

## **Створення фізичних основ керування технологічними процесами виготовлення армованих жароміцних металокерамічних матеріалів поліфункціонального застосування**

**Создание физических основ управления технологическими процессами изготовления армированных жаропрочных металлокерамических материалов полифункционального применения**

**Creation of physical bases of operating of technological processes of manufacturing of reinforced heatproof cermet materials of polyfunctional setting**

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0113U002475, № реєстрації в університеті 2606-ф**
- 2. Науковий керівник -** член-кор. НАНУ, д.т.н., проф. Лобода П.І., Лобода П.И., Loboda Petro I.

### **3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Створено фізичні основи керування процесами виготовлення зносостійких високотемпературних металокерамічних та керамічних матеріалів зміцнених монокристалічними волокнами із надтвердих тугоплавких сполук під час швидкісного спікання, спрямованої кристалізації розплавів евтектичних сплавів квазібінарних систем ( $\text{LaB}_6\text{-MeB}_2$ ,  $\text{W}_4\text{C-MeB}_2$ ,  $\text{WC-W}_2\text{C}$ ,  $\text{Ti-TiB}_2$ ) та наступної термообробки.

Встановлено механізми зародження, росту із розплавів та формування волокнистої мікроструктури кристалів евтектичних квазібінарних сплавів. Вперше доведено, що термодинамічний фактор, поверхнева енергія грані кристалу матричної фази, переважно визначає кількість зародків, кількість і розміри волокон при швидкостях кристалізації менших за 5 мм/хв., тоді як кінетичний - швидкість росту, збільшує кількість та зменшує діаметр волокнистої складової у всьому дослідженому інтервалі. Встановлено, що зміна швидкості охолодження розплаву евтектичного сплаву від  $10^2$  до  $10^6$  град./с змінює швидкість кристалізації на три порядки і зменшує діаметр волокон на порядок. Створено новий клас армованих металокерамічних матеріалів, здатних працювати в умовах високих, більше 1400 °С, температур та динамічних навантажень, інтенсивного абразивного зношування (деталі устаткування надглибоких до 13 км свердловин), високих тисків та швидкостей ковзання (10 000 об/хв.), як сплави для металообробного інструменту та броні з найвищими питомими характеристиками міцності та твердості.

**(рос.)**

Созданы физические основы управления процессами изготовления износостойких высокотемпературных металлокерамических и керамических материалов усиленных монокристаллическими волокнами из сверхтвердых тугоплавких соединений при скоростном спекании, направленной кристаллизации расплавов евтектических сплавов квазибинарных систем ( $\text{LaB}_6\text{-MeB}_2$ ,  $\text{W}_4\text{C-MeB}_2$ ,  $\text{WC-W}_2\text{C}$ ,  $\text{Ti-TiB}_2$ ) и последующей термообработки.

Установлены механизмы зарождения, роста с расплавов и формирования волокнистой микроструктуры кристаллов евтектических квазибинарных сплавов. Впервые доказано, что термодинамический фактор, поверхностная энергия грани кристалла матричной фазы, преимущественно определяет количество зародышей, количество и размеры волокон при скоростях кристаллизации меньших 5 мм/мин. Тогда как кинетический - скорость роста, увеличивает количество и уменьшает диаметр волокнистой составляющей во всем исследованном интервале. Установлено, что изменение скорости охлаждения расплава евтектического сплава от  $10^2$  до  $10^6$  град./с меняет скорость кристаллизации на три порядка и уменьшает диаметр волокон на порядок. Создан новый класс армированных металлокерамических материалов, способных работать в условиях высоких, более 1400 °С, температур и динамических нагрузок, интенсивного абразивного износа (детали

оборудования сверхглубоких до 13 км скважин), высоких давлений и скоростей скольжения (10000 об/мин.), как сплавы для металлообрабатывающего инструмента и брони с высокими удельными характеристиками прочности и твердости.

