

ВИСНОВОК

комісії спеціалізованої Вченої ради Д 26.207.03 про відповідність спеціальності профілю ради дисертаційної роботи **Барановської Оксани Валеріївни «Особливості структуроутворення та властивості спечених металоматричних композитів та епоксиполімерів з дисперсним наповнювачем на основі системи Ti-Fe-Si-Mn-C(B)»**, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство».

Комісія у складі членів спецради чл.-кор. НАНУ, д.т.н. **М.Б. Штерна**, д.т.н. доц. **М.С. Стороженко** та д.т.н. проф. **О.П. Уманського**, розглянувши 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)»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство», прийшла до наступного висновку:

1. Актуальність теми.

Полягає у необхідності розроблення та дослідження нових високопродуктивних технологічних процесів виготовлення виробів з композиційних порошкових матеріалів. Стрімкий розвиток техніки, особливо в авіакосмічній, автомобільній та медичній галузях, висувають дедалі вищі вимоги до матеріалів: висока міцність, низька щільність, стійкість до агресивних середовищ та екстремальних температур. Тому останніми роками спостерігається активний пошук нових рішень для оптимізації властивостей титанових сплавів. Одним із таких напрямків є армування титанових сплавів. З метою підвищення стійкості та економічної ефективності, сучасні дослідження зосереджено на зміцненні титанових сплавів за допомогою широко доступних елементів, таких як кремній, алюміній, залізо та марганець.

Композиційні матеріали на основі полімерів 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. Однак, зростаючі вимоги сучасної промисловості до полімерів не повною мірою задовольняються внаслідок недостатнього рівня їх триботехнічних та міцнісних характеристик. Одним із ефективних підходів до покращення механічних та функціональних властивостей полімерних композитів на основі епоксидних сполук є використання різноманітних наповнювачів (металів, кераміки та волокон), які мають різний хімічний склад, морфологію та дисперсність.

2. Наукова новизна роботи відображена наступними основними положеннями:

1. 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.

2. 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 гідридним титаном, 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 $Ti_x(Mn,Fe,Si)_y$.

3. Вперше встановлено вплив вмісту термічно синтезованої 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 % 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 % 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 $1,1 \cdot 10^{-5}$ сек⁻¹.

4. 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 .

5. За результатами триботехнічних досліджень **дістало 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.

3. Практичне значення отриманих результатів.

1. Показано та обґрунтовано технічну та економічну 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 $65TiH_2$ -30ФСМ-5 B_4C з високим рівнем механічних властивостей при високотемпературних випробуваннях. Показано, що титаноматричні композити, які в своєму складі вміщують 20 та 30% лігатури при температурі випробування 600°C 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. Вірогідність і обґрунтованість результатів, положень та висновків забезпечується використанням сучасних експериментальних та аналітичних методів досліджень, зокрема оптичної та скануючої електронної мікроскопії, рентгенівської дифракції, а також методик визначення зносостійкості, твердості та міцності матеріалів. Використання достатньої кількості зразків дозволило досягти розрахункових характеристик із вірогідністю 0,95. Узгодженість експериментальних даних і відповідність висновків позитивним результатам випробувань додатково підтверджують надійність отриманих результатів. За результатами роботи, виконаної в ПІМ ім. І.М. Францевича НАН України, було розроблено технологічну інструкцію та технологічні вимоги щодо отримання лігатури системи TiH_2 -ФСМ- B_4C методом термічного синтезу.

5. Особистий внесок здобувача.

Основні результати експериментальної роботи були отримані здобувачем особисто та за його безпосередньої участі. Автором проведено аналіз літературних джерел, розроблено методики проведення експерименту, проведено обробку результатів та їх узагальнення, підготовлені наукові статті та доповіді для міжнародних конференцій. Автором роботи було виготовлено всі досліджувані зразки, проведено металографічні дослідження, механічні випробування. Автором разом з науковим керівником визначено мету, сформульовано задачі дослідження, проведено аналіз та інтерпретацію науково-експериментальних результатів. За результатами усіх етапів роботи здобувачем сформульовано основні висновки, положення та рекомендації дисертаційної роботи.

