

Облікова картка дисертації (ОКД)

Шифр спецради: ДФ 26.002.054

Відкрита

Вид дисертації: 08

Державний обліковий номер: 0821U102670

Дата реєстрації: 29-11-2021



1. Відомості про здобувача

ПІБ (укр.): Упатов Микита Ігорович

ПІБ (англ.): Upatov Mykyta I.

Шифр спеціальності, за якою відбувся захист: 132

Дата захисту: 25-11-2021

На здобуття наукового ступеня: Доктор філософії (д.філ)

Спеціальність за освітою: Композиційні та порошкові матеріали, покриття

2. Відомості про установу, організацію, у вченій раді якої відбувся захист

Назва організації: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ: 02070921

Адреса: проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

Телефон: 380442367989

Телефон: 380442044862

E-mail: mail@kpi.ua

WWW: <https://kpi.ua/>

3. Відомості про організацію, де виконувалася (готувалася) дисертація

Назва організації: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ: 02070921

Адреса: проспект Перемоги, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

Телефон: 380442367989

Телефон: 380442044862

E-mail: mail@kpi.ua

WWW: <https://kpi.ua/>

4. Відомості про організацію, де працює здобувач

Не працює

5. Наукові керівники та консультанти

Наукові керівники

Богомол Юрій Іванович (д. т. н., професор, 05.16.06)

6. Офіційні опоненти та рецензенти

Офіційні опоненти

Попов Олексій Юрійович (д. ф.-м. н., доц., 01.04.07)

Згалат-Лозинський Остап Броніславович (д. т. н., старший науковий співробітник, 05.16.06)

Рецензенти

Степанчук Анатолій Миколайович (к.т.н., професор, 05.16.06)

Мініцький Анатолій Вячеславович (д. т. н., доц., 05.16.06)

7. Підсумки дослідження та кількісні показники

Підсумки дослідження: 40 - Нове вирішення актуального наукового завдання

Кількість публікацій: 12

Кількість сторінок: 184

Кількість патентів: 1

Кількість додатків: 1

Впровадження результатів роботи:

Ілюстрації: 99

Мова документа: Українська

Таблиці: 8

Зв'язок з науковими темами: 0116U003737 0116U006569

Схеми: 0

Використані першоджерела: 141

8. Індекс УДК тематичних рубрик НТІ

Індекс УДК: 669:621.315.562, 620.22, 621.762:669.018.45

Тематичні рубрики: 53.39.31, 81.09

9. Тема та реферат дисертації

Тема (укр.)

ОДЕРЖАННЯ, СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ СПРЯМОВАНО ЗАКРИСТАЛІЗОВАНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМ В4С-NbB2-SiC і В4С-TaB2-SiC

Тема (англ.)

Preparation, structure and properties of directionally solidified alloys of В4С-NbB2-SiC and В4С-TaB2-SiC systems

Реферат (укр.)

Дисертаційна робота присвячена вивченню спрямовано закристиалізованих сплавів систем В4С-NbB2-SiC і В4С-TaB2-SiC, зокрема дослідженню їх структури, фазового складу, фізико-механічних і високотемпературних властивостей, а також закономірностей структуроутворення квазіпотрійних евтектичних сплавів. Автором проаналізовано властивості компонентів досліджуваних систем, розглянуто методи отримання спрямовано закристиалізованих евтектичних сплавів, проведено огляд подвійних евтектичних систем типу В4С-MeB2, SiC-B4C і SiC-MeB2 та потрійних евтектичних систем В4С-MeB2-SiC. Розглянуто особливості структуроутворення в евтектичних системах і проаналізовано механічні