**(англ.)**

Created physical fundamentals of process control production of wear-resistant high temperature metal and ceramic material reinforced single crystalline fibers of superhard refractory compounds during high-speed sintering directional solidification of melt eutectic alloys quasi binary systems ( $\text{LaB}_6\text{-MeB}_2$ ,  $\text{W}_4\text{C-MeB}_2$ ,  $\text{WC-W}_2\text{C}$ ,  $\text{Ti-TiB}_2$ ) and subsequent heat treatment.

The mechanism of nucleation, growth and formation of melt fibrous microstructure of crystals quasi binary eutectic alloys. For the first time proved that the thermodynamic factor, surface energy facets of the crystal matrix phase mainly determines the number of embryos, number and size of fibers at speeds of crystallization of less than 5 mm/min. While the kinetic - growth rate, increasing the number and reduces the diameter of the fiber component around investigated interval. It was established that the change in the rate of cooling molten eutectic alloy from  $10^2$  to  $10^6$  deg./s. speed changes by three orders of crystallization and reduces the diameter of the fibers on the order. A new class of reinforced metal materials, capable of working in high, over  $1400^\circ\text{C}$ , temperatures and dynamic loads, heavy abrasive wear (details equipment ultra deep 13 km wells), high pressure and sliding speed (10,000 rev / min.) as alloys for the metal cutting tools and armor with the highest specific characteristics of strength and hardness.

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

- 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.**

Розробка відповідає світовому рівню. Матеріали та методики контролю запропоновані для реалізації в промисловому виробництві підприємствами України (Меридіан, Маяк, Київський танковий завод, Мотор січ, Південмаш, Заз-деу, Зоря-Машпроект; дослідному заводу зварювального обладнання, дослідному заводу зварювальних матеріалів, дослідному заводу спецелектрометалургії інституту електрозварювання ім.Є.О. Патона НАН України, SELMI) та закордонним виробникам і споживачам продукції, яка виготовляється із тугоплавких сполук, металокерамічних та керамічних композиційних матеріалів.

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

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

- нові композиційні об'ємно армовані матеріали, що представляють собою матрицю із  $\text{W}_2\text{C}$ , армовану волокнами із  $\text{WC}$ , що має вищі у 1,5 рази твердість, у 2 рази міцність та в 3 рази зносостійкість;
- реліт, легований молібденом, у якого на 30-35 % вища твердість, у 1,5–2 рази міцність та на 40–50 % зносостійкість.

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

Розроблені армовані евтектичні керамічні і металокерамічні композити можуть застосовуватись на підприємствах та в організаціях різних галузей промисловості: машинобудуванні, металургійному і гірничому комплексах, авіа і суднобудуванні, теплоенергетиці, легкій промисловості, де гостро стоїть проблема підвищення ефективності виробництва.

## 8. Стан готовності розробки.

Розроблені матеріали для наплавлення шнеків пресів-екструдерів та виготовлення циліндра гідравлічного плунжерного з вузлом обертання. Проведена дослідно-промислова апробація.

## 9. Існуючі результати впровадження.

Розроблені наплавочні матеріали були випробувані на ТзОВ «Епсілон» і показали свою перспективність для виготовлення деталей гірничовидобувної промисловості.

Також одержані в роботі керамічні та металокерамічні композити рекомендовані до застосування при розробці матеріалів для газотурбінобудування, гірничовидобувної промисловості.

