

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Барановської Оксани Валеріївни

«Особливості структуроутворення та властивості спечених металоматричних композитів та епоксиполімерів з дисперсним наповнювачем на основі системи Ti-Fe-Si-Mn-C(B)»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Дисертація являє собою наукову роботу, виконану у вигляді рукопису, який складається зі вступу, 5 розділів, основних висновків, списку використаної літератури та 3 додатків. Дисертація містить 83 рисунки, 21 таблицю, список використаних джерел із 220 найменувань, 3 додатки. Загальний обсяг роботи становить 254 сторінки (9,2 авторських аркушів). Розгляд автореферату й ознайомлення з опублікованими роботами здобувача за темою дисертації дозволили відзначити наступне.

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Барановської Оксани Валеріївни присвячена створенню нових титаноматричних та металополімерних композитів різних компонентних груп функціонального призначення на основі результатів дослідження процесів фазо- та структуроутворення, а також впливу технологічних режимів виготовлення на основні фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалів.

Вибір такого напрямку досліджень пов'язаний із перспективами розвитку авіакосмічної, автомобільної, медичної та інших галузей промисловості, який вимагає створення нових матеріалів із високими показниками фізико-механічних властивостей, відносно низькою щільністю та високою стійкістю до впливу агресивних середовищ.

При цьому на світовому ринку спостерігається поступове здорожчання більшості поширених у промисловості міцних металів та сплавів, тому інтерес дослідників викликає створення нових матеріалів, зокрема, титаноматричних композитів та епоксиполімерних композитів з металовмісними дисперсними наповнювачами.

Наразі відомо багато перспективних композитних титаноматричних сплавів для легування яких використовують сполуки типу Ti_5Si_3 , CrB, B_4C , SiC і TiC, TiN, TiB, та Al_2O_3 . Найбільш досліджені композити на основі титану та його сплавів, армовані волокнами SiC та Al_2O_3 або частинками TiC, відрізняються високими

показниками міцності, твердості та зносостійкості, у тому числі і при високих температурах. Останніми роками TiB визнано найбільш підходящим армуючим матеріалом для титанової системи через його термодинамічну та механічну стабільність, а також здатність створювати мінімальні залишкові напруження. Проте великий інтерес викликає можливість використання як армуючої добавки багатокomпонентного титаноматричного порошку, який в своєму складі поєднує більшість зазначених вище армуючих частинок.

Викликає цікавість дослідників і використання дисперснонаповнених епоксиполімерних композитів. Вони забезпечують необхідний комплекс фізико-механічних властивостей виробів, їх високу стійкість до зносу та корозії, а також можливість багаторазового відновлення поверхонь деталей механізмів і машин шляхом нанесення композиційних покриттів на основі таких композитів.

Застосування таких композитів у якості конструкційних матеріалів дозволяє суттєво підвищити економічність устаткування та підвищити основні показники основних фізико-механічних та теплофізичних властивостей.

Тому створення титаноматричних спечених композитів та епоксиполімерних дисперснонаповнених композитів із наперед заданими властивостями яке розглянуте у дисертаційній роботі, є актуальною науковою задачею, розв'язання якої дозволить підвищити експлуатаційні характеристики технологічного устаткування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Важливість та актуальність виконаних Барановською Оксаною Валеріївною експериментальних та практичних досліджень додатково підтверджується тим, що їх проводили у рамках відомчої та пошукової тематики Інституту проблем матеріалознавства НАН України за темами: «Науково-технологічні принципи синтезу та консолідації високозносостійких композитів на основі сплавів алюмінію та титану, армованих високомодульними сполуками» (№ ДР 0121U108663, шифр теми III-3-21), «Фізико-технологічні основи процесів консолідації та термічного синтезу високозносостійких керметів на основі WC, TiC та абразивних алмазовміщуючих композитів» (№ ДР 0119U101412, шифр теми III-15-19 (Ц)), «Науково-технологічні принципи термічного синтезу і консолідації порошків на основі залізовуглецевих та нікелевих сплавів, армованих високомодульними сполуками з карбідів (карбоборидів) титану та вольфраму для отримання високозносостійких композиційних матеріалів та покриттів» (№ ДР 0120U101216, шифр теми II-7-20). Автор дисертації брала безпосередню участь у виконанні вказаних тем як виконавець.

