

**Розробка технології отримання виробів із армованих керамічних композитів триботехнічного та інструментального призначення**

**Разработка технологии получения изделий из армированных керамических композитов триботехнического и инструментального назначения**

**Development of manufacturing technique of products from reinforced ceramic composites for tribotechnical and tool purpose**

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0114U001519,**
- 2. Науковий керівник -** к.т.н., доц. Богомол Ю.І., Богомол Ю.И., Bogomol Iurii I.
- 3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Розроблено технологію одержання порошків надміцних надтвердих армованих керамічних матеріалів кристалізацією розплавів евтектичних сплавів систем  $V_4C-TiB_2$ ,  $LaB_6-TiB_2$ ,  $Mo-Si-B$  в умовах зонної плавки та відцентрового розпилення. Встановлено, що зміна технологічних параметрів процесу одержання дозволяє отримувати порошки з розміром частинок 40-500 мкм, сферичної форми та вузького гранулометричного складу. Досліджені властивості одержаних порошків та показана перспективність їх використання для виготовлення керамічних та металокерамічних композитів поліфункціонального призначення та ефективного застосування в технологіях газотермічного напилення. Розроблено технологію одержання порошків з оголеними включеннями на поверхні частинок, що дозволяє в 2-3 рази збільшити міцність як об'ємних деталей, так і покриттів за рахунок армування границь зерен. Одержано композиційні керамічні та металокерамічні матеріали із порошків евтектичних сплавів. Розроблено металокерамічний композит на основі евтектичного порошку  $V_4C-TiB_2$  і титанової армованої матриці, який показав підвищені механічні і функціональні характеристики при експериментальних випробуваннях в умовах інтенсивного абразивного зносу. Завдяки армуванню у розробленому композиті спостерігається ефект самозаточування, що дозволяє значно збільшити час безперервної експлуатації ріжучих частин і, таким чином, значно підвищити продуктивність різання, що робить даний матеріал конкурентоспроможним на ринку різальних матеріалів.

**(рос.)**

Разработана технология получения порошков сверхпрочных сверхтвердых армированных керамических материалов кристаллизацией расплавов эвтектических сплавов систем  $V_4C-TiB_2$ ,  $LaB_6-TiB_2$ ,  $Mo-Si-B$  в условиях зонной плавки и центробежного распыления. Установлено, что изменение технологических параметров процесса получения позволяет получать порошки с размером частиц 40-500 мкм, сферической формы и узкого гранулометрического состава. Исследованы свойства полученных порошков и показана перспективность их использования для изготовления керамических и металлокерамических композитов полифункционального назначения и эффективного применения в технологиях газотермического напыления. Разработана технология получения порошков с оголенными включениями на поверхности частиц, которая позволяет в 2-3 раза увеличить прочность как объемных деталей, так и покрытий за счет армирования границ зерен. Получены композиционные керамические и металлокерамические материалы из порошков эвтектических сплавов. Разработан металлокерамический композит на основе эвтектического порошка  $V_4C-TiB_2$  и титановой армированной матрицы, который показал повышенные механические и функциональные характеристики при экспериментальных испытаниях в условиях интенсивного абразивного износа. Благодаря армированию в разработанном композите наблюдается эффект самозатачивания, что позволяет значительно увеличить время непрерывной эксплуатации режущих частей и, таким образом, значительно повысить производительность резки, что делает данный материал конкурентоспособным на рынке режущих материалов.

