

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Мазур В.І.
« ____ » _____ 20__ р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо професійною програмою «Нанотехнології та комп'ютерний
дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Структура та властивості спрямовано закристалізованого
евтектичного сплаву V_4C-TaB_2-SiC »**

Виконав:
студент IV курсу, групи ФН-61
Єфіменко Максим Юрійович _____

Керівник:
доцент, д. т. н. Богомол Юрій Іванович _____

Консультант з розділу охорони праці:
доцент, к. т. н. Арламов О. Ю. _____

Консультант з нормоконтролю:
доцент, к. т. н. Троснікова І. Ю. _____

Рецензент:
доцент каф. ФМ, к. т. н., доц.
Іващенко Євген Вадимович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.
Студент Єфіменко М.Ю.

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 Матеріалознавство

Освітньо професійна програма – «ОПП Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І.Мазур

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Єфіменку Максиму Юрійовичу

1. Тема роботи «Структура та властивості спрямовано закристалізованого евтектичного сплаву V_4C-TaV_2-SiC », керівник роботи Богомол Юрій Іванович, доцент, к. т. н. затверджені наказом по університету від __21.05__ 2020 р. № 1132-с
2. Термін подання студентом роботи 12.06.2020 р.
3. Об'єкт дослідження: Спрямовано закристалізовані евтектичні сплави на основі карбїду бору.

4. Предмет дослідження: Процеси формування структури та властивостей евтектичного сплаву V_4C-TaB_2-SiC , його фазового складу та механічних властивостей.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
- а) пошук та аналіз літератури по сплавах системи V_4C-TaB_2-SiC ;
 - б) отримання методом безтигельної зонної плавки композитів системи V_4C-TaB_2-SiC ;
 - в) дослідження структури та мікромеханічних властивостей спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів системи V_4C-TaB_2-SiC .
 - г) дослідження та опис отриманих даних.
 - д) визначити шкідливі та небезпечні виробничі фактори;
 - е) розробити заходи для попередження впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів;
 - ж) обґрунтувати необхідну кількість робітників, розмір фонду їх заробітної плати, визначити показники продуктивності праці;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	доцент, к.т.н. Арламов О.Ю.	20.04.2020	
Економічний розділ	старший викладач к.е.н. Нараєвський С.В.	20.04.2020	

6. Дата видачі завдання 20.04.2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготовка експериментального матеріалу	25.04	
2.	Підготовка ілюстративного матеріалу	30.04	
3.	Написання тексту роботи	15.05	
4.	Підготовка презентації	01.06	
5.	Оформлення роботи.	10.06	
6.	Захист дипломної роботи.	12.06	

Студент

Єфіменко М.Ю.

Керівник роботи

Богомол Ю. І.

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: 69 стор., 32 рис., 15 табл., 37 літ. дж.

У даній роботі викладено огляд сучасного стану теорії і технології отримання спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів на основі карбїду бору.

Об'єкт дослідження: спрямовано закристалізовані сплави системи $\text{W}_4\text{C}-\text{TaB}_2-\text{SiC}$.

Метою роботи є дослідження структури та властивостей сплавів квазіпотрійної системи $\text{W}_4\text{C}-\text{TaB}_2-\text{SiC}$.

В результаті дослідження було досліджено структуру та мікромеханічні характеристики спрямовано закристалізованих сплавів системи $\text{W}_4\text{C}-\text{TaB}_2-\text{SiC}$ з різними концентраціями компонентів.

Ключові слова: СПРЯМОВАНО ЗАКРИСТАЛІЗОВАНІ СПЛАВИ, ДИБОРИД ТАНТАЛУ, КАРБІД КРЕМНІЮ, КАРБІД БОРУ, БЕЗТИГЕЛЬНА ЗОННА ПЛАВКА.

ABSTRACT

The work contains 67 p., 29 fig., 15 table, 37 refer.

This work provides an overview of the current state of theory and technology production directionally solidified eutectic alloys based on boron carbide.

Object of study: directionally solidified B_4C-TaB_2-SiC alloys.

The aim of the work is to study the structure and properties of the B_4C-TaB_2-SiC quasi-ternary alloys.

As a result of the study, structures, mechanical characteristics of the directionally solidified B_4C-TaB_2-SiC alloys with different concentrations of components were obtained.

Keywords: DIRECTIONALLY SOLIDIFIED ALLOYS, TANTALUM DIBORIDE, SILICON CARBIDE, BORON CARBIDE, CRUCIBLELESS ZONE MELTING.

ЗМІСТ

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Характеристика структурних складових композиту V_4C-TaB_2-SiC	10
1.1.1 Загальна характеристика та властивості V_4C	10
1.1.2 Загальні характеристики та властивості TaB_2	13
1.1.3 Загальна характеристика та властивості SiC	14
1.2 Характеристики подвійних систем	17
1.2.1 Фізичні та механічні властивості системи V_4C-SiC	17
1.2.2 Фізичні та механічні властивості системи V_4C-TaB_2	20
1.3 Характеристика системи V_4C-MeB_2-SiC	22
1.4 Фізичні властивості евтектичних композиційних матеріалів	27
1.4.1 Твердість спрямовано закристалізованих композитів	28
1.4.1 Стійкість до окислення спрямовано закристалізованих композитів	29
1.4.2 Електричні властивості спрямовано закристалізованих композитів	31
1.5 Висновки та постановка задач дослідження	31
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	33
2.1 Методика отримання зразків	33
2.2 Вихідні матеріали	34
2.2.1 Визначення евтектичного складу	34
2.2.2 Одержання заготовок для вирощування кристалів	36
2.2.3 Пресування стержнів	36
2.2.4 Сушка стержнів	37
2.2.5 Безтигельна зонна плавка	37
2.3 Металографічні дослідження	39
2.4 Рентгенофазовий аналіз	40
2.5 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості сплаву системи	41
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	42
3.1 Дослідження складу компонентів	42
3.2 Дослідження структури композитів	422

3.3 Рентгенофазовий аналіз.....	48
3.4 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості	49
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	53
4.1 Техніко-укономічне обґрунтування роботи	53
4.1.1 Актуальність теми дослідження.....	53
4.1.2 Мета і завдання	53
4.1.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	54
4.1.4 Розрахунок фонду заробітної плати виконавців.....	54
4.1.5 Економічна ефективність	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	63
4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів нормалізації умов праці при виконанні технологічного процесу	65
4.3 Електробезпека.....	67
4.3.1 Вимоги до експлуатації електричного обладнання.....	68
4.4 Пожежна безпека.....	68
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	72

ВСТУП

Завдяки ковалентним зв'язку карбіди та бориди мають досить високу твердість, чудову зносостійкість, високі робочі температури. Область використання таких сполук достатньо велика: від шліфувальних матеріалів до застосування в ядерній та космічній промисловості.