Все це свідчить про актуальність сформульованих автором теми та мети роботи, а також наукових та науково-практичних задач, які розв'язували у рамках дисертаційного дослідження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наведені у роботі наукові положення, висновки та рекомендації ґрунтуються на комплексі теоретичних та експериментальних досліджень, які виконували з використанням сучасних стандартизованих та спеціальних методик досліджень (спектральних вимірювань, теплофізичних досліджень, вивчення структури та фізико-механічних властивостей, математичного моделювання властивостей матеріалів) та застосуванням коректних методів статистичної обробки результатів. Необхідність та достатність виконаних експериментальних досліджень для формулювання висновків та рекомендацій підтверджується застосуванням методів планування експерименту.

Достовірність наведених у роботі наукових положень, висновків та практичних рекомендацій підтверджується порівняльною характеристикою із результатами, отриманими іншими авторами.

Отже, усі наведені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації є повністю обґрунтованими та достовірними.

Наукова новизна отриманих результатів

Вперше запропоновано та експериментально підтверджено ефективність використання термічно синтезованої лігатури із багатокомпонентних порошкових сумішей на основі системи $TiH_2-Fe-Si-Mn-C(B)$ для отримання спечених титаноматричних та епоксиполімерних дисперснонаповнених композитів з підвищеними фізико-механічними та функціональними властивостями.

Вперше встановлено закономірності впливу компонентного складу вихідної шихти на основі системи $TiH_2-Fe-Si-Mn-C(B)$ на особливості структури та фазового складу термічно синтезованої лігатури. Показано, що при використанні феросплавів в якості одного з компонентів шихти відбувається їх активна взаємодія з гідридом титану, яка супроводжується дисоціацією вихідної лігатурної складової з утворенням складної гетерофазної системи, переважаючими фазами якої є карбід титану TiC , борид титану TiB , силіцид Ti_5Si_3 та інтерметалід типу $Ti_x(Mn,Fe,Si)_y$.

Вперше встановлено вплив вмісту мультикомпонентної лігатури системи $Ti-Fe-Si-Mn-C(B)$ та технологічних режимів виготовлення на особливості фазо- та структуроутворення і основні механічні властивості спечених титаноматричних

композитів. Показано, що збільшення вмісту лігатурної складової у вихідній шихті з титаном з 10 до 30 % 20 (мас.) призводить до підвищення твердості (до HRC 49-56) та границі плинності (до 1280-1520 МПа) композитів при кімнатній температурі, однак їх пластичність та тріщиностійкість зменшуються. Встановлено також, що легування сплаву з використанням мультикомпонентної лігатури, термічно синтезованої із порошкової суміші TiH_2 -ФСМ- B_4C , призводить до суттєвого підвищення високотемпературних характеристик спеченого композиту. Границя плинності останнього $\sigma_{0,2}$ при 30 % (мас.) вмісту лігатури у вихідній шихті досягає значень 820 МПа при 600 °С та 440 МПа при 700 °С, а швидкість деформації $\dot{\epsilon}$ при випробуванні на повзучість при 750 °С на навантаженні в 100 МПа не перевищує $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$.

Вперше показано, що введення в епоксидну матрицю 10-20 % (мас.) композиційних дисперсних наповнювачів із мультикомпонентних титаноматричних композитів, значно підвищує рівень руйнівних напружень композиту: міцність на вигин збільшується до 1,8 разів, а ударна в'язкість — до 2,5 разів. Максимальні значення міцності і ударної в'язкості спостерігаються в композитах, армованих наповнювачами, синтезованими з порошкових сумішей, що містять карбід бору, а найвищим рівнем адгезійної міцності характеризується композит з 20 (мас.) % наповнювача, синтезованого із суміші TiH_2 -FeSi- B_4C .