**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)

## 14. Фото розробки



**Шнеки пресів-екструдерів, наплавлені стрічковим релітом на основі сферичних частинок плавлених карбідів вольфраму, легованих молібденом**

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

1. Biba, Y.G., Loboda, P.I. Effect of Mechanical Vibration on the Kinetics of Dehydrogenation and Structure Formation of TiH<sub>2</sub> Powder Compacts During Electron Beam Sintering, Powder Metallurgy and Metal Ceramics, March 2015, Volume 53, Issue 11-12, pp 628-633 (входить до наукометричної бази даних Scopus).
2. С.Н. Дуб, Г.П. Кислая, П.И. Лобода Исследование механических свойств монокристалла LaV<sub>6</sub> методом наноиндентирования // Сверхтвердые материалы, №3, 2013, с. 38-47 (входить до наукометричної бази даних Scopus).
3. 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 (входить до наукометричної бази даних РИНЦ).
4. Кисла Г.П., Лобода П.І., Гешматі Л. Формування структури евтектики у системі LaV<sub>6</sub> - ScV<sub>2</sub> // Порошкова металургія, №7/8, 2014, с.137-144. (входить до наукометричної бази даних Scopus).
5. Троснікова І.Ю., Лобода П.І., Білий О.І., Карасевська О.П. Вплив швидкості охолодження під час кристалізації розплаву на структуру та властивості WC-W<sub>2</sub>C // Порошкова металургія. – 2013. – № 11/12. – С. 80-87. (входить до наукометричної бази даних Scopus).

6. Троснікова І.Ю., Лобода П.І., Білий О.І. Вплив легування молібденом на мікроструктуру та властивості сплавів системи WC–W<sub>2</sub>C // Порошкова металургія. – 2014. – № 3/4. – С. 121-127. (входить до наукометричної бази даних Scopus).
7. Соловйова 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<sub>6</sub>-TiB<sub>2</sub> // Надтверді матеріали. – № 6. – 2015. (входить до наукометричної бази даних Scopus).
8. M. Kruger, G. Hasemann, I. Bogomol, P. Loboda Multiphase Mo-Si-B Alloys Processed by Directional Solidification, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1516 (2013) 1684-1689; DOI: 10.1557/opl.2012.1684. (<http://dx.doi.org/10.1557/opl.2012.1684>).
9. 18. I. Bogomol, P. Badica, Y. Shen, T. Nishimura, P. Loboda, O. Vasylykiv Room and high temperature toughening in directionally solidified B<sub>4</sub>C–TiB<sub>2</sub> eutectic composites by Si doping, Journal of Alloys and Compounds 570 (2013) 94–99.
10. B. Karpuschewski, P. Loboda, M. Scheffler, T. Emmer, K. Schmidt, I. Bogomol, D. Chaika Neuer verstärkter eutektischer Keramik für Schneidwerkzeuge // 11. Magdeburger Maschinenbau-Tage, 25-26.09.2013, Magdeburg, Germany. ISBN 978-3-940961-90-7.
11. S.N. Dub, P.I. Loboda, Yu.I. Bogomol, G. N. Tolmacheva, V. N. Tkach Mechanical properties of HfB<sub>2</sub> whiskers, Journal of Superhard Materials, July 2013, Volume 35, Issue 4, pp 234-241.
12. I. Bogomol, H. Borodianska, T. Zhao, T. Nishimura, Y. Sakka, P. Loboda, O. Vasylykiv Dense and tough (B<sub>4</sub>C–TiB<sub>2</sub>)-B<sub>4</sub>C ‘composite within a composite’ by spark plasma sintering, Scripta Materialia 71 (2014) 17–20.
13. G. Hasemann, I. Bogomol, D. Schliephake, P.I. Loboda, M. Kruger Microstructure and creep properties of a near-eutectic directionally solidified multiphase Mo-Si-B alloy, Intermetallics, Vol. 48, 2014, 28-33.
14. 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.
15. 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.
16. Shumao S.X. Cyclic Formation of Boron Suboxide Crystallites into Star-Shaped Nanoplates / S.X. Shumao, C. Hu, I. Solodkyi, O. Vasylykiv, A. Tok // Scripta Materialia. – 2015. – 99. – P. 69-72.
17. Solodkyi I. Synthesis of B<sub>6</sub>O powder and spark plasma sintering of B<sub>6</sub>O and B<sub>6</sub>O-B<sub>4</sub>C ceramics / I. Solodkyi, T. Zhao, X. Shumao, H. Borodianska, Y. Sakka, O. Vasylykiv // Journal of the Ceramic Society of Japan. – 2013. – 121. – 11. – P. 950-955.
18. Solodkyi I. B<sub>6</sub>O ceramic by in-situ reactive spark plasma sintering of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and B powder mixture / I. Solodkyi, H. Borodianska, T. Zhao, Y. Sakka, P. Badica, O. Vasylykiv // Journal of the Ceramic Society of Japan. – 2014. – 122. – 5. – P. 336-340.
19. Солодкий Е. В. Синтез и искро-плазменное спекание наноструктурного субоксида бора B<sub>6</sub>O / Е. В. Солодкий, А. Ю. Бородянская, О. О. Васыльквив // Наноструктурное материаловедение. – 2013. – №. 2. – С. 21-31.
20. Solodkyi I. Nanostructured samaria-doped ceria with improved grain-boundary conductivity via SPS and post-SPS annealing / I. Solodkyi, H. Borodianska, O. Vasylykiv. // Современные проблемы физического материаловедения. – 2013. – Вып. 22. – С. 23-25.