Стрімкий розвиток авіації, машинобудування потребують нових легких, міцних матеріалів, стійких до окислення та знакозмінних навантажень, та температур. Однофазні матеріали уже не в змозі забезпечити всіх потрібних характеристик. Тож ріст технологій потребує винайдення та дослідження нових композиційних матеріалів.

Композиційні матеріали, що мають різні механічні та теплові властивості знаходять застосування у вигляді зносо-, корозійно- та хімічностійких деталей, що працюють при високих температурах в різноманітних середовищах.

Легуванні B_4C боридами, карбідами та силіцидами призводить до отримання композитів, що мають вищі фізико-хімічні характеристики ніж чистий карбід бору.

Тому, на сьогоднішній день отримання нових евтектичних композитів типу B_4C-MeB_2-SiC , які можуть працювати при високих температурах та у агресивних середовищах, є досить актуальною темою.

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Характеристика структурних складових композиту B_4C-TaB_2-SiC

1.1.1 Загальна характеристика та властивості B_4C

Серед неметалевих твердих матеріалів таких як карбід кремнію, нітрид кремнію, алмаз, кубічний нітрид бору, карбід бору вибив одне з головних місць завдяки видатним хімічним, фізичним та механічним властивостям[1].

Карбід бору має ромбоедричну елементарну комірку з параметрами $a=0.516$ нм та $\alpha=65.7^\circ$, а гексагональна $a=0.56$ нм та $c=1.208$ нм [1] яка в свою чергу має 15 атомів, що відповідають $B_{12}C_3$ (рис. 1.1)

12 атомних ікосаедричних кластери пов'язані прямими ковалентними зв'язками та тритомними міжікосаедричними ланцюгами.

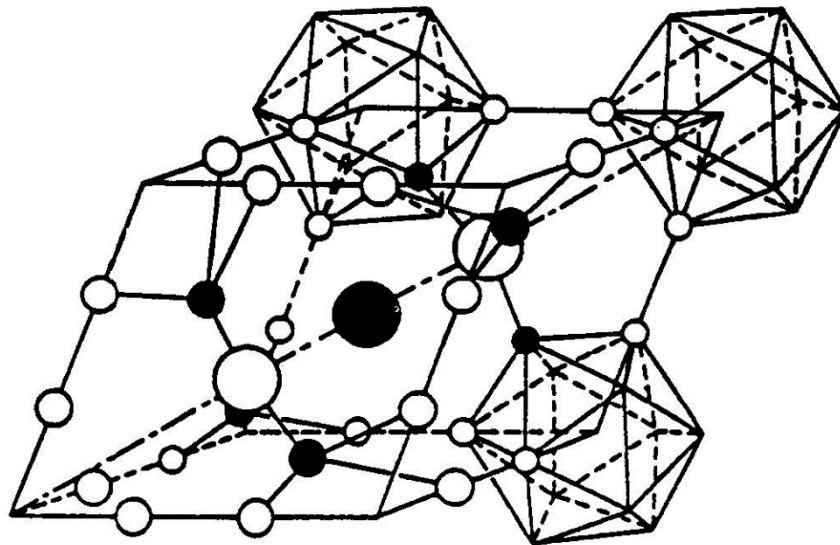


Рисунок 1.1 - Кристалічна гратка B_4C [2].

Карбід бору є фазою змінного складу по вмісту вуглецю, що змінюється від 9 до 20 ат.% що відповідає сполукам $B_{10,5}C-B_4C$ [2,3]. Діаграма стану В-С наведена на рисунку 1.2.

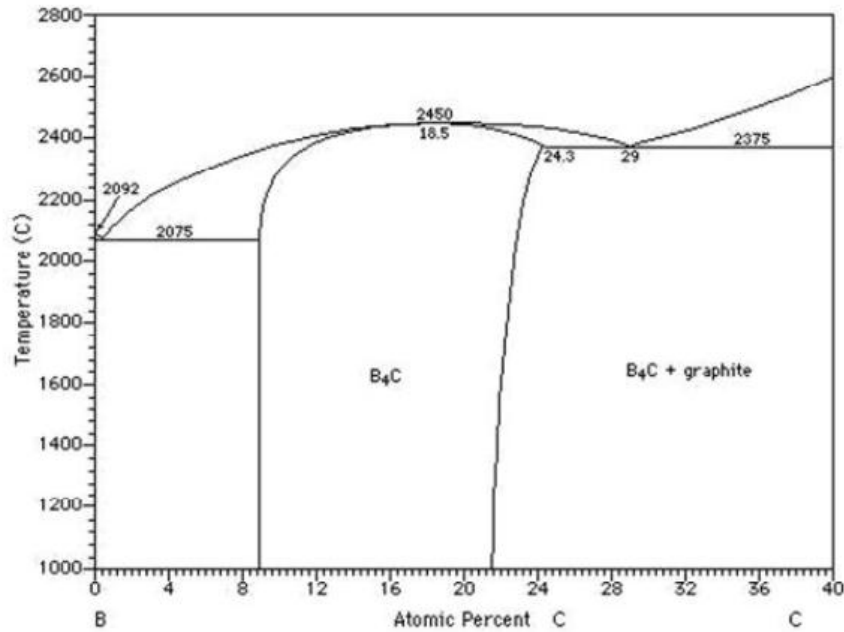


Рисунок 1.1 - Діаграма стану системи В-С [4].

Температура плавлення карбіду бору становить приблизно 2450°C.