За результатами триботехнічних досліджень отримало подальшого розвитку уявлення про механізми зношування різнонаповнених епоксикомпозитних матеріалів. Показано, що введення термічно синтезованого дисперсного наповнювача до складу полімеру та збільшення його концентрації призводить до зменшення коефіцієнта тертя μ на стадії сталого ковзання та суттєвого зменшення інтенсивності зношування у порівнянні із ненаповненим полімером.

Практичне значення результатів дисертації

1. Показана та обґрунтована технічна та економічна доцільність використання феросплавів як легуючої добавки до титану, що обумовлено економічними чинниками внаслідок суттєво меншої вартості феросплавів.

2. На основі проведених досліджень було обрано оптимальні склади та технологію отримання титаноматричних композиційних матеріалів, що вміщують лігатуру на основі системи 65 TiH_2 -30 ФСМ-5 B_4C з високим рівнем механічних властивостей при високотемпературних випробуваннях. Показано, що титаноматричні композити, які в своєму складі вміщують 20 та 30 % (мас.) лігатури при температурі випробування 600 °С мають границю міцності на стиснення 721 та 821 МПа відповідно.

3. На основі проведених досліджень і отриманих результатів показано ефективність використання багатокомпонентних титаноматричних лігатур в якості наповнювача до епоксиполімерних композитів з метою підвищення фізико-механічних та триботехнічних характеристик.

4. Титаноматричний композит, розроблений у рамках дисертаційного дослідження, пройшов успішну дослідно-промислову апробацію на ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор» та рекомендований до впровадження у виробництво сідел клапанів для насосів НМШ 5/25-2,5/6, призначених для перекачування високов'язких середовищ при підвищених температурах та знаходиться на стадії підготовки до серійного виробництва. (Акт використання результатів дисертаційної роботи від 21.01.2025 р.).

Рекомендації щодо використання результатів

Розроблені титаноматричні композиційних матеріалів, що вміщують лігатуру на основі системи $65 \text{ TiH}_2 - 30 \text{ ФСМ} - 5 \text{ В}_4\text{С}$ мають підвищені експлуатаційні характеристики, у тому числі при високих температурах (понад $600 \text{ }^\circ\text{C}$) та можуть бути рекомендовані для застосування у якості конструкційних матеріалів у авіакосмічній, автомобільній, медичній, машинобудівній та інших галузях промисловості.

Встановлені закономірності впливу тривалості та режиму механоактивації, складу вихідної порошкової шихти, температури спікання та вмісту лігатури у складі композита на структуру, склад та фізико-механічні титаноматричних композитів системи Ti-Fe-Si-Mn-C(B) можуть бути використані для створення нових матеріалів із заданими властивостями залежно від потреб промисловості.

Встановлені закономірності зв'язку між концентрацією термічно синтезованого дисперсного наповнювача у складі епоксиполімеру із змінами коефіцієнта тертя на стадії сталого ковзання може бути використані для розробки високозносоустійких композиційних матеріалів та покриттів на основі епоксиполімерних композитів з металовмісними дисперсними наповнювачами.

Повнота викладення результатів в опублікованих працях

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 13 статей у міжнародних журналах, фахових виданнях та журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз даних (5 статей входять до бази даних Scopus, 8 статей опубліковано у фахових виданнях та інших іноземних наукових виданнях).

Додатково зміст дисертації викладений у 7 тезах доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях. За матеріалами дисертації отримано 2 патенти України на корисну модель.

Для робіт, написаних у співавторстві, в авторефераті та у дисертації відображено конкретний внесок дисертанта.

Апробація наведених результатів

Основні результати представлених у роботі досліджень доповідались і обговорювались на міжнародних та всеукраїнських науково технічних конференціях, а саме:

XIII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» (June 5-8, 2017) Varna, Bulgaria; 6th International Samsonov Conference «Materials Science of Refractory Compounds» (May 22-24, 2018), Kyiv, Ukraine; XV International Conference Problems of Corrosion and Corrosion Protection of Materials «CORROSION-2020» (the 461st event of the European Federation of Corrosion) PROGRAM October 15–16, 2020 Lviv, Ukraine; All-Ukrainian scientific and Technical Conference «НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ», 22-24 November 2022, Dnipro; 8th International Materials Science Conference HighMatTech-2023 October 2-6, 2023, Kyiv, Ukraine; конференції молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкарьовські читання – 2024» з міжнародною участю, Київ, 4 квітня 2024 року, Україна; IXth INTERNATIONAL SAMSONOV CONFERENCE «Materials science of refractory compounds» May 27-30, 2024, Kyiv, Ukraine.