**(англ.)**

The technology of manufacturing of powder of superhard and high-strength ceramic materials by directional crystallization of eutectic alloys of  $B_4C-TiB_2$ ,  $LaB_6-TiB_2$ ,  $Mo-Si-B$  systems in conditions of zone melting and centrifugal spraying was developed. It is found that the change of the process parameters allows obtaining the powders with particle size of 40-500 microns, a spherical shape and narrow particle size distribution. The properties of the powders were investigated and it is shown the prospects of their use for the manufacture of ceramic and metal-ceramic composites of multifunctional purpose and effective use of technology in gas-thermal spraying. The technology of manufacturing of powder with naked inclusions on the particle surface was developed, which allows to increase in 2-3 times the strength of both the bulk composites and coatings due to the reinforcement of the grain boundaries. The ceramic and metal matrix composites from the eutectic powders were produced. The metal matrix composite based on eutectic  $B_4C-TiB_2$  powder and titanium-reinforced matrix, which showed improved mechanical and functional characteristics in experimental trials in heavy abrasion was developed. Due to the reinforcement in the composite the self-sharpening effect was developed and observed. It can significantly increase the time of continuous operation of cutting parts and thus significantly improve the performance of cutting, which makes the material competitive in market of cutting materials.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Патент на корисну модель № 87076 Спосіб отримання керамічних полікристалічних матеріалів на основі карбіду бору методом електророзрядного спікання. Автори: Марич М.В., Богомол Ю.І., Лобода П.І. НТУУ “КПІ”. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 27.01.2014.
- Патент на корисну модель № 99564 Спосіб отримання керамічних евтектичних порошків на основі гексабориду лантану методом відцентрового плазмового розпилення Автори: Лобода П.І., Богомол Ю.І., Білий О.І., Соловйова Т.О., Ремізов Д.О. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.06.2015.
- Патент на корисну модель № 99563 Спосіб отримання керамічних евтектичних порошків на основі карбіду бору методом відцентрового плазмового розпилення Автори: Богомол Ю.І., Лобода П.І., Білий О.І., Головенько Я.Б., Соловйова Т.О., Ремізов Д.О. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.06.2015.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Результати відповідають світовому рівню. Застосування армованих евтектичних порошків на основі надтвердих тугоплавких сполук для виготовлення керамічних композитів триботехнічного та інструментального призначення не має аналогів у світовій практиці. А завдяки армуванню матричної фази на основі титану у розроблених композитах спостерігається ефект самозаточування, що дозволяє значно збільшити час безперервної експлуатації ріжучих частин і, таким чином, значно підвищити продуктивність різання в порівнянні з традиційно застосовуваними інструментальними матеріалами.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування розроблених технологій та матеріалів дозволяє значно знизити собівартість та підвищити якість різання за рахунок:

- підвищення на 30–70 % часу безперервної експлуатації ріжучих частин завдяки ефекту самозаточування;
- підвищення на 40–70 % продуктивності різання завдяки підвищенню твердості різального інструменту;
- зниження (на 30–40 %) питомих енерговитрат на одиницю оброблюваного матеріалу;

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Розроблені армовані евтектичні порошки та керамічні і металокерамічні композити

триботехнічного та інструментального призначення можуть застосовуватись на підприємствах та в організаціях різних галузей промисловості: машинобудуванні, металургійному і гірничому комплексах, авіа і суднобудуванні, теплоенергетиці, легкій промисловості, де широко розповсюджені технології різання різного роду матеріалів і гостро стоїть проблема підвищення ефективності виробництва.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Розроблені та виготовлені експериментальні зразки ріжучого інструменту. Проведена дослідно-промислова апробація.

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

Розроблені металокерамічні композити  $(\text{B}_4\text{C}-\text{TiB}_2)-\text{Ti}-\text{TiB}_2$  були випробувані на ДП «Антонов» і показали свою перспективність для виготовлення деталей авіаційної техніки.

Також одержані в роботі металокерамічні і керамічні композити  $(\text{B}_4\text{C}-\text{TiB}_2)-\text{Ti}-\text{TiB}_2$  і  $(\text{B}_4\text{C}-\text{TiB}_2)-\text{B}_4\text{C}$  рекомендовані до застосування при розробці матеріалів для корпусу камери рідинного апогейного двигуна РД840. Підписаний відповідний госпдоговір № 380-15 «Розробка матеріалів для корпусу камери рідинного апогейного двигуна РД840» з Державним Підприємством «Конструкторське бюро «Південне» імені М.К.Янгеля», м. Дніпропетровськ.