Щільність становить В₄С - 2,52 г/см³; В₁₃С₂ - 2.48 г/см³, В_{10,4}С - 2,465г/см³

Коефіцієнт термічного розширення $\alpha = 5,73 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (300-1970 K) [2].

До температури 1300 °С зниження твердості не спостерігається та при підвищенні температури і статичному навантаженні спостерігається постійне зниження твердості(рис. 1.3).

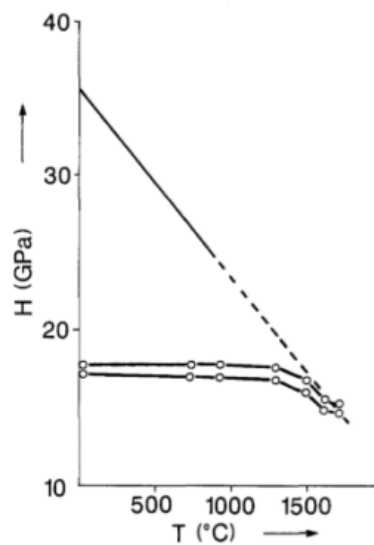


Рисунок 1.3 - Залежність твердості В₄С від температури [2].

Значення твердості сягає $HV \approx 35$ ГПа. При збільшенні вмісту С в області гомогенності фази твердість зростає, а вміст вільного вуглецю навпаки пагубно впливає на неї [5]. За твердістю карбід бору поступається тільки алмазу та кубічному нітриду бору.

Щодо механічних властивостей то модуль Юнга становить 320-480 ГПа, модуль зсуву 130-200 ГПа. При збільшенні вмісту вуглецю значення модулів також зростає[5].

Детальніша механічна інформація наведена в таблиці 1.1 [6].

Таблиця 1.1 - Основні механічні властивості гарячепресованого та спеченого B_4C [6].

Властивість	Гарячепресований B_4C	Спечений B_4C	
		1 мас% С	3 мас% С
Загальний вміст С (мас %)	21,7	22,5	24,8
Об'ємна щільність (г/см ³)	2,51	2,44	2,46
Середній розмір зерна (мкм)	5	8	7
Міцність на згин (МН/м ²)	480	351	353
Модуль Юнга (ГПа)	441	390	372
Тріщиностійкість (МПа/м ^{1/2})	3,6	3,3	3,2

Завдяки високим механічним властивостям, малій густині, хімічній стійкості карбід бору знайшов своє застосування в багатьох галузях зокрема як шліфувальний матеріал, термо- та електроізоляційний матеріал також як

компонент високотемпературної кераміки, матеріал для застосування в мікроелектроніці, а ще для створенні важкої та легкої броні [7].

1.1.2 Загальні характеристики та властивості TaB₂

Диборид танталу (TaB₂) являється керамічним високо ковалентним матеріалом з гексагональною кристалічною решіткою типу AlB₂ (рис. 1.4). Період ґратки становить $a = 3,097 \text{ \AA}$, $c = 3,285 \text{ \AA}$ [8].

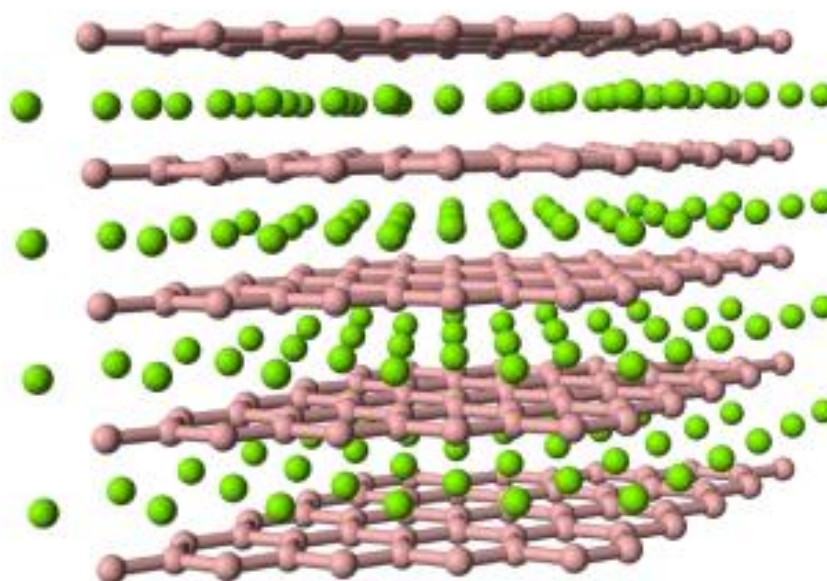


Рисунок 1.4 – кристалічна структура TaB₂ [8].

TaB₂ являється високотемпературною керамікою (УНТС) з температурою плавлення близько 3037°C та мікротвердістю в 25 ГПа [8-9]. За властивостями, диборид танталу, схожий з диборидом титану, диборидом цирконію, диборидом гафнію і ніобій диборидом так як має близький до них питомий електроопір 32,5 мкОм·см та КТР (коефіцієнт термічного розширення) - $7,9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Більше того, цей матеріал володіє фізичними властивостями кераміки та електричними властивостями металів тобто високою твердістю та міцністю, високою теплопровідністю та електропровідністю, а також найвищою температурою плавлення зі всіх відомих матеріалів. Взагалі, високотемпературна кераміка

рахуються найкращими новітніми матеріалами для застосування в аерокосмічній і передових енергетичних системах [10].

Синтез та консолідація TaV₂ проводиться за допомогою іскро-плазмового спікання (ІПС). Утворення Ta та V відбувається при температурі близько 800 °С. Ущільнення при 60 МПа сягає приблизно 96% [10].

Плівки з дибориду танталу мають унікальну властивість що дозволяє їм при високій твердості (>30 ГПа) мати досить низький модуль пружності (200 ГПа) [10].

В таблиці 1.2 наведені значення твердості та модуля пружності плівок TaV₂ при різних розмірах зерен.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості плівок TaV₂ [11].