Таким чином, результати досліджень, виконаних Барановською О.В., пройшли достатню апробацію.

Відповідність автореферату змісту дисертації

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації. У авторефераті зазначено актуальність роботи, відображено її зв'язок з науковими програмами, планами і темами, показано мету і основні задачі дослідження, визначена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, наведено відомості про публікації за матеріалами роботи та їх апробацію, зазначено особистий внесок здобувачки, виконано огляд структури дисертаційної роботи та наведено основні наукові результати, які виносяться на захист.

Загальна характеристика роботи

Дисертація має традиційну структуру та складається зі вступу, 5 розділів, основних висновків, списку використаних джерел та 3 додатків. Рукопис містить 83 рисунки, 21 таблицю, список використаних джерел із 220 найменувань, 3 додатки. Загальний обсяг роботи становить 254 сторінки.

У **вступі** дисертації викладено та обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано її мету, визначені основні задачі, розв'язання яких необхідне для її досягнення. Відображено зв'язок дисертації із науковими темами, програмами та планами. Описано об'єкт та предмет досліджень, окреслені методи, які використовувались при виконанні роботи. Сформульовано наукову новизну роботи, наведено практичне значення її результатів. Відзначено особистий внесок здобувача у отриманні наведених у роботі результатів, наведено інформацію щодо публікації та апробації отриманих під час виконання досліджень результатів.

У **першому розділі** роботи виконано огляд методів виготовлення титаноматричних та епоксиполімерних композитів та сфер використання таких матеріалів у сучасній промисловості. Також розглянуто вплив хімічного складу та концентрації легувальних елементів на комплекс властивостей титанових сплавів та виконано огляд механізмів стабілізації β -фази в багатокomпонентних титанових сплавах.

Виконаний аналіз свідчить, що титаноматричні композити мають значний потенціал для застосування у різних галузях завдяки їх унікальному поєднанню високої питомої міцності, жорсткості, зносостійкості, термостійкості та корозійної стійкості, зумовленому поєднанням легкої титанової матриці з твердими армуючими елементами. Але широке впровадження армованих титаноматричних композитів стримується рядом факторів, зокрема потенційною нестабільністю їх властивостей через взаємодію між титановою матрицею та дисперсними частинками тугоплавких сполук, особливо при високих температурах. Також застосування титаноматричних композитів обмежується відносно високою вартістю їх виробництва та низькими пластичними характеристиками, які можуть бути спричинені залишковою пористістю та наявністю крихких включень.

Результати проведеного аналізу дозволили обрати склад лігатури на основі системи $TiH_2-Fe-Si-Mn-B(C)$ для отримання матеріалів із підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними властивостями.

На основі проведеного огляду літератури зроблено висновки щодо актуальності роботи, сформульовано її мету та основні задачі.

У **другому розділі** наведено детальне обґрунтування вибору та опис компонентного складу лігатури, розглянуто використану при виконанні

дослідження технологічну схему отримання титаноматричних композиційних матеріалів.

Також у цьому розділі наведено методики проведених теоретичних і експериментальних досліджень структури, фазового та хімічного складу порошкової лігатури та отриманих композиційних матеріалів, описані режими отримання досліджуваних матеріалів.

Третій розділ роботи містить результати дослідження особливостей структуроутворення та фазового складу отриманих титаноматричних композитів. Показано, що при використанні феросплавів у якості легуючої добавки в результаті механоактивації та наступного спікання утворюється складна гетерофазна система, переважаючими фазами якої є карбід титану TiC , борид титану TiB , силіцид титану Ti_5Si_3 та інтерметалід типу $Ti_x(Mn,Fe,Si)_y$. Проведення механоактивації у планетарному млині при тривалості розмелу у 18 хвилин також призводить до появи у складі сплаву фази B_4C , яка відсутня при реалізації інших режимів.