**10. Форма участі інвестора** (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті %, частка від прибутку %, інше)

**11. Обсяг інвестицій** (необхідна для результатів проекту сума інвестицій у доларах США).

**12. Мета інвестицій** (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).

Створення нового підприємства, або модернізація виробництва на базі існуючого.

**13. Назва організації, телефон, E-mail**

НТУУ «КПІ», інженерно-фізичний факультет, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії,

Тел. (044) 406-82-15, [decan@iff.kpi.ua](mailto:decan@iff.kpi.ua), [ubohomol@iff.kpi.ua](mailto:ubohomol@iff.kpi.ua)

#### **14. Фото розробки**



а



б

Ріжуча пластина у тримачі (а) та під час роботи (б)

#### **15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки**

##### **Статті:**

1. I. Bogomol, H. Borodianska, T. Zhao, T. Nishimura, Y. Sakka, P. Loboda, O. Vasylyk Dense and tough  $(\text{B}_4\text{C}-\text{TiB}_2)-\text{B}_4\text{C}$  'composite within a composite' by spark plasma sintering Scripta Materialia, Scripta Materialia 71 (2014) 17–20.

2. G. Hasemann, I. Bogomol, D. Schliephake, P.I. Loboda, M. Krüger Microstructure and creep properties of a near-eutectic directionally solidified multiphase Mo-Si-B alloy, *Intermetallics*, Vol. 48, 2014, 28-33.
3. G. Hasemann, I. Bogomol, D. Schliephake, P.I. Loboda, M. Krüger Mikrostruktur und Kriechverhalten einer nah-eutektischen gerichtet erstarrten Mo-Si-B-Legierung / 15. Sommerkurs Werkstoffe und Fügen am Institut für Werkstoff- und Fügetechnik "REM-Aufnahme einer Pore in einer Molybdän-Basislegierung. Zur erkennen sind Molybdän-Dendriten und plattenartige intermetallische Phasen" ISBN 978-3-940961-85-3, Magdeburg, 12. und 13. September 2014, P. 127-134.
4. V. Bolbut, G. Hasemann, I. Bogomol, P. Loboda, M. Krüger Mikrostruktur und Oxidationsbeständigkeit der Legierung Mo-8,7Si-17,4B / 15. Sommerkurs Werkstoffe und Fügen am Institut für Werkstoff- und Fügetechnik "REM-Aufnahme einer Pore in einer Molybdän-Basislegierung. Zur erkennen sind Molybdän-Dendriten und plattenartige intermetallische Phasen" ISBN 978-3-940961-85-3, Magdeburg, 12. und 13. September 2014, P. 135-142.
5. Богомол Ю.І., Лобода П.І., Головенько Я.Б. Структура та властивості квазіпотрійних спрямовано армованих композитів системи  $V_4C-TiB_2-SiC$  // *Металознавство та обробка металів*. – № 2. – 2015. – С. 37-42.
6. Лобода П.І., Богомол Ю.І., Білий О.І. Структура та властивості розпилених порошків евтектичного сплаву  $V_4C-TiB_2$  // *Металознавство та обробка металів*. – № 3. – 2015.
7. Соловійова Т.О., Лобода П.І., Богомол Ю.І. Ремізов Д.О., Білий О.І. Вплив кінетичних параметрів процесу кристалізації на структуру та властивості евтектичного сплаву системи  $LaB_6-TiB_2$  // *Надтверді матеріали*. - №6. – 2015.
8. Степанчук А. Н. Закономерности получения материалов и толстослойных покрытий на основе композиций твердые тугоплавкие соединения – самофлюсующийся сплав / А. Н. Степанчук, М. Б. Шевчук, А. А. Демиденко // *Цветные металлы*. – 2014. – №1. – С 63–68. (Входить до наукометричної бази даних Scopus.)
9. Акимов Г.Я. Влияние ХИП на формирование свойств эвтектических композиционных порошков  $LaB_6-TiB_2$  / Г.Я. Акимов, Т.А. Соловьева, П.И. Лобода [и др.] // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2015. – С. 11 – 15.
10. В.І. Мазур, П.І.Лобода Локальні фазові рівноваги та мікроскопічна кінетика екстектичного перетворення в бінарних сплавах. – *Металознавство та обробка металів*, №4, 2014, С. 18-24.
11. Є. Г. Биба, П. І. Лобода. Вплив технологічних параметрів на формування структури та властивостей композиту  $Ti-TiB-TiC$ // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. – 2014. –№2. – С.137-140.
12. Є. Г. Биба, П. І. Лобода. Формування структури та властивостей титан-матричного композиту  $Ti-TiB$  в залежності від методу спікання// *Металознавство та обробка металів*. – 2014. –№4. – С. 37-42.