21. 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 (фахове видання).
22. Миницкий А.В., Сосновский Л.А., Лобода П.И. Определение возможности изготовления вертикальным прессованием длинномерных заготовок из порошка гидрида титана // *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк, 2015. №50. – С. 133–136 (фахове видання).
23. Г.П.Кисла, П.І.Лобода, Л.В.Павленко Структура та термодіагностичні властивості сплавів системи LaV<sub>6</sub> – MoV<sub>2</sub> // *Металознавство та обробка металів*, №2, 2013, с.34-40 (фахове видання).
24. Лобода П.І., Кузнецов В.Д., Смирнов І.В., Сисоєв М.О., Шаповалов К.П. Дослідження розподілу неметалевих включень в матеріалі шва при модифікуванні нанодисперсним порошком оксиду алюмінію // *Прогресивні технології і системи машинобудування*. – 2014. - № 1(17). – С. 174-182.
25. Лобода П.І., Богомол Ю.І., Соловійова Т.О. Вплив механічних коливань на формування мікроструктури монокристалів та керамічних композитів під час вирошування з розплаву // *Наукові вісті*. - 2013. - №6. - С. 65-72. (фахове видання).
26. Акимов Г.Я. Влияние ХИП на формирование свойств эвтектических композиционных порошков LaV<sub>6</sub>-TiB<sub>2</sub> / Г.Я. Акимов, Т.А. Соловьева, П.И. Лобода [и др.] // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2015. – С. 11 – 15.
27. Богомол Ю.І., Лобода П.І., Головенько Я.Б. Структура та властивості квазіпотрійних спрямовано армованих композитів системи V<sub>4</sub>C-TiB<sub>2</sub>-SiC // *Металознавство та обробка металів*. - № 2. – 2015. – С. 37 – 45. (фахове видання).
28. В.І. Мазур, П.І.Лобода Локальні фазові рівноваги та мікроскопічна кінетика евтектичного перетворення в бінарних сплавах. – *Металознавство та обробка металів*, №4, 2014, С. 18-24.
29. 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.
30. Быба Е.Г., Лобода П.И., Юркова А.И. Электронно-лучевое спекания TiH<sub>2</sub> с наложением механических колебаний // *Труды IV Международной конференции «Материаловедение тугоплавких соединений»*, 20-23 мая 2014 г., Киев, Украина. – С. 59.
31. Биба Є.Г., Лобода П.І., Сухарчук Д.О. структура та властивості композиту Ti-TiB-TiC, отриманого свс системи TiH<sub>2</sub> – V<sub>4</sub>C // *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
32. Миницкий А.В., Сосновский Л.А., Лобода П.И. Резервы уплотняемости железного порошка // *Материали 6-тої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування»*, 26 - 29 вересня, 2015 року, Херсон, Україна
33. Миницкий А.В., Сосновский Л.А., Лобода П.И. Исследование прессования порошка гидрида титана // *5-я Международная конференция «HighMatTech»*, 5-8 октября, 2015 года, Киев, Украина.
34. Кисла Г.П., Лобода П.І., Павленко Л.В. Властивості термодіагностичних катодів із композитів системи LaV<sub>6</sub>-MoV<sub>2</sub> // *Материалы VII международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Сварка и родственные технологии»*, 22-24 мая 2013 г., Киев, Украина, с.156.
35. Дуб С.Н., Лобода П.И., Кислая Г.П., Толмачева Г.Н. Зарождение пластичности при наноиндентировании монокристаллов ScV<sub>2</sub> и LaV<sub>6</sub> // *Труды IV международной Самсоновской конференции «Материаловедение тугоплавких соединений»*, 21-23 мая 2014 г., Киев, Украина, с. 17.