Встановлена оптимальна температура для синтезу лігатур в системах TiH_2 - Mn - Si - Fe - $C(B)$, яка становить $1250\text{ }^\circ\text{C}$. Показано, що кількість карбіду бору значно впливає на ущільнення та формування мікроструктури спеченого титаноматричного композиту. Результати досліджень свідчать, що сплави з використанням 2, 4 та 5 % (мас.) B_4C , незважаючи на наявність помітної залишкової пористості, відрізняються досить високими значеннями твердості, що передбачає можливість ефективного використання таких сплавів як триботехнічних матеріалів з підвищеним опором зносу. Це пояснюється тим, що додавання карбіду бору призводить до формування більш дрібнодисперсної структури з розміром зерен $0,5\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ та сприяє утворенню TiB_2 .

У **четвертому розділі** дисертації наведено результати дослідження впливу фізико-механічних та триботехнічних властивостей отриманих титаноматричних композитів. Показано суттєву залежність структури та фазового складу сплаву композитів від вмісту лігатури та температури спікання. Зразки з більш високою концентрацією лігатури (20 та 30 % (мас.)) демонструють нижчий рівень пористості у порівнянні з зразками, що містять 10 % (мас.) лігатури, особливо при спіканні за температури $1200\text{ }^\circ\text{C}$, що пояснюється посиленими дифузійними процесами та активацією механізмів масопереносу, що забезпечують ущільнення матеріалу.

Встановлено закономірності впливу концентрації лігатури та температури спікання на структуру, фазовий склад, мікротвердість, твердість, границю плинності та пластичність, жароміцність, зносостійкість та міцність отриманих титаноматричних композитів. Показано, що композит із вмістом 30 % (мас.) лігатури продемонстрував найкращі характеристики з точки зору трибологічних

властивостей. Він має високу твердість, гарну міцність та жароміцність, а поява трибошарів з трибооксидами сприяла підвищенню зносостійкості.

П'ятий розділ роботи присвячено висвітленню результатів дослідження впливу дрібнодисперсних наповнювачів на основі багатокомпонентних титаноматричних сплавів на властивості і структуру епоксикомпозитів. Показано, що введення 10-20 % (мас.) дрібнодисперсних наповнювачів, отриманих термічним синтезом, у епоксидну матрицю значно підвищує рівень руйнівних напружень композиту. Зокрема, міцність на вигин збільшується у 1,8 разів, а ударна в'язкість — у 2,5 разів. Максимальні значення міцності і ударної в'язкості спостерігаються в композитах, армованих наповнювачами, синтезованими з порошкових сумішей, що містять карбід бору. Ці показники перевищують аналогічні параметри для композитів з наповнювачами, отриманими з шихти, що містить вуглець.

Встановлено, що найвищим рівнем адгезійної міцності характеризується матеріал з 20 % (мас.) наповнювача, синтезованого із суміші $TiH_2-FeSi-B_4C$. Отримані епоксиполімерні композити характеризуються рівномірним розподілом частинок наповнювача у матриці, що забезпечує покращення експлуатаційних властивостей.

Розроблені зносостійкі титаноматричні композити пройшли успішну дослідно-промислову апробацію в умовах ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор» при виробництві сідел клапанів насосів НМШ 5/25-2,5/6, що дозволяє знизити інтенсивність зношування цих деталей у 1,48 рази у порівнянні із сідлами серійного виробництва, виготовленими із хромокремнистої сталі 40X10C2M. Результати роботи також впроваджено у навчальному процесі Херсонської державної морської академії при підготовці аспірантів спеціальності 132 «Матеріалознавство» у рамках викладання дисципліни «Технологія матеріалів».

Оцінка мови та стилю дисертації

Дисертація та автореферат викладені державною мовою, грамотно та на високому науковому рівні. Стиль викладення результатів проведених досліджень, основних наукових положень та сформульованих висновків є чітким.

Зауваження до дисертації та автореферату

В результаті аналізу дисертації та автореферату в мене виникли наступні зауваження, запитання та пропозиції.

