–05416930–049–014:2019 «Електроди FeNiCrBSiC–TiB₂ для електроіскрового зміцнення деталей триботехнічного призначення».

Зауваження по дисертаційній роботі

Окрім викладених вище позитивних якостей рецензованої дисертації Стороженко М. С. слід зробити наступні зауваження по роботі:

1. У рубриці «Актуальність теми» дисертації і у авторефераті відсутнє чітке і стисле формулювання конкретної науково-технічної проблеми, на вирішення якої спрямована робота, як це вимагають нормативні документи з питань підготовки та експертизи дисертацій. Також у цій же рубриці, на жаль, нема чіткого увиразнення щодо корисних наслідків для науки і виробництва, які надасть вирішення цієї проблеми.

Авторка у кінці зазначеної рубрики лише обмежується тим, що «...актуальність роботи визначається необхідністю розробки фізико-технологічних засад створення композиційних порошкових матеріалів методом рідкофазного спікання в вакуумі...» без попереднього проблемного обґрунтування чи то повної відсутності таких наукових засад, чи їх недостатності для стабільного забезпечення високої зносостійкості композиційних покриттів зазначеного класу.

2. На жаль, у п. 3 рубрики «Наукова новизна отриманих результатів», не вказано ступінь новизни отриманих результатів. Це - надзвичайно важливий доробок дисертантки щодо встановлення та обґрунтування механізму зношування газотермічних покриттів з розроблених композиційних порошкових матеріалів систем FeNiCrBSiC–MeB₂. Одержані таким чином покриття забезпечують утворення таких змащувальних плівок, котрі сприяють "самозаліковуванню" дефектів поверхонь тертя та збільшенню зносостійкості покриттів FeNiCrBSiC–MeB₂ при підвищених температурах (400 °C) в 2–3 рази в порівнянні з покриттями із серійних порошоків самофлюсівних сплавів ПГ-СР3 та ПГ-Ж14.

Втім відсутність ступеню новизни не дозволяє оцінити пріоритетність одержаних важливих даних.

3. У розділі 2 дисертації і у авторефераті авторка детально характеризує об'єкти досліджень. Втім, на жаль, у тексті нема обґрунтування вибору цих об'єктів, для яких цілей і застосувань саме ці об'єкти є найдоцільнішими.

Окрім цього, на жаль, висновки до розділу 2 носять загальний реферативний характер без належного стислого викладення основних значущих аспектів такого важливого розділу як методологічне забезпечення дисертаційної роботи.

4. У розділі 3 на С. 175 дисертації наведено рис. 3.6.3.7. – «Схема процесу зношування плазмових покриттів ТБФМ в абразивному середовищі». По-перше, мабуть, має місце помилка у нумерації, оскільки це має бути рис. 3.6.2.7. По-друге, чомусь у тексті нема посилань на цей рисунок і відсутній його опис, зокрема, що таке «тіньова» область?

5. У розділі 4 дисертантка вказує, що триботехнічні випробування плазмових покриттів НХТБ проводились в парі тертя з плазмовим покриттям NiCrBSiC.

Мені видається, що доцільним було би обґрунтувати вибір саме такого обраного матеріалу для контртіла.

6. У дисертації на С. 296 та 297 вказується, що на поверхні зерен дибориду титану і бориду хрому було виявлено оксиди нікелю. Оксиди В₂О₃ і TiO₂ також були виявлені на поверхні матриці на основі нікелю.

Однак авторка не дає пояснень яким методом були виявлені саме такі оксиди, оскільки виконаний пошаровий Оже-спектральний аналіз не дає можливості стверджувати про формування у плівках вторинних структур оксидів, тим більш саме такої стехіометрії, а дає інформацію про присутність тих чи інших елементів на різній глибині плівки. При цьому за важких умов трибонавантажень процес тертя таких хімічно складних покриттів може супроводжуватись утворенням не тільки простих, а й складних оксидів, наприклад, шпінельного типу.