36. Сорока О.В., Кисла Г.П., Прокопів М.М., Лобода П.І. Структура та властивості композиційного матеріалу системи  $ZrO_2 - TiO_2 - Al - C$  // Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології», 20-22 травня 2015 р., Ворзель, Україна, с.177.
37. Сысоев М.А., Лобода П.И. Износостойкие металлокерамические покрытия, полученные напеканием порошковой смеси в поле температурного градиента. // Тезисы Международной научной конференции „Наноразмерные системы: строение, свойства, технологии”, - 19-22 ноября 2013 года. – Киев.- С.425.
38. Лобода П.И., Сысоев М.А., Смирнов И.В., Кузнецов В.Д, Бурченя А.В. Модифицирование металла сварочных швов наночастицами оксидов // Тезисы международной конференции «Порошковая металлургия: современное состояние и будущее», 22-25 апреля 2014г., Киев, Украина.
39. Лобода П.И., Сысоев М.А., Смирнов И.В., Терещенко А.С. Получение, структура и свойства металлокерамических покрытий из плакированных медью частиц  $WC-W_2C$  // Тезисы IV международной Самсоновской конференции «Материаловедение тугоплавких соединений», 21-23 мая 2014г., Киев, Украина, С.102.
40. Лобода П.И., Сысоев М.А., Губай И.О., Терещенко А.С. Микроструктура и свойства композиционного материала системы  $TiAl-B_4C$  // Тезисы 5-й международной конференции «HighMatTech», 5-8 октября 2015г., Киев, Украина, с.195.
41. Лобода П.І., Троснікова І.Ю., Гасанова В.А. Вплив швидкості кристалізації на морфологію фазових складових евтектичного сплаву системи  $Mo18Si-B$  // Тезиси VII Науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів «СВАРКА І РОДСТВЕННІ ТЕХНОЛОГІЇ», Ворзель, Україна, 22-24 мая 2013 г. – С. 158.
42. Троснікова І.Ю., Лобода П.И., Мельниченко Д.О. Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства  $WC-W_2C$  // Тезисы 4-ой международной Самсоновской конференции «Материаловедение тугоплавких соединений», Киев, Украина, 21-23 мая 2014 г. – С.
43. Соловьева Т.А., Лобода П.И., Богомол Ю.И. Определение тепловых характеристик монокристалла  $LaB_6$  и композита  $LaB_6-TiB_2$  // Труды IV Самсоновской конференции «Материаловедение тугоплавких соединений». – Киев, Украина. – 2014. – С.23.
44. Соловйова Т.О., Лобода П.І. Одержання пластичного металокерамічного композиту із порошків надтвердих об'ємно армованих керамічних матеріалів // Досконалість зварювання – комплексний підхід: тези доп. ІХ Всеукр. наук. –техн. конф. – Київ, Україна. – 2015. – С.
45. Соловьева Т.А., Лобода П.И., Акимов Г.Я. Влияние холодного изостатического прессования на свойства порошков армированных керамических материалов – тезисы HighMT. – 2015.
46. Соловьева Т.А., Лобода П.И. Структура и свойства металлокерамического композита системы  $LaB_6-TiB_2-Al$  – тезисы HighMT. – 2015.
47. G. Hasemann, I. Bogomol, D. Schliephake, P.I. Loboda, M. Krüger, Directional Solidification of Multiphase Mo-based Alloys, Beyond Nickel-Based Superalloys Conference 2013, May 13.-17. 2013, Bad Berneck, Germany.
48. Chaika, Denys; Loboda, Petro; Karpuschewski, Bernhard; Scheffler, Michael; Emmer, Thomas; Schmidt, Konrad; Bogomol, Yurii Neue verstärkte eutektische Keramik für Schneidwerkzeuge // MAGDEBURGER MASCHINENBAU-TAGE (MMT 2013), 25-26 September 2013, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Germany.
49. O. Vasylykiv, H. Borodianska, I. Bogomol, P. Loboda, P. Badika, Y. Sakka Architected Light-Weight Boride-Carbide Composites Obtained by Directional Solidification and Spark Plasma Sintering // STAC-7, Seventh Int Conf on Science and Technology of Advanced Ceramic, June 19-21, 2013, Yokohama, Japan.
50. Богомол Ю.И., Бородянская А.Ю., Жао Т., Лобода П.И., Марыч М.В., Васыльків О.О. Спеченные композиты на основе карбида бора с добавками евтектического порошка  $B_4C-TiB_2$  // Тезисы докладов 4-й международной конференции «HighMatTech», 7 – 11 октября 2013 г., Киев, Украина.