1. У **вступі** дисертації та автореферату, а саме у розділах «Наукова новизна одержаних результатів» та «Практичне значення отриманих результатів» скорочення ФСМ (феросилікомарганець) використане без його попереднього пояснення вище у тексті роботи. І якщо для дисертації тлумачення значення цього скорочення міститься у переліку умовних позначень, то у авторефераті такого пояснення взагалі не міститься.

2. У **першому розділі** виконано огляд фізико-механічних властивостей та сфер застосування порошкових титаноматричних композитів та епоксиполімерних дисперснонаповнених композитів. Але назва першого розділу містить згадку лише про титаноматричні композиційні матеріали. Також, хоча в тексті дисертаційної роботи питанням розробки епоксиполімерних композитів присвячено приблизно 35 % від повного її обсягу, огляд сфери застосування, методів виробництва та діапазону властивостей епоксиполімерних дисперснонаповнених композитів в рамках першого розділу складає всього 3 повних сторінки тексту, що становить всього 5 % від загального обсягу першого розділу. На мою думку, варто було б розширити підрозділ 1.5 та більш детально розглянути особливості створення та застосування епоксиполімерних дисперснонаповнених композитів, а також внести згадку про них до назви першого розділу.

3. У підрозділі 1.6 перед постановкою мети та завдань дослідження розглянуто перспективи застосування таких армуючих сполук, як Ti_5Si_3 , CrB, B_4C , SiC, TiC, TiN, TiB та Al_2O_3 . На основі цього обрано склад лігатури на основі системи $TiH_2-Fe-Si-Mn-B(C)$, а детальне обґрунтування вибору такого компонентного складу шихти наведено далі у підрозділі 2.1. На мою думку, у підрозділі 1.6 перед постановкою задач дослідження було б доцільно навести короткі пояснення, чому для досліджень було обрано саме цю систему.

4. Також у розділі містяться відомості про отримання іншими авторами позитивних результатів при виконанні механоактивації вихідної порошкової суміші у атриторах, але у подальшому у роботі механоактивація виконується лише у кульовому та планетарному млині. На мою думку, доцільно було б розглянути можливість використання у експериментальних дослідженнях сучасних методів підготовки порошків, зокрема, дезінтеграторів, атриторів, хімічних та фізико-хімічних методів.

5. У **другому розділі** у пункті 2.3.5 наведена методика диференційного термічного аналізу, в якій зазначено, що для досліджень використовувалась установка, яка сконструйована і виготовлена у відділі фізичної хімії неорганічних матеріалів ІПМ НАНУ. Можливо, в рамках цього пункту було б доцільно навести схему цієї установки та її більш детальний її опис.

6. Також у розділі 2 було б доцільно навести інформацію про використані методики планування експерименту та навести таблиці із зазначенням досліджених режимів механоактивації, режимів спікання титаноматричних композитів та діапазону варіювання вмістом дисперсного наповнювача при створенні епоксиполімерних композитів. Певна інформація про такі режими міститься у відповідних підрозділах розділу 2 у вигляді тексту. Також подібні таблиці містяться надалі у відповідних розділах разом із результатами досліджень. Але у розділі 2 можна було б створити окремий підрозділ, у якому навести режими досліджень та з використанням актуальних методів планування експерименту пояснити, чому для експериментальних досліджень було обрано саме такі значення тих чи інших факторів.

7. У пункті 2.4.6 наведено методику визначення триботехнічних характеристик матеріалу. В ній зазначені основні умови тертя, але при цьому не вказано, чи виконували підготовку контактуючих поверхонь шляхом притирання зразків, і якщо така підготовка виконувалась, то як саме контролювали стан поверхонь тертя. Оцінити коректність підготовки контактуючих поверхонь можна було б, зокрема, аналізуючи закономірності зміни маси зразків по мірі збільшення значення пройденого шляху тертя. Але хоча згідно пункту 2.4.6 такі вимірювання і виконувались, їх результати у вигляді відповідних графіків зміни маси, нажаль, не наведено у підрозділі 4.3 та пункті 5.5.1, де наведено лише графіки зміни коефіцієнту тертя, залежності зміни температури зони трибоконтракту від шляху тертя та інтегральні показники зношування.