Розмір зерен, нм	Твердість, ГПа	Модуль пружності, ГПа
~10	40	242
~15	36	237
~20	33	231

Завдяки своїм властивостям TaV₂ є досить цікавим та бажаним матеріалом для екстремальних умов насамперед завдяки високій температурі плавлення, високим термомеханічним властивостям при високих температурах і КТР що дозволяє застосовувати його в енергетичних системах.

1.1.3 Загальна характеристика та властивості SiC

Карбід кремнію (SiC) являється передовим матеріалом для використання в конструкційній кераміці. Завдяки низькому тепловому розширенню, високій теплопровідності, твердості, стійкості до стирання та корозійній стійкості (табл. 1.3), а ще уміння пружно деформуватись при температурах до 1650°C, веде до колосального розширення меж застосування [12].

Карбід кремнію існує в двох модифікаціях, а саме в кубічній $\beta(3C)$ -SiC та гексагональній α -SiC (6H)-SiC. Кристалічні структури зображені на рисунку 1.5. Кубічний карбід кремнію має решітку типу цинку. В модифікації α -SiC об'єднується багато схожих по структурі політипів. Відомо понад 200 політипів SiC і з кожним дослідженням їх число росте. При цьому, політипи SiC, відрізняються своїми фізичними властивостями [13].

Модуль пружності, модуль теплового розширення залежать від характеристики безпосередньо самого кристала, а теплопровідність чи теплова дифузія SiC, зазвичай, значно вищі, ніж у суміжних конструкційних керамічних матеріалів. При цьому, стійкість до теплового удару є значно нижчою за нітрид кремнію, але не поступається конструкційній кераміці з діоксиду цирконію. Все це на пряму залежить від умов експлуатації матеріалу. Так, високий градієнт температури призводить до переваги Si₃N₄ над SiC, в той час як для не значних змін температури висока теплопровідність SiC призводить до кращої продуктивності застосування [13].

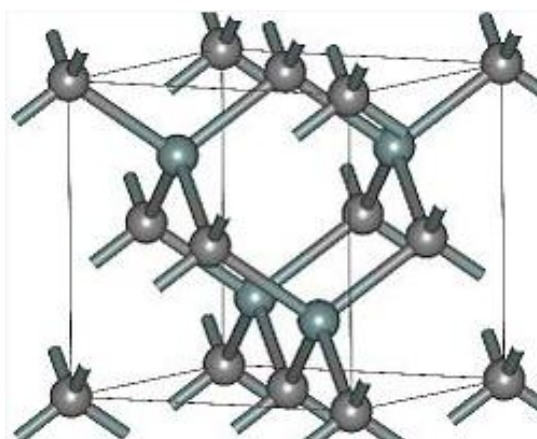
Таблиця 1.3 - Фізико-механічні властивості SiC [12].

Властивість	Значення
Густина (г/см ³)	3,1
Міність на згин (МПа)	550
Модуль пружності (ГПа)	410
Коефіцієнт Пуассона	0,14
Міцність на стиск (МПа)	3900
Твердість (кг/мм ²)	2800
Тріщиностійкість (МПа/м ^{1/2})	4,6
Максимальна робоча температура (°C)	1650
Коефіцієнт теплопровідності (Вт/(м·K))	120

Продовження таблиці 1.3

1	2
КТР ($10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	4
Питома теплоємність (Дж/(кг·К))	750

Через незначну долю знаходження в природі зазвичай отримують синтетичним шляхом в виді порошку. Насамперед, методи синтезу зводяться до спікання вуглецю з кремнеземом при температурах 1600-2500 $^\circ\text{C}$. чистота порошку при цьому залежить від відстані до вуглецевого резистора в нагрівачеві. Зараз чистий карбід кремнію методом термічного розкладання поліметилсилану, при досить низьких температурах в інертному газі.



а)



б)

(а) - $\beta(3C)\text{-SiC}$; (б) - $\alpha\text{-SiC (6H)\text{-SiC}}$.

Рисунок 1.5 – Кристалічні структури політипів SiC [13].

Карбід кремнію використовують в якості абразивного матеріалу для шліфування, піскоструминної обробки, підшипники. Висока термостійкість дає змогу використовувати його в високотемпературних печах. Також, використовують в якості напівпровідника в електротехніці [14].

1.2 Характеристики подвійних систем

1.2.1 Фізичні та механічні властивості системи B_4C - SiC

B_4C являється надзвичайно унікальним матеріалом з високою твердістю, низькою щільністю, хімічною байдужістю та здатністю до поглинання нейронів. При цьому, низька міцність і в'язкість руйнування значно обмежують області застосування. В додачу, через переважаючий ковалентний зв'язок, високу стійкість до ковзання зерна та відсутність пластичності сильно ускладнюють ущільнення, а в результаті чого і економічну складову використання B_4C . З цими проблемами борються декількома методами, такими як зменшення розміру зерна та поєднання його з іншими матеріалами для отримання гібридної структури. Також, при невпорядкованості перетворень підчас спікання проходить ущільнення, що дає можливість отримати щільну кераміку B_4C при низьких температурах[15].

Багато робіт було присвячено системі B_4C - SiC, де вміст B_4C не переважав кількох мольних відсотків, адже підвищення вмісту SiC значно прискорювало спікання композиту. При збільшенні вмісту B_4C спікання значно спадало навідь при додаванні в якості агломераційної суміші відносно великої кількості SiC. Попри те, що SiC не плавиться (дисоціює при 3100K) і B_4C має високу температуру плавлення (2700K), зв'язка B_4C - SiC плавиться когерентно в евтектичній зоні B_4C -SiC, при 53 мол.% SiC.(рис.1.6) [17].