7. На С. 298 дисертант пише, що методом МРСА було виявлено, що на поверхні покриття НХТБ40, як і покриття НХТБ20, в процесі тертя відбувається формування оксидних плівок (рис. 4.6.3.8, табл. 4.6.3.2).

Втім наведений рис. 4.6.3.8. не показує оксидних плівок, а ілюструє структуру і топографію поверхні покриття НХТБ40 після триботехнічних випробувань з позначенням місць на поверхні, в яких виконувався мікрорентгеноспектральний аналіз (МРСА), котрий показує наявність окремих хімічних елементів у цих точках (це табл. 4.6.3.2), а не оксидних фаз.

8. При виконанні досліджень здобувачка встановила, що покриття ТБФМ40, яке містить 40мас.%Fe–Mo, характеризується найбільш високою зносостійкістю серед розроблених покриттів за рахунок оптимального співвідношення твердих частинок та пластичної металевої матриці.

Проте, на жаль, не обґрунтовано що було критерієм оптимізації для отримання саме такого співвідношення твердих частинок і металевої матриці.

Це зауваження також стосується деяких узагальнень дисертантки, наприклад, щодо «оптимізованих технологічних параметрів отримання композиційних порошкових матеріалів методом рідкофазного спікання в вакуумі».

9. На жаль, на деяких рисунках, що складаються з декількох фотографій, наприклад, рис. 4.1.1, 4.1.3.1., 4.1.3.3, 4.1.3.5, 4.1.3.6, 4.3.1.9 і деяких інших, не позначено а), б) і т.п. з поясненнями що на цих фото зображено. Аналогічне спостерігається і у авторефераті, наприклад рис. 26 (С. 25).

У той же час на рис. 4.6.1.3 є позначки а), б) і ін., але у підпису чомусь нема пояснень що таке а), б) і т.д.

10. Дуже важливим у роботі є практичне значення результатів наукових досліджень, а саме, дисертантка надає відомості щодо дослідно-виробничої перевірки результатів дисертаційної роботи на ряді підприємств і додає розроблені ТУ на електроди для електроіскрового зміцнення деталей триботехнічного призначення та істотного подовження ресурсу роботи від 1,5 до 2,5 разів для різного типу деталей з нанесеним розробленим композиційним покриттям, про що свідчать відповідні акти виробничих випробувань, наведені у Додатках.

Це дуже важливий технічний ефект, який досягнуто завдяки використанню наукових напрацювань дисертантки для практичних цілей.

Втім, на жаль, у дисертації відсутній економічний ефект (реальний або очікуваний) від впровадження нових покриттів, який би мав підтвердити одержану при впровадженні цифру технічного ефекту.

Загальні висновки по дисертації

Дисертація Стороженко М. С. є завершеною науковою працею, при виконанні якої були одержані нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальну науково-технічну проблему - підвищення зносостійкості покриттів в умовах тертя ковзання в широкому діапазоні температур та абразивного зношування завдяки встановленню фізико-технологічних засад створення композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeB₂» з керованим структурно-фазовим складом.

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у наукових фахових і міжнародних виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science, і широко апробовані на міжнародних науково-технічних конференціях.

Матеріали і напрацювання, що входили до кандидатської дисертації Стороженко М. С., не використовуються у представленій докторській дисертації.

Зміст автореферату дисертаційної роботи Стороженко М. С. є ідентичним до основних положень дисертації.


Вважаю, що дисертаційна робота «Фізико-технологічні засади створення композиційних матеріалів системи «сплав на основі Ni(Fe) – MeB₂» для покриттів з високим рівнем зносостійкості» повністю відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство» та вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567, щодо докторських дисертацій, а її авторка – **Стороженко Марина Сергіївна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за означеною спеціальністю.

Офіційний опонент,
професор, доктор технічних наук,
в. о. зав. кафедри технології поліграфічного виробництва
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

 Т. А. Роїк

Підпис професора, д.т.н. Т. А. Роїк засвідчую:
Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського



 А. А. Мельниченко

