

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)”, представленої до захисту на  
здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

Актуальність теми дисертації.

Важливою науковою і прикладною проблемою, яка потребує вирішення, є підвищення ефективності виготовлення сучасної техніки, її функціональних і експлуатаційних характеристик. Світові тенденції у створенні виробів ракетно-космічної і авіаційної галузей, машинобудування полягають у широкому використанні матеріалів, створених на нових засадах, наприклад композиційних матеріалів, обсяг яких у конструкції виробів постійно зростає, а також енергозберігаючих та ресурсозберігаючих методів виробництва. Перспективними напрямками забезпечення високого рівня характеристик вузлів і агрегатів і виробів в цілому є застосування інноваційних композиційних матеріалів з металевими матрицями зі сплавів легких металів і полімерними матрицями з металевими наповнювачами, які мають унікальне поєднання властивостей – високі питомі міцність, в'язкість руйнування, електро- та теплопровідність, зносостійкість. Незважаючи на велику кількість запропонованих металоматричних, в першу чергу, титаноматричних композитів, дисперсноармованих полімерних композиційних матеріалів і очевидні переваги їх використання обмежується через невирішені проблеми недостатнього рівня пластичних властивостей матеріалів, високої вартості виробництва, що зумовлено застосуванням багатостадійних технологічних методів. Сучасний погляд на зазначену проблему полягає у тому, що її вирішення потребує послідовним розв'язанням низки складних задач з використання комплексного підходу, який базується на розробці матеріалів з новим або удосконаленим хімічним складом та ефективних технологій їх виготовлення. Тому дане дослідження, метою якого є створення титаноматричних та металополімерних композитів з високими і керованими характеристиками та методів їх виготовлення на основі визначених закономірностей формування структури, фізико-механічних і експлуатаційних властивостей матеріалів, є безумовно актуальним.

Оцінка змісту дисертації.

Дисертація має обсяг основної частини 212 сторінок, складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел з 220 найменування, містить 3 додатки. Дисертація має струнку загальну структуру, логічно побудована і являє собою комплексну роботу, яка містить результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також промислових випробувань і впровадження. Основний зміст роботи ретельно і вірно відображений у авторефераті.



У вступі відображено актуальність проблеми, визначено мету та задачі дослідження, наукову новизну і практичну цінність роботи, наведено відомості щодо апробації роботи та публікації за темою дисертації.

У першому розділі виконано кваліфікований аналіз сучасного стану досліджень структури і фазового складу титанових сплавів і матеріалів на їх основі. Критично проаналізовано технологічні методи отримання сплавів титана та металоматричних і дисперсно-наповнених полімерних композиційних матеріалів, а також рівень механічних і експлуатаційних властивостей і можливість керувати ними. В результаті визначено не тільки досягнуті успіхи, але і існуючі протиріччя даних різних дослідників, обґрунтовано напрямки і вірно визначено задачі даного дисертаційного дослідження.

Базуючись на висновках першого розділу роботи у другому розділі здійснено вибір основних компонентів сплавів, що досліджуються. Обговорюється комплекс експериментальних методів, які використовуються в роботі для дослідження структури, фазового складу і властивостей отриманих композитів. Використовуються методи оптичної і електронної мікроскопії, рентгенофазового і рентгеноструктурного, мікрорентгеноспектрального, дюрOMETричного і мікродюрOMETричного аналізів, визначення технологічних властивостей порошків, фізико-механічних, триботехнічних властивостей матеріалів. Також обґрунтовано технологічні схеми отримання лігатури і титаноматричного матеріалу, які використовувались у роботі.