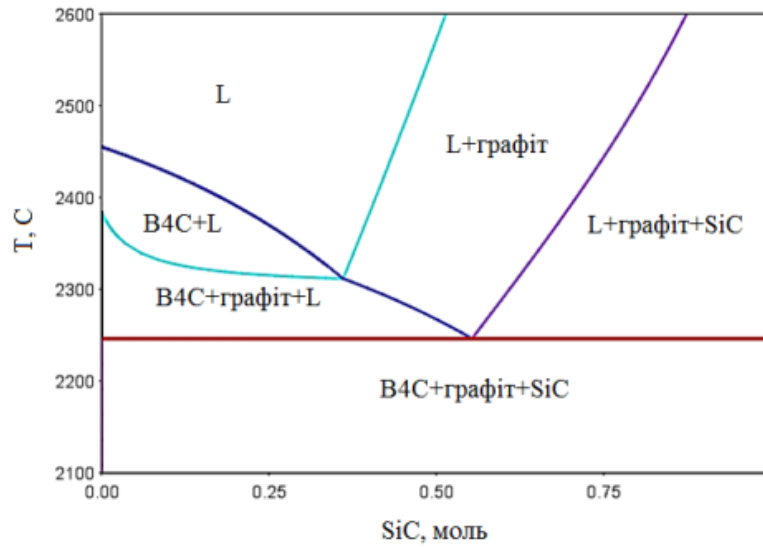
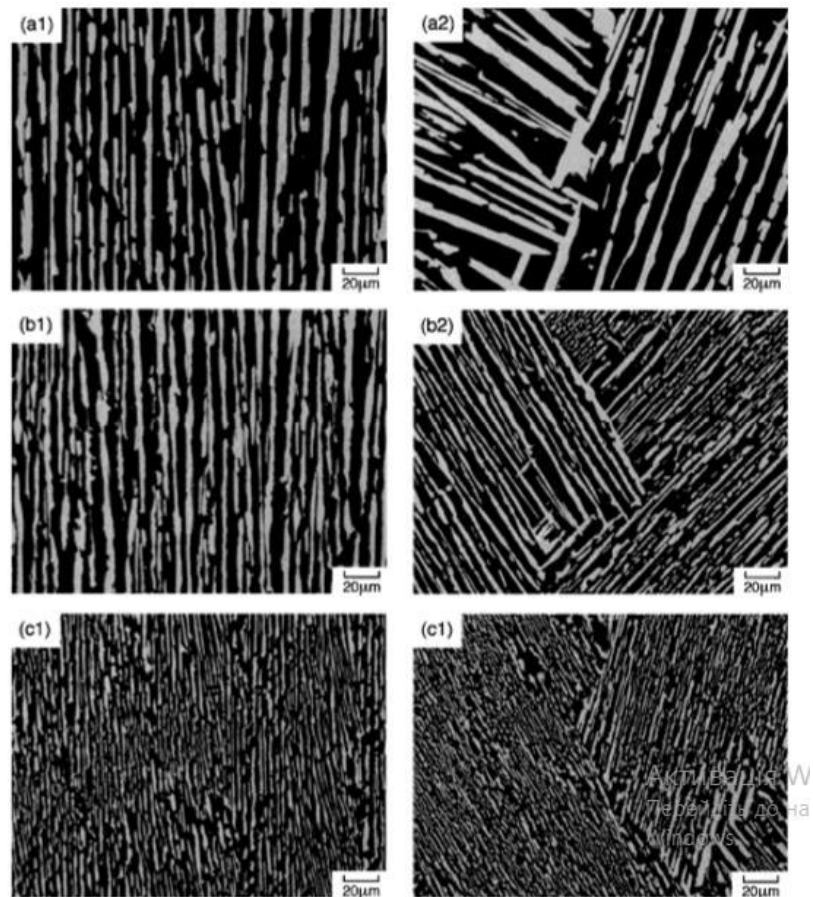


Рисунок 1.6 – Діаграма стану системи B₄C-SiC

Структура матеріалу вздовж та поперек росту зображена на рисунку 1.7.



(a1, b1, c1) – вздовж; (a2, b2, c2) – поперек фронту кристалізації.

Рисунок 1.7 – Структура композиту B₄C-SiC

В таблиці 1.4 спостерігається зростання щільності при збільшенні вмісту SiC. Це відбувається в результаті утворення рідкого Si та видалення вільного вуглецю при спіканні. Відносна щільність твердість по Віккерсу і ударна в'язкість композитів приготовлених методом ІПС 8 мас.% Si досягли 99.1%, 35,5 ГПа та 5МПа відповідно [18].

Таблиця 1.4 - Відносна щільність і механічні властивості композитів B_4C -SiC [18].

Склад	Насипна щільність (г/см ³)	Теоретична щільність (г/см ³)	Відносна щільність (%)	Твердіть (ГПа)	В'язкість (МПа)
B_4C	2,31	2,52	91,7	24,1 ± 2,2	3,34 ± 0,31
B_4C - 15мас%SiC	2,48	2,58	96,1	26,6 ± 2,3	4,98 ± 0,25
B_4C -22 мас.%SiC	2,62	2,64	99,1	33,5 ± 1,3	5,57 ± 0,20

B_4C -SiC отриманий методом зонної плавки має досить високі показники мікротвердості зображені на рисунку 1.8 [18].