властивості спрямовано закристалізованих сплавів. За допомогою металографічного аналізу визначено евтектичний склад сплавів систем $B4C-NbB2-SiC$ і $B4C-TaB2-SiC$: $B4C-(15-20)NbB2-(33-40)SiC$ та $B4C-(8-12)TaB2-(38-42)SiC$ (мол. %) відповідно. Уперше експериментально отримано трифазові евтектичні композити $B4C-NbB2-SiC$ і $B4C-TaB2-SiC$ із рівномірною структурою вздовж усього зразка. Установлено, що евтектична структура сплавів системи $B4C-NbB2-SiC$ містить три фази: $B4C$, $NbB2$, SiC . Трифазова евтектика ($B4C-15NbB2-35SiC$ мол. %) має ламелярну структуру, в якій карбід бору виступає як матриця з рівномірно розподіленими по всьому об'єму включеннями карбіду кремнію та дибориду ніобію. Для композитів у поперечному до вирощування напрямку спрямованою є текстура фаз $NbB2$ у напрямку (100), SiC – у напрямку (111) та $B4C$ – у напрямку (104). Найбільш направленою є фаза SiC у напрямку (111), як у поздовжньому, так і в поперечному до вирощування напрямках, для якої розрахований фактор Лотгеринга лежить у межах 0,8–0,9. Структурні складові у трифазовій евтектиці мають такий розмір: $B4C$ – 4–6 мкм, $NbB2$ – 1–3 мкм, SiC – 2–3 мкм. Визначені такі механічні властивості евтектичного композиту $B4C-15NbB2-35SiC$: твердість за Віккерсом (35,8 ГПа), тріщиностійкість за навантаження 9,8 Н (6,4 МПа·м^{1/2}), модуль Юнга за імпульсним методом (462 ГПа), питома електропровідність (2,85–5,36×10⁴ См/м); досліджено коефіцієнт термічного розширення у проміжку температур 22–1600 °С, міцність на згин за кімнатної температури (220 МПа) та за 1600 °С (395 МПа). Структура трифазового евтектичного композита $B4C-8TaB2-40SiC$ (мол. %) являє собою рівномірну трифазову евтектику системи $B4C-TaB2-SiC$ ламелярного типу по всьому об'єму зразка, в якій матрицею виступає карбід бору, а SiC та $TaB2$ є армуючими фазами. Загалом сплави систем $B4C-TaB2-SiC$ та $B4C-NbB2-SiC$ мають подібну евтектичну структуру. Рентгенофазовий аналіз показав наявність лише таких фаз: карбіду кремнію (SiC), карбіду бору та дибориду танталу; жодних інших фаз не виявлено. Встановлено взаємозв'язок між швидкістю кристалізації та лінійним параметром евтектичної структури відповідно до рівняння Джексона – Ханта. Визначено такі механічні властивості евтектичного композита $B4C-8TaB2-40SiC$: твердість за Віккерсом (33–34 ГПа), тріщиностійкість за навантаження 9,8 Н (3,9 МПа·м^{1/2}), досліджено коефіцієнт термічного розширення у проміжку 22–1600 °С. Показано, що зі збільшенням швидкості кристалізації від 1 до 10 мм/хв. відбувається зменшення розмірів структурних складових від 5,2 – 9,5 мкм до 1 – 3 мкм. Експериментальні дослідження мікромеханічних властивостей показали, що твердість за Віккерсом і тріщиностійкість зростають зі збільшенням швидкості кристалізації як у поздовжньому, так і в поперечному до вирощування напрямках. Збільшення твердості з підвищенням швидкості кристалізації спрямовано закристалізованих сплавів систем $B4C-NbB2-SiC$ і $B4C-TaB2-SiC$ відбувається подібно до правила Холла–Петча. Що стосується тріщиностійкості, то зменшення розмірів структурних складових сприяє зменшенню критичного розміру зародкової тріщини, яка може утворитися при навантаженні. Це також є характерним для спрямовано закристалізованих керамічних евтектик і сприяє підвищенню їх механічних властивостей. Результати аналізу поширення тріщини після індентування свідчать, що найбільш легко тріщина проходить по ділянках матричної фази карбіду бору або включень карбіду кремнію. Водночас наявність у структурі включень карбіду кремнію і диборидів приводить, як правило, або до зміни напрямку поширення тріщини, тобто до її відхилення, або взагалі до її зупинки, що своєю чергою сприяє підвищенню енергії руйнування і, отже, тріщиностійкості композита. Проаналізовано особливості структуроутворення та встановлено механізм росту трифазової чотирикомпонентної евтектики в системі $B4C-NbB2-SiC$, відповідно до якого кристалізація трифазової евтектики ($B4C+NbB2+SiC$) відбувається як безперервний сумісний ріст дендритних фаз, коли двофазова структурна складова ($SiC+NbB2$) росте в кооперативному режимі, а третя фаза $B4C$ синхронно росте в автономному. Побудовано просторову модель евтектичної комірки для системи $B4C-NbB2-SiC$.

Реферат (англ.)