6. Матеріали дисертації повною мірою викладено в 22 науковій праці, зокрема 13 статей у фахових вітчизняних та закордонних періодичних виданнях в галузі технічних наук, із них 5 статей у провідних наукових фахових виданнях, що входять до наукометричних баз даних

«SCOPUS», 7 публікацій за матеріалами доповідей на міжнародних конференціях та отримано 2 патенти України на корисну модель. Всі надруковані праці за темою дисертації виконані автором особисто та у співавторстві.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ, ЯКІ ВІДОБРАЖАЮТЬ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ:

Публікації у виданнях, які індексуються у міжнародних наукометричних базах даних:

1. Bagliuk G. A., **Suprun O. V. (Baranovska O. V.)**, Mamonova A. A. The Influence of Synthesis Temperature on the Phase Composition and Structure of Ternary Compounds Produced from TiH_2 -Si-C Powder Mixtures // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2019. - Vol. 58, № 1, P.1–6. <https://doi.org/10.1007/s11106-019-00040-9>. *Особистий внесок здобувача:* виконано підготовку порошкових сумішей та оптимізацію параметрів синтезу з урахуванням вибраних температурних режимів. Проведено експериментальні дослідження фазового складу та мікроструктури отриманих зразків.

2. **Baranovska O. V.**, Bykov O. I., Bagliuk G. A., Kyryliuk S. F. Influence of the Mechanical Activation of Charge on the Structure and Phase Composition of Sintered Multicomponent Composites Based on Titanium // Materials Science. – 2021. – Vol. 57, № 2. – P. 201-208. <https://doi.org/10.1007/s11003-021-00532-3>. *Особистий внесок здобувача:* виконано підготовку порошкових матеріалів, розроблено експериментальні методики та проведено дослідження фазового складу і структури спечених зразків. Здійснено аналіз отриманих експериментальних результатів та їх інтерпретацію.

3. Bagliuk G. A., **Baranovska O. V.**, Buketov A. V., Saponov O. O., Smetankin S. O., Bykov O. M. and Baranovskyi D. I. Physicomechanical properties and structure of multicomponent titanium-matrix-base alloy dispersion epoxy composites // Strength of Materials. – 2023. - Vol. 55, No. 3 – P. 534-543. <https://doi.org/10.1007/s11223-023-00546-z>. *Особистий внесок здобувача:* проведено підготовку дисперсних багатокомпонентних порошків. Проведено експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей і структури отриманих композитів. Виконано аналіз та інтерпретацію отриманих результатів.

4. **Baranovska O. V.**, Bagliuk G. A., Buketov A. V., Saponov O. O., Baranovskyi D. I. The Influence of the Dispersed Filler of the Ti-Fe-Si-C System on the Physicomechanical Properties and Structure of Epoxy Composites // Materials Science. – 2024. - Vol. 59. – P. 608–615. <https://doi.org/10.1007/s11003-024-00817-3>. *Особистий внесок здобувача:* проведено підготовку дисперсних багатокомпонентних наповнювачів, аналіз результатів дослідження механічних властивостей композитів залежно від вмісту дисперсного наповнювача.

5. **Baranovska O.**, Bagliuk G., Buketov A., Saponov O., Baranovskyi D. Exploration of Titanium-Based Fine-Particle Additive Influence on Cohesive and Adhesive Strength Enhancement in Epoxy-Polymer Composites // Physics and Chemistry of Solid State. – 2024. – Vol. 25, No.3. – P. 453–460. <https://doi.org/10.15330/pcss.25.3.453-460>. *Особистий внесок здобувача:* дослідження адгезійних та когезійних властивостей композитів залежно від вмісту модифікатора і обґрунтування результатів експерименту.

Публікації у інших іноземних наукових виданнях та фахових виданнях України:

6. Bagliuk G. A., **Suprun O. V. (Baranovska O. V.)**, Mamonova A.A. The Influence of the Synthesis Temperature on Phase Composition and Structure of Ternary Compounds Obtained from the Powder Mixture of the TiH_2 -Al-C System // Physics and Chemistry of Solid State. - 2017. - Vol. 18, № 4. – p. 438-443. <https://doi.org/10.15330/pcss.18.4.443>. *Особистий внесок здобувача:* проведено підготовку вихідних порошкових складів для синтезу матеріалів, проведено дослідження впливу температури на мікроструктуру та фазового складу.

7. **Супрун О. В. (Барановська О. В.)** Особливості фазоутворення при термічному синтезі композитів типу МАХ-фаз, отриманих із порошкових сумішей на основі систем TiH_2 -Al-C та TiH_2 -Si-C / О. В. Супрун, Г. А. Баглюк // Ceramics: science and life. – 2017. - 4(37). – С. 16-24.

<https://doi.org/10.26909/csl.4.2017.3>. *Особистий внесок здобувача*: вивчення структури, хімічного, фазового складу, аналіз мікроструктури та дифрактограми, обробка результатів.