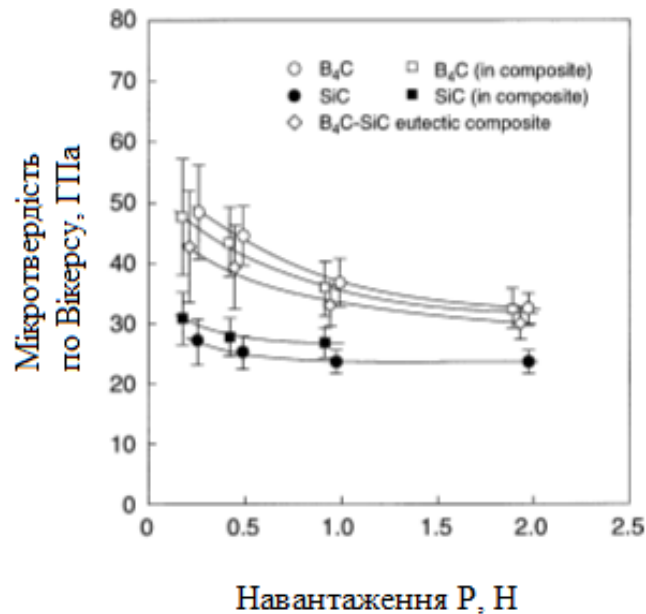


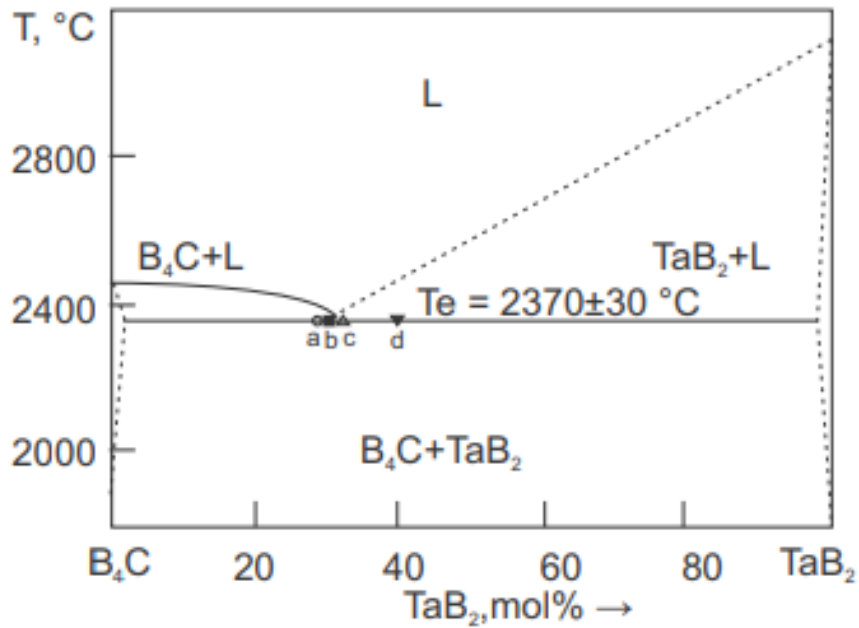
Рисунок 1.8 - Залежність мікротвердості від навантаження систем B₄C-SiC [18].

1.2.2 Фізичні та механічні властивості системи B₄C-TaV₂

Дибориди перехідних металів, вбудовані в матрицю карбиду бору, проявляють хороші механічні властивості та вважаються привабливими матеріалами для високотемпературних застосувань [19].

Зокрема, B₄C-TaV₂ залишається недослідженим серед композитів типу B₄C-Me(IV-V)V₂. Складність дослідження полягає в високій евтектичній температурі (~2640К), що лише трохи нижче ніж для евтектики HfV₂ з карбідом бору (~2650К). Фазова діаграма B₄C-TaV₂ представлена на рисунку 1.9 [19].

Диборид танталу має високу твердість (24 ГПа), хімічну стійкість, високу температуру плавлення, а також хорошу електро- та теплопровідність. Крім того TaV₂ відомий своїм високим модулем пружності 551 ГПа [20]

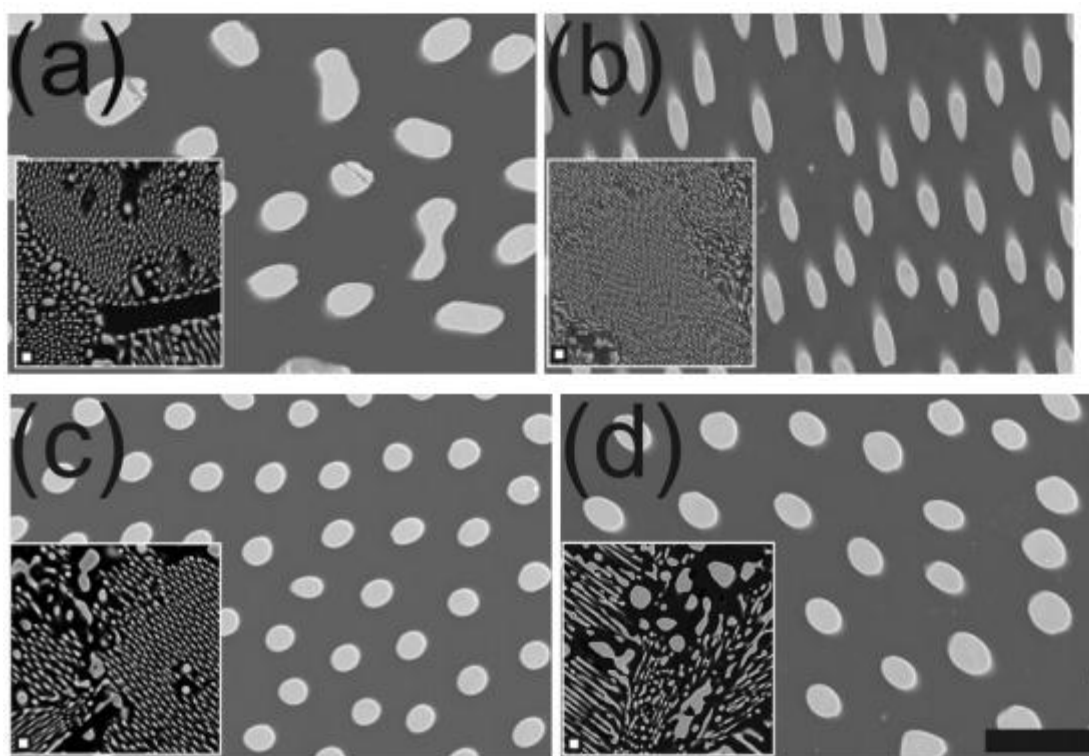


(a) – 30; (b) – 33; (c) – 35; (d) – 40 мол.% TaB₂.

Рисунок 1.9 - Фазова діаграма системи V₄C-TaB₂ [19].

Структура евтектичного композита системи V₄C-TaB₂, що складається з рівномірно розподілених стержнів TaB₂ в матриці V₄C, зображена на рисунку 1.10 [19].

Однією з переваг являється те, що диборид танталу досить хімічно інертний. Він не розчиняється ні при низьких температурах, ні при кипінні і майже в жодних мінеральних кислотах. Діє на нього тільки концентрована сірчана і фосфорна кислота при нагріванні [33].



(a) – 30; (b) – 33; (c) – 35; (d) – 40 мол.% TaB₂.

Рисунок 1.10 – Структура евтектичного сплаву V₄C-TaB₂ [19].

