**ВИСНОВОК**

**комісії**  **спеціалізованої вченої ради Д 26.001.23**

**Київського національного університету імені Тараса Шевченка**

**по дисертаційній роботі**

**Попова Олексія Юрійовича**

**«Реакційний синтез та структурне конструювання бор-містких керамічних матеріалів», поданої у формі рукопису**

**на** **здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла**

Комісія спеціалізованої вченої ради у складі доктора фізико-математичних наук, професора Черняка  О. І., доктора фізико-математичних наук, професора Швеця В. Г. та доктора фізико-математичних наук, професора Наконечного О. Г. провела попередній розгляд дисертаційної роботи Попова О.Ю. «Реакційний синтез та структурне конструювання бор-містких керамічних матеріалів», поданої у формі рукопису на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла та прийняла наступні рішення:

1. Тема дисертаційної роботи є актуальною, проведене дослідження носить  
самостійний характер.

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена потребами машинобудування у нових жаростійких матеріалах із високими фізико-механічними характеристиками. Проведене в дисертаційній роботі дослідження кінетичних закономірностей та механізмів реакційного синтезу тугоплавких сполук може істотно розширити можливості щодо створення різноманітних композиційних структур, що, разом із теоретичним прогнозуванням механічних характеристик гетерофазних матеріалів, дозволить розробити підходи до одержання новітніх керамічних композитів із наперед заданими властивостями.

2. Науковий рівень роботи визнано таким, що відповідає вимогам МОН України на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук. Результати дисертаційної роботи сприяють вирішенню важливої наукової проблеми, яка полягає у вивченні механізмів впливу in situ екзотермічних реакцій на формування структури боридної кераміки та розробці методики реакційного синтезу бор-містких керамічних композицій із наперед заданими структурними та механічними характеристиками

3. Найвагомішими та достовірними результатами, які характеризують наукову новизну роботи і особистий внесок автора вважати такі:

- Отримала подальший розвиток теоретична модель для розрахунку тріщиностійкості, енергії руйнування та міцності крихких композиційних матеріалів. На відміну від попередніх підходів, модель не містить жодного невизначеного феноменологічного параметру та дозволяє прогнозувати механічні характеристики керамічного композиту, виходячи з фізико-механічних властивостей його компонентів та геометрії відповідних зерен, а також міцності міжфазного зв’язку за тих чи інших умов синтезу матеріалу. Розвинений підхід дозволяє оцінити вплив як високомодульних, так і низькомодульних включень другої фази на характеристики матеріалу та сформулювати рекомендації щодо особливостей структури керамічного композиту, що їх необхідно забезпечити для досягнення потрібних властивостей створюваного матеріалу. Зокрема, показано, що для одержання високих значень тріщиностійкості та енергії руйнування оптимальний розмір високомодульних включень перевищує 30µм, в той час як оптимальний розмір низькомодульних (із модулем Юнга на порядок меншим, ніж у матриці) включень є меншим за 1µм.

- Вперше визначено особливості хімічної кінетики утворення тугоплавких фаз дибориду титану, монобориду хрому та оксиду алюмінію внаслідок протікання екзотермічних реакцій при нагріванні порошкових сумішей Al-B2O3-Ti, Al-B2O3-Cr2O3, Al-B-Ti та встановлено механізми ущільнення та формування структури керамічних композитів в даних системах. Доведено можливість виготовлення тугоплавких матеріалів шляхом реакційного синтезу легкоплавких вихідних композицій та показано, що створення компактного твердого тіла в цьому випадку протікає в три основні етапи: 1) первинна консолідація шихти, пов’язана із заповненням порожнин проміжним реакційним розплавом; 2) формування вторинної поруватості внаслідок дилатометричного ефекту, що завжди супроводжує виділення з розплаву нових тугоплавких фаз; 3) зникнення вторинної поруватості за рахунок пластичної деформації новоутворених зерен.