8. Г.А. Баглюк, **О. В. Супрун (Барановська О. В.)**, А.А. Мамонова. Особливості структуроутворення при термічному синтезі багатокомпонентних сполук із порошкових сумішей на основі системи $TiH_2-Fe-Si-Mn-C(B_4C)$ // «Наукові нотатки». – 2017. – №58. – С. 27–35. *Особистий внесок здобувача*: дослідження фазового складу і структури багатокомпонентних сполук синтезованих із порошкових сумішей.

9. Suprun O. (**Baranovska O. V.**), Bagliuk G., Shirokov O. Features of the phase and structure formation of multi-component compounds on the basis of $TiH_2-Fe-Si-Mn$ system with different content of B_4C // «Наукові нотатки». – 2019. – №66. – С. 344–350. *Особистий внесок здобувача*: дослідження впливу кількості B_4C на формування структури та фазового складу багатокомпонентного композиту.

10. **Baranovska O.**, Bagliuk G., Bykov O., Hrypachevsky O., Talash V., Rudenko Yu., Baranovskyi D. The Influence of Electrochemical Corrosion on the Structure and Phase Composition of a Sintered Multicomponent Titanium-Based Composite in a 3% NaCl Solution // *Machines. Technologies. Materials.* – 2023. – Vol. 17, Issue 2 – P. 90-92. *Особистий внесок здобувача*: проведено експериментальні дослідження змін структури та фазового складу композиту після впливу корозійного середовища у розчині 3% NaCl. Здійснено аналіз отриманих результатів.

11. **Baranovska O.**, Bagliuk G., Sudavtsova V., Romanova L. Thermodynamic properties of melts of binary and ternary systems containing Fe, Mn, Si or Ti // *Machines. Technologies. Materials.* – 2024. – Vol. 18, Issue 6 – P. 207-209. *Особистий внесок здобувача*: побудова графіків, аналіз отриманих результатів і їх узагальнення.

12. **Baranovska O.**, Bagliuk G., Olifan O., Korichev S., Sytnyk Ya., Ahanov A. Structural and phase transformations in titanium alloys induced by ferrosilicon alloying // *BOHR International Journal of Material Sciences and Engineering.* – 2024. - Vol. 1, No. 2, pp. 1–7. <https://doi.org/10.54646/bjmse.2024.10>. *Особистий внесок здобувача*: вивчення структури, хімічного, фазового складу, аналіз мікроструктури та дифрактограми, обробка результатів.

13. Судаццова В.С., Романова Л.О., **Барановська О.В.**, Баглюк Г.А. Термодинамічні властивості розплавів подвійних і потрійних систем, що містять Fe, Mn, Si, Ti АБО С // «Наукові нотатки». – 2024. – №78. – С. 43-50. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2024.78.6>. *Особистий внесок здобувача*: проведено моделювання термодинамічних властивостей розплавів системи $Ti-Fe-Mn-Si-C$.

Матеріали конференцій:

14. **Suprun O. V. (Baranovska O. V.)**, Baglyuk G. A., Mamonova A. A. Features of Structure Formation in $TiH_2 - FeSiMn - C/B_4C$ Titanium Matrix Composite after Thermal Synthesis // XIII International Conference «Strategy of Quality in Industry and Education» (June 5-8, 2017) Varna, Bulgaria, PP. – 157-162. *Особистий внесок здобувача*: дослідження умов отримання титаноматричних зносостійких матеріалів, вивчення температури термічного синтезу на мікроструктуру і фазовий склад композиту.

15. **Suprun O.V. (Baranovska O. V.)**, Baglyuk G.A. Features of structure formation after thermal synthesis of composite materials based on TiH_2-Si-C system // 6th International Samsonov Conference “Materials Science of Refractory Compounds” (May 22-24, 2018), Kyiv, Ukraine – P. 72. *Особистий внесок здобувача*: дослідження особливостей структуроутворення композитних матеріалів після термічного синтезу.

16. **Baranovska O.**, Bagliuk G., Talash V. Electrochemical and corrosion properties of the Multi-Component Composite of the $TiH_2-FeSiMn-B_4C$ system // 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, PP. – 37. *Особистий внесок здобувача*: проведено підготовку зразків для дослідження корозійної стійкості матеріалів у розчині 3% NaCl, побудова графіків, аналіз даних.