В ході дослідження [21] отримано композитний матеріал V₄C-TaB₂ з 30, 33, 35 і 40 мол. % TaB₂ завдяки високотемпературному іскро-плазмовому спіканні (2350 °C). Автором встановлено, що твердість по Віккерсу досягає 28 ГПа при навантаженні в 9,8 Н.

За рахунок високої твердості кераміка на основі системи V₄C-TaB₂ має потенціал для застосування в різальній техніці, за рахунок високої температури плавлення кераміка може застосовуватись як високотемпературний матеріал.

1.3 Характеристика системи V₄C-MeB₂-SiC

Безкисневі сполуки почали привертати до себе увагу починаючи з другої половини 20-го сторіччя. Специфіка хімічного зв'язку дозволяє використовувати їх в надзвичайно екстремальних умовах, насамперед, завдяки високій міцності, твердості, зносостійкості, можливості використовувати при великих температурах

без зміни механічних характеристик, специфічним електричним характеристикам. Це дає змогу використовувати їх в аерокосмічній та ядерній техніці, оборонній промисловості і багатьох інших сферах [34].

З багатьох методів отримання виділяється саме порошкова металургія, так як є найбільш доцільною та ефективною. Порошкова металургія дає можливість створювати композити різних керамічних груп з прогнозованими властивостями. Контролювати структуру і загалом властивості матеріалу вдається за рахунок чіткого підбору низки параметрів таких як розмір зерен, фазовий склад, пористість. Ці та інші параметри підбираються та ретельно дотримуються, адже незначна їх зміна призведе до зміни структури матеріалу, що вплине на подальші його характеристики [22].

При розробці зносостійких матеріалів широко використовують ковалентні карбіди, такі як SiC і V_4C , вони здатні зберігати високу твердість при високих температурах в різноманітних газових середовищах. Низька дифузійна рухливість, зумовлена силою ковалентного зв'язку, ускладнює виготовлення безоксидної кераміки. Масоперенос прискорюється в результаті використання високодисперсних ($d \ll 1 \mu\text{m}$) порошоків та введенням компонентів які забезпечують спікання матеріалу в присутності рідкої фази, спікання карбіду кремнію з оксидом використовуючи добавки [22].

В якості добавок застосовують бориди металів MeB_2 , що сприяє підвищенню робочих температур та механічних характеристик композиту.

В таблиці 1.5 наведено дані дослідження евтектичних перетворень у системах типу SiC– $Me^d B_2$ – V_4C [34].

Таблиця 1.5 - Склад і евтектичні температури в граничних квазібінарних з'єднаннях систем SiC–Me^dB₂– B₄C [34]

Система	T _{евт} , °C	Вміст Me ^d B ₂ в евтектиці, мол%
SiC–B ₄ C	2150	57
SiC–TiB ₂	2250	34
SiC–ZrB ₂	2280	28
SiC–HfB ₂	2360	24
SiC–VB ₂	2130	50
SiC–NbB ₂	2247	39
SiC–TaB ₂	2300	35
SiC–CrB ₂	2050	75
SiC–W ₂ B ₅	2060	70
B ₄ C–TiB ₂	2200	24
B ₄ C–ZrB ₂	2280	25
B ₄ C–HfB ₂	2377	22
B ₄ C–VB ₂	2170	47
B ₄ C–NbB ₂	2250	36
B ₄ C–TaB ₂	2370	32
B ₄ C–CrB ₂	2147	70
B ₄ C–W ₂ B ₅	2130	60

Встановлено, що всі квазібінарні граничні системи SiC–B₄C–Me^dB₂ – евтектичні, з обмеженою розчинністю компонентів в твердому стані [23,24].

Область розрізу SiC–B₄C–Me^dB₂ на діаграмі B–C–Si–Me^d зображено на рисунку 1.11 [24].

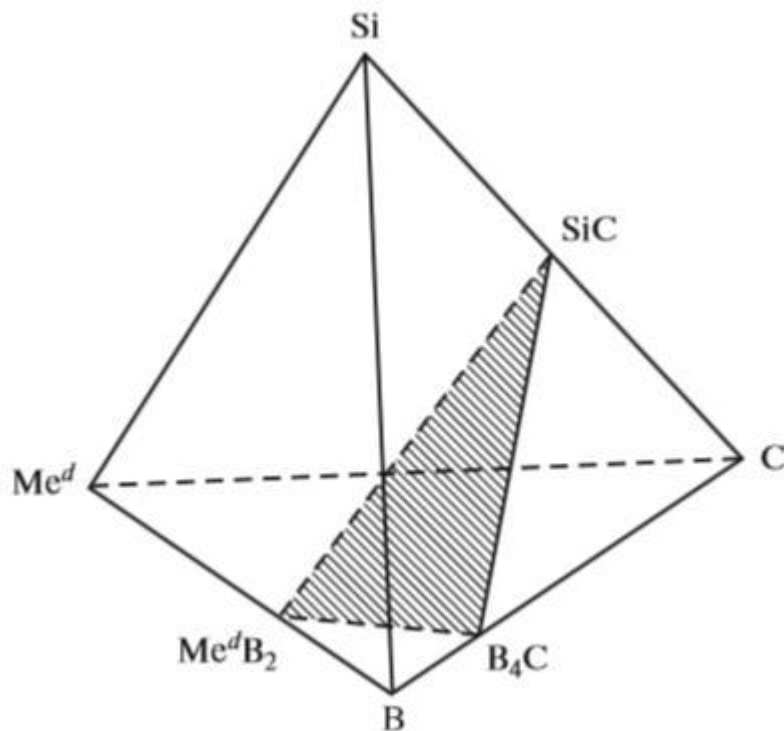


Рисунок 1.11 – Фазова діаграма системи B-C-Si-Me^d [24]

Розрахунковий вміст та температури плавлення потрійних евтектик зображені на рисунку 1.12 та в таблиці 1.6 [25].

В таблиці 2.6 явно демонструється зниження $t_{\text{евт}}$ в потрійних системах в порівнянні з $t_{\text{пл}}$ введеного бориду, причому найбільше зниження температури проглядається в системах з найбільш тугоплавкими диборидами. Таким чином, в системах SiC—B₄C—HfB₂, SiC—B₄C—ZrB₂ і SiC—B₄C—TiB₂ величина відносного зниження температури сягає $\Delta t = 37, 38$ та 39% відповідно, тоді як в системах SiC—B₄C—CrB₂ вона нижче 12% .