8. У **третьому розділі** наведено результати дослідження сплавів, синтезованих при 1250 °C із суміші TiH₂ – ФСМ – В₄С після різних видів механоактивації. Згідно наведеним на рис. 3.24 результатам, у складі порошкової суміші після помелу у всіх режимах містяться такі фази, як TiH_{1,5}, В_{6,5}С, Ti та Mn_{4,6}Fe_{0,4}Si₃. Наведені на рис. 3.25 результати рентгенофазового аналізу сплавів, синтезованих при 1250 °C із суміші TiH₂ – ФСМ – В₄С після різних видів механоактивації, свідчать, що для всіх досліджених сплавів у складі містяться фази TiC, а також Ti₅Si₃ та/або Ti₅Si₄. Також у складі майже всіх сплавів, окрім сплаву, отриманого після механоактивації протягом 18 хв у планетарному млині, міститься фаза Mn_{0,52}Ti_{0,48}. А у складі сплаву, отриманого після механоактивації протягом 18 хв. у планетарному млині, згідно результатам, наведеним на рис. 3.25, в, взагалі немає жодної фази, яка містить Mn. Нажаль, цей факт не констатується у тексті дисертаційної роботи та йому не наводиться жодного пояснення.

Можливо, фаза Mn_{0,52}Ti_{0,48} присутня у складі цього сплаву, оскільки на рис. 3.25, в присутній неідентифікований пік на куті $2\Theta \approx 77^\circ$, який згідно результатам аналізу інших дифрактограм відповідає як раз фазі Mn_{0,52}Ti_{0,48}. На інших

наведених в цьому та інших розділах роботи дифрактограмах також інколи присутні неідентифіковані піки.

9. У **четвертому розділі** при дослідженні кривих деформації при випробуваннях на стиснення композитів відпалених при різних температурах із різним вмістом лігатури (рис. 4.6) для композитів із додаванням 30% (мас.) лігатури спостерігається нетипова поведінка для титаноматричного композиту (ТМК), отриманого спіканням при температурі 1250 °С. Для нього пластичність становить ~ 8 %, тоді як для зразків матеріалу такого ж складу, отриманих при інших температурах, її значення складає приблизно 2 %. Аномальною є пластичність і для ТМК, отриманого спіканням при температурі 1200 °С для ТМК із додаванням 20 % (мас.) лігатури. Так, для композиту із 20 % (мас.) лігатури, отриманого спіканням при 1200 °С, пластичність не перевищує 2 %, тоді як для інших композитів цього ж складу, отриманих при інших температурах, пластичність складає від 6 % до 12 %. Такі результати вимагають більш детального пояснення, ніж наведено у тексті дисертаційної роботи.

10. Також у таблиці 4.4 наведено результати дослідження впливу вмісту армуючої фази та температури спікання на твердість отриманих композитів. Але оскільки твердість є важливою характеристикою для оцінки можливих галузей застосування отриманих матеріалів, то доцільно було б навести закономірності її зміни також у вигляді графіків.

11. У **п'ятому розділі** на рисунку 5.9 наведено результати дослідження впливу концентрації наповнювача в епоксиполімерному композиті на характеристики його зношування. Характер наведених кривих свідчить про існування точки екстремуму для такої залежності. Але наведені на рисунку криві містять точку перегину при концентрації 20 %, після чого питоме зношування збільшується при концентрації 40 %, яка є наступною експериментальною точкою. На мою думку, такі результати свідчать про необхідність додаткових досліджень залежності питомого зношування епоксикомпозиту від кількості наповнювача у діапазоні її значень між 20 та 40 % з метою уточнення точок екстремуму для цієї залежності.