#### **Тези:**

1. Богомол Ю.И., Головенько Я.Б. Структура и свойства направленно закристаллизованного эвтектического сплава  $V_4C-TiB_2$ , легированного лантаном / Международная конференция «Порошковая металлургия: современное состояние и будущее» ПМ 2014, 22-25 апреля 2014, Киев, Украина.
2. Соловьева Т.А., Лобода П.И., Богомол Ю.И. Определение тепловых характеристик монокристалла  $LaB_6$  и композита  $LaB_6 - TiB_2$  / Тезисы докладов 4-й международной Самсоновской конференции "Материаловедение тугоплавких соединений", 21 - 23 мая 2014 г., Киев, Украина, С. 23.
3. Болбут В.В., Богомол Ю.И., Лобода П.И., Хасеманн Г., Крюгер М. Влияние скорости кристаллизации на микроструктуру и механические свойства направленно закристаллизованного сплава  $Mo-17,5Si-8B$  / Тезисы докладов 4-й международной

- Самсоновской конференции “Материаловедение тугоплавких соединений”, 21 - 23 мая 2014 г., Киев, Украина, С. 32.
4. Богомол Ю.И., Лобода П.И., Бородинская А.Ю., Сакка Й., Василькив О.О. Спеченные эвтектические композиты на основе карбида бора / Тезисы докладов 4-й международной Самсоновской конференции “Материаловедение тугоплавких соединений”, 21 - 23 мая 2014 г., Киев, Украина, С. 40.
  5. Болбут В.В., Богомол Ю.И., Лобода П.И., Хасеманн Г., Крюгер М. Стойкость против окисления и ползучести направленно закристаллизованного сплава Mo-8,7Si-17,4B / Труды 4-й международной Самсоновской конференции “Материаловедение тугоплавких соединений”, 21 - 23 мая 2014 г., Киев, Украина, С. 152.
  6. Мельник М.В., Кобылинский Ю.В., Богомол Ю.И., Лобода П.И. Износостойкость армированных керамических материалов систем  $V_4C-MeB_2$  / Труды 4-й международной Самсоновской конференции “Материаловедение тугоплавких соединений”, 21 - 23 мая 2014 г., Киев, Украина, С. 89.
  7. Головенько Я. Б., Богомол Ю. И., Сисоев М. О., Лобода П. И. Структура та властивості евтектичного сплаву  $V_4C-TiB_2$  легованого лантаном // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра [Електрон. ресурс]: матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 21 квітня 2015 р. / [редкол.: В. С. Богушевський (відпов. ред.) та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 263-279.
  8. Holovenko Y. V. Microstructure analysis of  $V_4C - TiB_2$  eutectic alloy doped with lanthanum / Y. V. Holovenko, I. I. Bogomol // Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів: матеріали восьмої міжн. конф. студентів та аспірантів, Київ, 23-24 квітня 2015р. – К.: НТУУ "КПІ", 2015. – С. 24.
  9. Головенько Я.Б. Механічні властивості спрямовано закристалізованого евтектичного сплаву  $V_4C - TiB_2$  легованого лантаном [Електрон. ресурс] / Я. Б. Головенько, Ю. І. Богомол // Сьома міжнародна науково-технічна конференція "Нові матеріали і технології в машинобудуванні", 21-22 травня 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015.
  10. Богомол Ю.И., Лобода П.И., Головенько Я.Б. Получение, структура и свойства направленно закристаллизованных композитов системы  $V_4C-TiB_2-SiC$  // Тезисы докладов 5-й международной конференции «HighMatTech», 5 – 8 октября 2015 г., Киев, Украина, С. 157.