У наступному розділі наведені результати досліджень закономірностей формування структури і фазового складу титаноматричних композиційних матеріалів, отриманих методом спікання вихідних порошкових сумішей. Показано, що використання феросплавів як легируючої добавки супроводжується їх активною взаємодією з гідридом титану та дисоціацією лігатури з утворенням складної гетерофазної системи. Доведено, що при отриманні лігатур з порошкових сумішей різного складу процес термічного синтезу проходить в присутності рідкої фаз, що сприяє інтенсифікації дифузійних процесів та утворенню нових фаз. Результати досліджень впливу середовища, у якому здійснюється синтез лігатури в системах  $TiH_2-Mn-Si-Fe-C(B)$ , дозволили зробити висновок про безумовну перевагу синтезу в вакуумі у порівнянні з синтезом у аргоні, що проявляється у збільшенні щільності отриманого матеріалу, утворенні зміцнюючих фаз. Отримано цікавий результат, що введення карбіду бору призводить до формування дрібнодисперсної структури (при вмісті  $B_4C$  5% розмір зерен становить від 0,5 до 5 мкм.), активує процеси ущільнення матеріалів та сприяє утворенню стабільної карбідної та боридної фаз, а для сплавів з вмістом  $B_4C$  2, 4 та 5 % (мас.) характерні високі значення твердості (максимальна твердість при 2%), що дозволяє їх ефективно використовувати як триботехнічних матеріалів з підвищеним опором зносу.

Четвертий розділ дисертації присвячений обговоренню результатів досліджень фізичних, механічних і триботехнічних властивостей титаноматричних композитів, що є логічним продовженням попереднього розділу. Особливу увагу приділено впливу компонентного складу на такі характеристики, як границя міцності на згин, умовна границя плинності при стисненні твердість та тріщиностійкість. Визначені властивості композиційних матеріалів різного складу, отриманих при різних температурах спікання. Хоча поясненню отриманих



закономірностей, на мою думку, слід було приділити більше уваги. Важливим результатом, отриманим автором і таким, що свідчить про її високу кваліфікацію як вченого, вважаю визначення зміни властивостей матеріалів при підвищених температурах, випробування проведені при температурах від кімнатної до 750<sup>0</sup>С. Являють інтерес результати досліджень зносостійкості композиційного металоматричного матеріалу. Показано, що основним механізмом зносу при швидкості ковзання 2 м/с є адгезійний знос, характерний для титанових сплавів, при підвищенні швидкості тертя до 4 м/с механізм зносу змінюється на адгезійно-абразивний, а при подальшому збільшенні швидкості до 6 м/с на поверхні тертя утворюється захисна плівка і характер зносу змінюється на окисний механізм. Слід особливо зазначити, що виявлені взаємозв'язки між структурними параметрами та фізико-механічними властивостями є важливим етапом у розробці нових композиційних матеріалів з прогнозованими і керованими характеристиками. На основі отриманих наукових результатів розроблено технологічну схему і режими виготовлення конкретного виробу – седел клапанів насосів, - які апробовані у виробничих умовах і доведена висока ефективність розробки, про що свідчить наведений Акт використання.

Дослідження, результати яких наведені у заключному розділі, спрямовані на визначення закономірностей формування структури і властивостей дисперсно-наповнених полімерних композиційних матеріалів, у яких у якості зміцнювальної фази використані порошки титаноматричних композитів різного складу -  $TiH_2-FeSiMn-B_4C$ ,  $TiH_2-FeSi-B_4C$  та  $TiH_2-FeSi-C$ . Результати дослідження адгезійної міцності у полімерному композиті довели, що найбільш високі її значення характерні для матеріалу з 20 % (мас.) наповнювача, синтезованого із суміші  $TiH_2-FeSi-B_4C$ . Різке зниження рівня адгезійної міцності встановлено при вмісті 10 % (мас.) для наповнювача системи  $TiH_2-FeSi-C$ , а також при 40 % (мас.) для обох складів наповнювачів з бором. Максимальні значення міцності і ударної в'язкості характерні для композитів, армованих наповнювачами, синтезованими з порошкових сумішей, що містять карбід бору. Визначено залежності зносостійкості отриманих матеріалів від їх складу. Важливим вважаю те, що автор розглянула і обґрунтувала перспективні сфери застосування розроблених композиційних матеріалів.