12. На рисунку 5.13 наведено залежність середнього коефіцієнта тертя в режимі сталого ковзання від концентрації наповнювача для швидкостей ковзання 0,5 та 1,0 м/с, які також виконані у діапазоні концентрацій від 0 до 40 %. Але характер осі абсцис на цьому рисунку не відповідає ані лінійному, ані логарифмічному, і більше схожий на вбудований в MS Excel інструмент «Графік», в якому точки на осі абсцис завжди відкладаються послідовно із однаковими графічними інтервалами незалежно від того, яким саме значенням досліджуваної характеристики вони відповідають. Таке відображення експериментальних даних не є коректним та заважає аналізувати отримані результати.

13. У **тексті дисертації та автореферату** в цілому в незначній кількості зустрічається написання одиниць вимірювання без пробілу після значення величини (наприклад, «0,0005г» на сторінці 79 дисертації) та перенесення одиниці вимірювання на наступний рядок (наприклад, «1150 /перенос рядку/ °С» на сторінці 12 автореферату). Також зустрічаються інші незначні стилістичні помилки.

14. Також на більшості наведених у дисертації та авторефераті ілюстративних матеріалів, які відображають встановлені експериментальні залежності, відсутні графічні позначення довірчого інтервалу для експериментальних точок (планки похибки). Інформація про величину похибки для різних експериментальних методів досліджень наведена у відповідних підрозділах розділу 2, але наявність її візуалізації значно допомогла б при інтерпретації наведених результатів. Зокрема, із планками похибок було б очевидно, що згідно рис. 5.4 у діапазоні $q_{\text{мас}}$ від 5 до 20 % залишкові напруження для композиту із дисперсним наповнювачем системи 65TiH₂ – 30FeSi – 5C практично не змінюються, тоді як на графіку у цьому діапазоні спостерігаються перегини.

Для більш коректного відображення результатів експериментальних досліджень також варто було б використати інструменти статистичної обробки та візуалізації результатів досліджень – зокрема, побудову ліній тренду із зазначеними довірчими інтервалами замість використання доступних в MS Excel та інших табличних редакторах за замовчуванням ліній, які просто поєднують між собою поліноміальними сплайнами або навіть відрізками прямих окремі точки графіку, не враховуючі загальні тенденції та статистичні показники.

Заклучна оцінка дисертаційної роботи

Зазначені вище зауваження та побажання не знижують наукового рівня дисертаційної роботи та її практичного значення, а також не стосуються кваліфікаційних ознак.

Дисертація Барановської Оксани Валеріївни «Особливості структуроутворення та властивості спечених металоматричних композитів та епоксиполімерів з дисперсним наповнювачем на основі системи Ti-Fe-Si-Mn-C(B)» є завершеною науковою працею, яка характеризується внутрішньою цілісністю. У ній отримано науково обґрунтовані результати, які вирішують актуальну науково-технічну задачу розробки нових титаноматричних та металополімерних композитів різних компонентних груп функціонального призначення на основі результатів дослідження процесів фазо- та структуроутворення, а також впливу технологічних режимів виготовлення на основні фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалів. Наукова

новизна отриманих результатів та можливість їх широкого практичного застосування дозволяє констатувати, що автор вносить вагомий внесок у розвиток сучасного матеріалознавства металоматричних композитів та епоксиполімерних дисперснонаповнених композитів.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, обсягом наведених експериментальних досліджень, оформленням і представленням викладених результатів та обсягом публікацій представлена робота повністю відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації Міністерства освіти і науки України щодо кандидатських дисертацій. Наведені у дисертації результати достатньо апробовані згідно вимог, наведених у наказі Міністерства освіти і науки України від 17 жовтня 2012 року № 112 (зі змінами) «Про опублікування результатів дисертації на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

Автореферат дисертаційної роботи вірно відображає наведені у ній основні положення. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – Матеріалознавство та вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, зокрема пунктам 9, 11 і 12, а її автор Барановська Оксана Валеріївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент:

Кандидат технічних наук (за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство),
старший науковий співробітник
наукового відділу імпульсної обробки
дисперсних систем
Інституту імпульсних процесів
і технологій НАН України

Андрій ТОРПАКОВ

Підпис к.т.н. Торпакова А.С. засвідчує
Вчений секретар ІПТ НАН України
к.т.н.



Лариса ОВЧИННИКОВА