51. 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.
52. Богомол Ю.И., Лобода П.И., Бородянская 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.
53. 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.
54. Мельник М.В., Кобылинский Ю.В., Богомол Ю.И., Лобода П.И. Износостойкость армированных керамических материалов систем  $W_4C-MeB_2$  / Труды 4-й международной Самсоновской конференции “Материаловедение тугоплавких соединений”, 21 - 23 мая 2014 г., Киев, Украина, С. 89.
55. Богомол Ю.И., Лобода П.И., Головенько Я.Б. Получение, структура и свойства направленно закристаллизованных композитов системы  $W_4C-TiB_2-SiC$  // Тезисы докладов 5-й международной конференции «HighMatTech», 5 – 8 октября 2015 г., Киев, Украина, С. 157.
56. Богомол Ю.И., Лобода П.И., Головенько Я.Б., Билый А.И. получение, структура и свойства распыленных порошков эвтектического сплава  $W_4C-TiB_2$  // Тезисы докладов 5-й международной конференции «HighMatTech», 5 – 8 октября 2015 г., Киев, Украина, С. 163.

#### **Підручники**

1. Куцова В.З., Носко О.Н., Ковзель М.А., Мазур В.І. Сплави на основі заліза. Підручник з грифом МОН. – Вид. Крафт, Дніпропетровськ, 2013. – 631 с.
2. Куцова В.З., Носко О.Н., Ковзель М.А., Мазур В.І. Сплави на основі заліза. Підручник з грифом МОН. – К.: Політехніка, 2015.

#### **Захищені дисертації:**

1. Сисоев 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. Троснікова І.Ю. «Спрямовано армовані композиційні матеріали систем Mo-Si-B, WC-W<sub>2</sub>C поліфункціонального призначення». – 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.
3. Чайка Д.В. «Створення фізичних основ ефективної роботи армованої кераміки в умовах динамічних навантажень та інтенсивного зношування». – 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, 2013 р.

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

КЕРАМІКА, ШВИДКІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ, СПРЯМОВАНА КРИСТАЛІЗАЦІЯ, ОБ’ЄМНО АРМОВАНІ МАТЕРІАЛИ, КАРБІДИ ВОЛЬФРАМУ, ЕВТЕКТИКА, ВІДЦЕНТРОВЕ РОЗПИЛЕННЯ, ЗОННА ПЛАВКА.