#### Наукова новизна результатів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень і, безумовно, мають наукову новизну, слід зазначити наступне.

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. Доведено утворення складної гетерофазної системи, переважаючими фазами якої є карбід титану  $TiC$ , борид титану  $TiB$ , силіцид  $Ti_5Si_3$  та інтерметалід типу  $Ti_x(Mn,Fe,Si)_y$ , при дисоціації вихідної лігатурної складової в результаті взаємодії гідриду титану з феросплавом, який є компонентом шихти.

Встановлено закономірності фазо- та структуроутворення спечених титаноматричних композитів і вплив вмісту термічно синтезованої



мультикомпонентної лігатури системи Ti-Fe-Si-Mn-C(B) та технологічних режимів виготовлення на структуру і основні механічні властивості.

Визначено вплив дисперсних наповнювачів з мультикомпонентних титаноматричних композитів на властивості композиційних матеріалів з термореактивною матрицею. Доведено, що при введенні в епоксидну матрицю 10...20% (мас.) композиційних дисперсних наповнювачів міцність на вигин підвищується до 1,8 разів, а ударна в'язкість — до 2,5 разів. Максимальні значення міцності і ударної в'язкості досягаються 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- $B_4C$ .

Доведено, що введення термічно синтезованого дисперсного наповнювача до складу термореактивної полімерної матриці та збільшення його концентрації призводить до зменшення коефіцієнта тертя на стадії сталого ковзання та суттєвого зменшення інтенсивності зношування у порівнянні із ненаповненим полімером.

Новизна результатів вірно відображена у висновках дисертації.

#### Практична цінність результатів дисертації.

Результати дисертаційного дослідження є важливими і у прикладному плані.

На основі отриманих наукових результатів розроблено склади, та технологічну схему і режими отримання титаноматричних композиційних матеріалів, що вміщують лігатуру на основі системи  $65TiH_2$ -30ФСМ-5 $B_4C$ , які мають високі механічні і експлуатаційні властивості в широкому діапазоні температур.

Доведено ефективність використання багатокомпонентних титаноматричних лігатур в якості дисперсного наповнювача епоксиполімерних композитів, що забезпечує високі фізико-механічні та триботехнічні характеристики, а також обґрунтовано сфери застосування розроблених композиційних матеріалів.

Розроблений титаноматричний композиційний матеріал апробований у промислових умовах у ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор» та прийнятий до серійного виробництва седел клапанів насосів НМШ 5/25-2,5/6, призначених для перекачування високов'язких середовищ при підвищених температурах, що зазначено у Акті використання результатів дисертаційної роботи від 21.01.2025 .

Основні наукові результати використовуються у навчальному процесі Херсонської державної морської академії при підготовці аспірантів за спеціальністю 132 Матеріалознавство (Акт від 20.01.2025).

#### Достовірність та обґрунтованість результатів.

Використання комплексу сучасних та взаємодоповнюючих методів вивчення структури й властивостей матеріалів, дослідження технологічних методів і режимів забезпечують високу достовірність отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, розвинуті у дисертації, добре обґрунтовані, базуються на глибокому аналізі явищ та процесів, що досліджуються, проведеному на сучасному рівні комплексі експериментальних досліджень та практичною реалізацією результатів роботи. Висновки, що сформульовані в роботі,



не суперечать класичним уявленням щодо формування структури та властивостей композиційних матеріалів.