- Вперше запропоновано використання методу рідкофазного реакційного синтезу до формування наперед заданої структури композиційного матеріалу типу дрібнодисперсна матриця – інертне включення та показано, що для виготовлення композиту такого типу необхідно виконання наступних умов: 1) температура гарячого пресування матеріалу має перевищувати температури плавлення більшості компонентів вихідної реакційної суміші; 2) адіабатична температура відповідної екзотермічної реакції має перевищувати температуру плавлення інертної фази з метою оплавлення поверхневого шару включень під час ущільнення шихти; 3) жоден з продуктів очікуваної реакції не повинен співпадати із речовиною інертних включень. Застосування даного підходу вперше дозволило синтезувати композиційний матеріал на основі великих (~50мкм) включень TiB2 в дрібнодисперсній матриці складу Al2O3-B4C, що містить нанорозмірні частки карбіду бору. Запропонований підхід може бути поширений на інші системи та композиції.

- Вперше встановлено, що взаємодія між карбідами титану та бору, наслідком якої є формування дибориду титану та виділення вільного вуглецю, починається при температурі 1200ºС та істотно прискорюється при 1800ºС внаслідок інтенсивної сублімації бору з поверхні його карбіду. Протікання вказаної взаємодії під час ущільнення порошкової шихти дозволило ввести в жорстку керамічну матрицю субмікронні включення графіту та створити серію гетеромодульних композиційних матеріалів систем TiC-TiB2-C, TiB2-SiC-C, ТіВ2-С та B4C-TiB2-C при температурі 1850ºС та тискові 30МПа протягом 16 хвилин. Наявність графітових включень зумовила істотне підвищення механічних характеристик виготовлених матеріалів та дозволила досягти значення тріщиностійкості 10МПа·м1/2.

1. Визнати, що дисертаційна робота відповідає профілю спеціалізованої  
   вченої ради Д 26.001.23 із спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла.
2. Опубліковані наукові результати здобувача (33 публікації загальним  
   обсягом 8.9 умовних друкованих аркушів) відображають основні наукові  
   результати дисертації.

6. Одержані здобувачем результати є достовірними та об'єктивними.  
Основні положення та результати дослідження були оприлюднені на засіданнях і методологічних семінарах кафедри фізики металів, на засіданні Вченої ради фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка у 2017 р., доповідалися автором та отримали позитивну оцінку на 15 міжнародних наукових конференціях.

Розроблена в роботі методика обчислення тріщиностійкості та енергії руйнування керамічної композиції дозволяє підбирати компоненти та прогнозувати структурні характеристики керамічних матеріалів із високими механічними характеристиками.

Розвинена концепція реакційного синтезу тугоплавких композитів із наперед заданими структурами типу: 1) ультрадрібнодисперсна керамічна матриця – інертне високомодульне включення та 2) жорстка високомодульна матриця – субмікронне графітове включення може бути використана для створення широкого кола високоякісних матеріалів.

Синтезовані керамічні матеріали систем Cr-ТіB2-Al2O3, ТіB2-Al2O3, ТіВ2-ТіС-С, ТіВ2-В4С-С, ТіВ2-С, ТіB2-Al2O3-В4С, TiB2-SiC-C мають високі механічні характеристики (мікротвердість до 24 ГПа та тріщиностійкість до 10МПа·м1/2) та можуть бути застосовані в якості елементів керамічної броні, ріжучих елементів металообробного та бурового інструменту, футеровки котлів теплоелектростанцій.

**Комісія спеціалізованої вченої ради рекомендує:**

1. Прийняти дисертацію Попова Олексія Юрійовича «Реакційний синтез та структурне конструювання бор-містких керамічних матеріалів» до захисту.
2. Призначити офіційними опонентами по захисту дисертації Попова Олексія Юрійовича:
   * Лободу Петра Івановича, члена кореспондента НАН України, доктора технічних наук, професора, декана інженерно-фізичного факультету національного технічного університету „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”;
   * Подрезова Юрія Миколайовича, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника, завідувача відділу фазових перетворень Інституту проблем матеріалознавства імені І.М. Францевича НАН України;
   * Фірстова Сергія Олексійовича, доктора фізико-математичних наук, академіка НАН України, заступника директора Інституту надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля НАН України.
3. Дозволити друкування автореферату як такого, що відповідає змісту дисертації. Затвердити перелік адрес для розсилання автореферату.

**Члени комісії спеціалізованої вченої ради:**

Доктор фізико-математичних наук В.Я. Дегода

Доктор фізико-математичних наук О.І. Дехтяр

Доктор фізико-математичних наук Ю.Г. Гордієнко