17. **Baranovska O.** Features of Phase Formation of a Sintered Multicomponent Composite from a Powder Mixture Based on the $TiH_2-Fe-Si-C$ System // All-Ukrainian scientific and Technical Conference «НАУКА І МЕТАЛУРГІЯ». Conference organizers: Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of

National Academy of Sciences of Ukraine, 22-24 November, Dnipro. – 2022. – P. 45. *Особистий внесок здобувача*: підготовка сумішей шихт для отримання композитів, дослідження оптимальних умов отримання композитів на основі гідриду титану, дослідження впливу температури спікання на зміну структури і фазового складу композитів.

18. Bagliuk G., **Baranovska O.**, Buketov A., Sapronov O., Bykov O. Influence of The Dispersed Filler on the Physical and Mechanical Properties of The Epoxy Composite // 8th International Materials Science Conference HighMatTech-2023 October 2-6, 2023, Kyiv, Ukraine, P. - 46. *Особистий внесок здобувача*: формування дисперсних наповнювачів, побудова графіків, виконано оцінку впливу дисперсного наповнювача на фізико-механічні властивості епоксидних композитів.

19. **Барановська О.В.**, Судацова, В.С., Баглюк Г.А. Моделювання термодинамічних властивостей розплавів системи Fe-Mn-Si // Збірник тез конференції молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкарівські читання – 2024» з міжнародною участю, Київ, 4 квітня 2024 року, Україна. – С. 29-30. *Особистий внесок здобувача*: проведено моделювання термодинамічних властивостей розплавів системи Fe-Mn-Si.

20. **Baranovska O.**, Romanova L., Sudavtsova V., Bagliuk G. Interaction Energy in the Melts of the Fe-Mn-Si-C-Ti System // IXth INTERNATIONAL SAMSONOV CONFERENCE “MATERIALS SCIENCE OF REFRACTORY COMPOUNDS” May 27-30, 2024, Kyiv, Ukraine, P. – 49. *Особистий внесок здобувача*: Виконано розрахунки енергії взаємодії в розплавах системи Fe-Mn-Si-C-Ti, побудова графіків.

Патенти:

21. Патент України на корисну модель UA 129662, C22C 33/02, C22C 14/00, C22C 38/54. Зносостійкий композиційний матеріал / **О. В. Супрун (О. В. Барановська)**, Г.А. Баглюк. - № u 2018 04189; заявл. 17.04.2018; опубл. 12.11.2018. – Бюл. № 21. *Особистий внесок здобувача*: створення зносостійкого композиційного матеріалу методом порошкової металургії, дослідження мікроструктури та фізико-механічних властивостей отриманого матеріалу.

22. Патент України на корисну модель UA 152763, C09D 4/00, C08L 63/00. Спосіб одержання наповненої епоксидної композиції з поліпшеною теплостійкістю / А. В. Букетов, А. Г. Кулініч, В. М. Гусев, Г. А. Баглюк, **О.В. Барановська**, В. Л. Алексенко, В. І. Палагній. - № u 2022 00160; заявл. 17.01.2022; опубл. 13.04.2023. – Бюл. № 15. *Особистий внесок здобувача*: дослідження впливу вмісту модифікатора на теплостійкість епоксикомпозиту.

Вважаємо, що дисертаційна робота Барановської Оксани Валеріївни «Особливості структуроутворення та властивості спечених металоматричних композитів та епоксіполімерів з дисперсним наповнювачем на основі системи Ti-Fe-Si-Mn-C(B)», подана на здобуття наукового ступеня кандидата наук, вирішує важливе науково-технічне завдання 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. Робота виконана на високому науковому рівні і відповідає спеціальності 05.02.01 – «Матеріалознавство» та профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.207.03.

Кількість та обсяг публікацій за матеріалами дисертації відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів за № 567 від 24 липня 2013 р. (із змінами) та Положення про спецраду за № 1059 від 14.09.2011 р. Матеріали дисертації достатньо повно викладено в основних опублікованих наукових працях.

У кваліфікаційній роботі не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації.

Робота може бути рекомендована до захисту на спеціалізованій вченій раді Д 26.207.03 в Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України.

Рекомендуються офіційні опоненти:

- д.т.н. (05.02.01), проф. Анатолій САНИН, декан фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара МОН України, м. Дніпро.
- к.т.н. (05.02.01), Андрій ТОРПАКОВ, ст. наук. сп. відділу імпульсної обробки дисперсних систем, Інститут імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України, м. Миколаїв.

Автореферат відповідає змісту дисертації і може бути надрукований у поданому вигляді. Рекомендований додатковий список розсилання автореферату додається.

Члени комісії:

чл.-кор. НАН України, д.т.н.



Михайло ШТЕРН

д.т.н., доц.



Марина СТОРОЖЕНКО

д.т.н., проф.



Олександр УМАНСЬКИЙ