#### Зауваження до дисертації.

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів доцільно зробити деякі зауваження і побажання:

- автор при обговоренні результатів досліджень багато разів використовує термін «оптимально»: «обрано оптимальні склади та технологію отримання титаноматричних композиційних матеріалів», (стор. 21, п.2); «Температура 1250<sup>0</sup>С є оптимальною для синтезу лігатур в системах TiH<sub>2</sub>-Mn-Si-Fe-C(B)» (висновки до розділу 3, п. 3); «оптимальний вміст для формування адгезійного шару покриття становить 10% (мас.) для наповнювачів TiH<sub>2</sub>-FeSiMn-B<sub>4</sub>C та TiH<sub>2</sub>-FeSiB<sub>4</sub>C або 5% (мас.) для наповнювача TiH<sub>2</sub>-FeSi-C» (стор.220). Але рішення задачі оптимізації з зазначенням значущих параметрів та функції відгуку в дисертації відсутнє;

- відсутній аналіз експериментально встановленої зміни поруватості матеріалу лігатури при зміні кількості введеного карбиду бору (рис. 3.19), хоча цей результат, на мою думку, є важливим;

- потребує більш ґрунтовного аналізу визначені залежності міцнісних властивостей титаноматричного композиційного матеріалу від вмісту лігатури та температури спікання. Наприклад, міцність на згин при вмісті лігатури 10 та 30% зменшується при підвищенні температури спікання від 1100 до 1150 та 1200<sup>0</sup>С, а при 1250<sup>0</sup>С знову зростає. Чому? Якщо вміст лігатури становить 20%, то міцність на згин зменшується із підвищенням температури від 1100 до 1250<sup>0</sup>С;

- також потребує пояснення встановлена суттєва різниця у характері зміни границі міцності при зміні температур спікання матеріалів з різною кількістю лігатури;

- при проведенні термічного аналізу (розділ 3) бажано було б визначити енергії перетворень при нагріванні, що дозволило б отримати нові результати і прикрасити роботу;

- у деяких реченнях є невдалі формулювання. Наприклад, «особливий інтерес представляє використання композиційних порошків, що містять як металеву, так і тверду фази для армування ЕПК» (стор. 61); «вміст лігатури значно впливає на зміцнення матеріалу, особливо на його пластичність» (стор. 149).

Але зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і рекомендацій дисертації, не знижують наукової та практичної цінності виконаної роботи.

#### Повнота викладу результатів у публікаціях.

Основні положення дисертації опубліковані у 13 статтях в українських та зарубіжних журналах, з них 5 у журналах, що індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, новизна технічних рішень підтверджена 2 патентами України на корисну модель. На підставі аналізу опублікованих автором робіт, а також доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях можна з упевненістю сказати, що матеріали дисертації достатньо повно висвітлені у статтях та доповідях, пройшли широку апробацію.



Автореферат відповідає змісту дисертації, його написано у відповідності до існуючих нормативних вимог.

Загальний висновок.


Проведений аналіз змісту і основних положень дисертації О.В.Барановської дозволяє стверджувати, що робота являє собою завершене дослідження, в ній отримані нові і достовірні результати, які ефективно вирішують наукову і прикладну задачу створення матеріалів для важких умов експлуатації, що мають високі властивості і конкурентоздатність. Наукові і прикладні результати вказують на можливі шляхи і перспективи розвитку композиційних матеріалів з металевими і полімерними матрицями, тому необхідне їх подальше використання і розвиток у рамках державних і галузевих наукових та прикладних програм.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство, тому що вона присвячена встановленню закономірностей зв'язку між показниками різних властивостей матеріалів, а саме композитів з металевою і полімерною матрицями, а також пошуку принципів і шляхів створення нових прогресивних матеріалів.

Враховуючи викладене, вважаю, що дана дисертація є завершеною науковою працею, за своїм обсягом, кількістю та якістю публікацій, науковою та практичною значимістю повністю відповідає існуючим вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 (зі змінами) до кандидатських дисертацій, має бути оцінена позитивно, а її автор, Барановська Оксана Валеріївна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
декан фізико-технічного факультету  
Дніпровського національного  
університету імені Олеся Гончара

 Анатолій САНІН

Підпис проф. Саніна А.Ф. засвідчую.  
Проректор з наукової роботи  
ДНУ, к.б.н., доцент



Олег МАРЕНКОВ