  11. Богомол Ю.И., Лобода П.И., Головенько Я.Б., Билый А.И. Получение, структура и свойства распыленных порошков эвтектического сплава  $V_4C-TiB_2$  // Тезисы докладов 5-й международной конференции «HighMatTech», 5 – 8 октября 2015 г., Киев, Украина, С. 163.
  12. Лобода П.И., Сысоев М.А., Губай И.О., Терещенко А.С. Микроструктура и свойства композиционного материала системы  $TiAl-V_4C$  // Тезисы 5-й международной конференции «HighMatTech», 5-8 октября 2015г., Киев, Украина, с.195.
  13. M. Marych, I. Bogomol, P. Loboda, G. Bagliuk, N. Borodianska, O. Vasykiv Features of the structure and properties of ceramic composite  $V_4C$ -eutectic alloy ( $V_4C-TiB_2$ ) system // 11<sup>th</sup> Conference for Young Scientists in Ceramics, SM-2015 Novi Sad, Serbia, October 21-24, 2015.
  14. Лобода П.И., Быба Е.Г., Степанова И.И. Влияние количества добавки В на формирование структуры и свойств композита  $Ti-TiB$  при электронно-лучевом спекании // Труды Международной конференции «Порошковая металлургия: современное состояние и будущее», 22-25 апреля 2014 г., Киев, Украина. – С. 73.
  15. Биба Е.Г., Лобода П.И., Сухарчук Д.О. структура та властивості композиту  $Ti-TiB-TiC$ , отриманого свс системи  $TiH_2 - V_4C$  // Праці 5-ої Міжнародної наукової-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування», 2014 р., 01-03 жовтня, м. Херсон.
  16. Головенько Я. Б., Богомол Ю. И., Сисоев М. О., Лобода П. И. Структура та властивості евтектичного сплаву  $V_4C-TiB_2$  легованого лантаном // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра [Електрон. ресурс]: матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної

конференції, Київ, 21 квітня 2015 р. / [редкол.: В. С. Богушевський (відпов. ред.) та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 263-279.

17. Терещенко О.С., Сисоєв М.О. Металокерамічні покриття отримані алюмотермічною наплавкою // Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів [Електрон. ресурс]: матеріали VIII міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Збірка тез доповідей. 23 – 24 квітня 2015 р., Київ, Україна. – К. – С. 111.

#### **Захищені дисертації:**

1. Сисоєв М.О. Зносостійкі металокерамічні покриття отримані методом припікання з електронно-променевим нагрівом. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06. – Порошкова металургія та композиційні матеріали. Національний технічний університет України «Київський політехнічний», м. Київ, 2014р.

2. Шевчук М.Б. Закономірності формування структури та експлуатаційних властивостей зносостійких композиційних матеріалів з карбідів перехідних металів та самофлюсівних сплавів. – На правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – Порошкова металургія та композиційні матеріали. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2015.

#### **16. Ключові слова до розробки**

ЕВТЕКТИЧНІ ПОРОШКИ, АРМОВАНІ МЕТАЛОКЕРАМІЧНІ КОМПОЗИТИ, АРМОВАНІ КЕРАМІЧНІ КОМПОЗИТИ, РІЖУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ, РІЖУЧІ ПЛАСТИНИ.