The dissertation is devoted to the study of directionally crystallized alloys of the $B4C-NbB2-SiC$ and $B4C-TaB2-SiC$ systems, in particular to the study of their structure, phase composition, physical-mechanical and high-temperature properties, as well as regularities of structure formation of quasi-triple eutectic alloys. The author analyzes the properties of studied systems' components, considers the methods of obtaining directionally crystallized eutectic alloys, reviews double eutectic systems such as $B4C-MeB2$, $SiC-B4C$, and $SiC-MeB2$ and ternary eutectic systems $B4C-MeB2-SiC$. Features of structure formation in eutectic systems were considered, mechanical properties of directionally crystallized alloys were analyzed. The eutectic composition of alloys of the $B4C-NbB2-SiC$ and $B4C-TaB2-SiC$ systems was determined by metallographic analysis: $B4C-(15-20)NbB2-(33-40)SiC$ and $B4C-(8-12)TaB2-(38-42)SiC$ (mol.%), respectively. Ternary eutectic composites $B4C-NbB2-SiC$ and $B4C-TaB2-SiC$ with a uniform fine structure along the entire sample were experimentally obtained. It is established that the eutectic structure of the $B4C-NbB2-SiC$ system contains three phases: $B4C$, $NbB2$, SiC . The ternary eutectic ($B4C-15NbB2-35SiC$ mol.%) has a lamellar structure in which boron carbide acts as a matrix evenly distributed throughout the volume inclusions of silicon carbide and niobium diboride. For composites in the transverse direction, there is a directed texture of phases of the $NbB2$ in the direction (100), SiC in the direction (111), and $B4C$ in the direction (104). The most directional phase is the SiC phase in the direction (111), both in the longitudinal and in the transverse directions, for which the calculated Lotgering factor is in the range of 0.8–0.9. The structural components in the ternary eutectic have the following sizes: $B4C$ – 4–6 μm, $NbB2$ – 1–3 μm, SiC – 2–3 μm. The following mechanical properties of the eutectic composite $B4C-15NbB2-35SiC$ were determined: Vickers hardness (35.8

GPa), fracture toughness under load 9.8 N (6.4 MPa·m^{1/2}), Young's modulus by the impulse method (462 GPa), electrical conductivity (2.85–5.36×10⁴ Cm/m); the coefficient of thermal expansion in the range of 22–1600 °C, flexural strength at the room temperature (220 MPa) and 1600 °C (395 MPa) were investigated. The structure of the ternary eutectic composite B4C–8TaB2–40SiC (mol.%) is a uniform ternary eutectic system B4C–TaB2–SiC of a lamellar type throughout the volume of the sample, in which boron carbide is the matrix, and SiC and TaB2 act as reinforcing phases. In general, the systems B4C–TaB2–SiC and B4C–NbB2–SiC have a similar eutectic structure. The X-ray phase analysis showed the presence of only the following phases: silicon carbide, boron carbide, and tantalum diboride; no other phases were detected. The correlation between the crystallization rate and the linear parameter of the eutectic structure was established. The following mechanical properties of the eutectic composite B4C–8TaB2–40SiC were determined: Vickers hardness (33–34 GPa), fracture toughness under a load of 9.8 N (3.9 MPa·m^{1/2}), the coefficient of thermal expansion in the range of 22–1600 °C was investigated. The influence of crystallization rate on the structure and properties of the obtained composites has been investigated. Increasing the crystallization rate leads to a change in the morphology of inclusions from the plate-like one to more lamellar, as well as to a natural size reduction of the structural components. Experimental studies of micromechanical properties have shown that Vickers hardness and fracture toughness increase with increasing crystallization rate in both the longitudinal and transverse to the growth directions. The increase in hardness with increasing the rate of crystallization of the directionally crystallized alloys B4C–NbB2–SiC and B4C–TaB2–SiC occurs similarly to the Hall–Patch rule. The analysis of crack propagation after indentation showed that the crack most easily passes through the areas of the matrix phase of boron carbide or silicon carbide inclusions. However, the presence of silicon carbide and diborides inclusions in the structure leads either to a change in the direction of motion, ie deviation of the crack, or to its cessation in general, which, in turn, increases the fracture energy and, consequently, fracture toughness of the composite. Peculiarities of structure formation were analyzed and the mechanism of growth of the ternary four-component eutectic in the B4C–NbB2–SiC system was established. According to this mechanism, crystallization of ternary eutectic (B4C–NbB2–SiC) occurs as continuous compatible growth of dendritic phases, while the two-phase structural component (SiC–NbB2) increases in the cooperative mode, and the third phase B4C grows synchronously in the autonomous mode. A spatial model of an eutectic cell for the B4C–NbB2–SiC system was constructed.

Голова спеціалізованої вченої ради: Карпець Мирослав Васильович (д. ф.-м. н., професор, 01.04.07)

Головуючий на засіданні: Карпець Мирослав Васильович (д. ф.-м. н., професор, 01.04.07)

Підпис

М.П.

Відповідальний за подання документів: Упатов М.І. (Тел.: 380442367989)

Підпис

**Керівник відділу реєстрації наукової діяльності
УкрІНТЕІ**



Юрченко Т.А.