Вміст найтвердіших матеріалів без оксидних з'єднань при розробці кераміки стимулює акцентування їх застосування в якості зносостійких об'єктів—керамічних деталей, покриттів. Не варто забувати, що матеріали на основі цих систем характеризуються наявністю електропровідності, підвищеною жаростійкістю.

Таблиця 1.6 - Температури плавлення потрійних евтектик ($t_{\text{евт}}$) та концентрацій диборидів в евтектиці ($X_{\text{евт}}$) в системах SiC–B₄C–Me^dB₂ [25].

Дибориди	$t_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{евт}}, ^\circ\text{C}$	$X_{\text{евт}}, \text{мол.}\%$	$\Delta t, \%$
CrB ₂	2200	1945	61,6	12
VB ₂	2750	1875	42,8	32
NbB ₂	3000	2024	29,0	33
TaB ₂	3100	2116	25,5	32
TiB ₂	2225	1945	17,7	40
ZrB ₂	3250	2010	15,5	38
HfB ₂	3350	2110	14,0	37

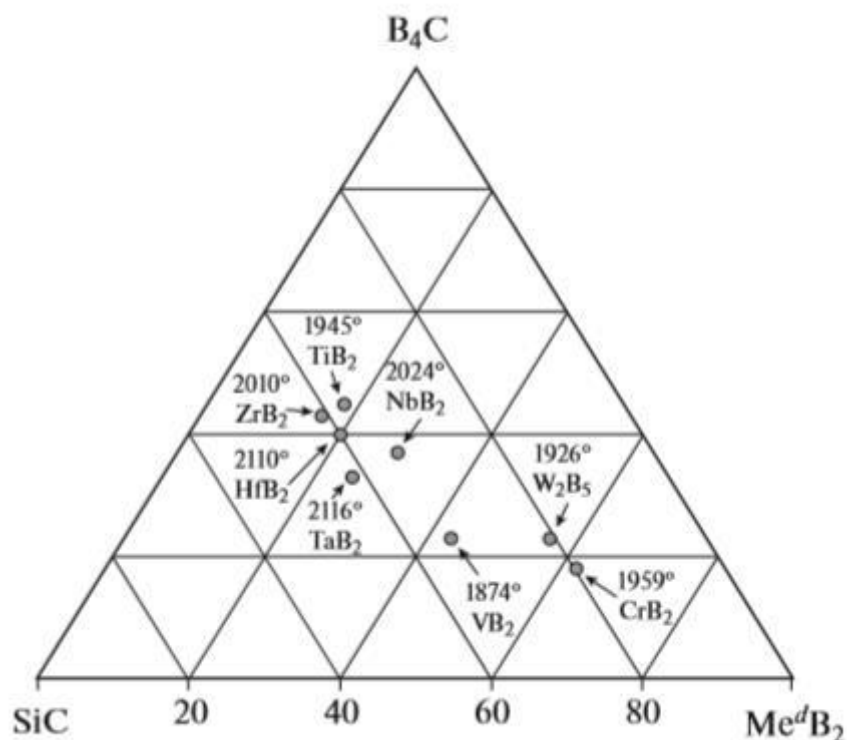


Рисунок 1.12 – Розраховані композиції (мол.%) і точки плавлення ($^{\circ}\text{C}$) потрійної евтектики в узагальненій фазовій діаграмі системи $\text{SiC-B}_4\text{C-Me}^d\text{B}_2$ [25]

Стандартне пічне обладнання, а також імпульсні методи нагріву дозволяють отримувати матеріали систем $\text{SiC-B}_4\text{C-Me}^d\text{B}_2$ в залежності від необхідних властивостей матеріалу та структурних особливостей. Інформація складу вище згаданих систем є базою фізико-хімічних напрацювань керамічних матеріалів та покриттів застосування яких можливе до температур $\approx 1500^{\circ}\text{C}$.

1.4 Фізичні властивості евтектичних композиційних матеріалів

Так як спрямовано кристалізовані евтектичні композитні матеріали мають високу щільність на межі розділу фаз, низьку питому енергію вони мають фізико-хімічні властивості, що відрізняються від композитів отриманих традиційним методом в оксидних системах [26]. Не слід забувати, що подовжена спрямована мікроструктура має анізотропні властивості, що кардинально впливають на

фізико-механічні властивості. Впливати на міжпластинчасту, а також на міжволоконну відстань можна завдяки регулюванню швидкості кристалізації, а тому вдається контролювати структуру до сотень нанометрів.

1.4.1 Твердість спрямовано закристалізованих композитів

Твердість, більшість отриманих спрямовано закристалізованих евтектичних зразків, вимірюють методом вдавлювання, так як невеликий їх розмір не дозволяє застосувати інші методи вимірювання твердості. В більшості випадків застосовують вдавлювання по Віккерсу, або вдавлювання по Кнупу за відомими стандартами. Твердість на вдавлювання узгоджується з типом вдавлювання та з навантаженнями при вдавлюванні, так як твердість на вдавлювання залежить від навантаження при низьких її степенях [27]. На рисунку 1.13 показано вимірювання мікротвердості за Віккерсом, монолітного V_4C та спрямовано кристалізованого евтектичного сплаву V_4C-TiB_2 наглядно демонструє, що залежність твердості при низьких навантаженнях суттєво більша ніж при великих, так як починається розтріскування матеріалу [28]. Таким чином твердість V_4C-TiB_2 сягає $31,4 \pm 2,1$ ГПа, а для оксидних спрямовано кристалізованих евтектичних сплавів таких як Al_2O_3-YSZ це значення не більше 18-20 ГПа [29].

Твердість евтектик, напряду залежить від розміру мікроструктури яку можна контролювати в кожній системі при стабільній швидкості росту. Твердість на вдавлювання евтектичних сплавів збільшується зі збільшенням швидкості кристалізації, а також при зменшенні міжпластинчастої відстані та відстані.

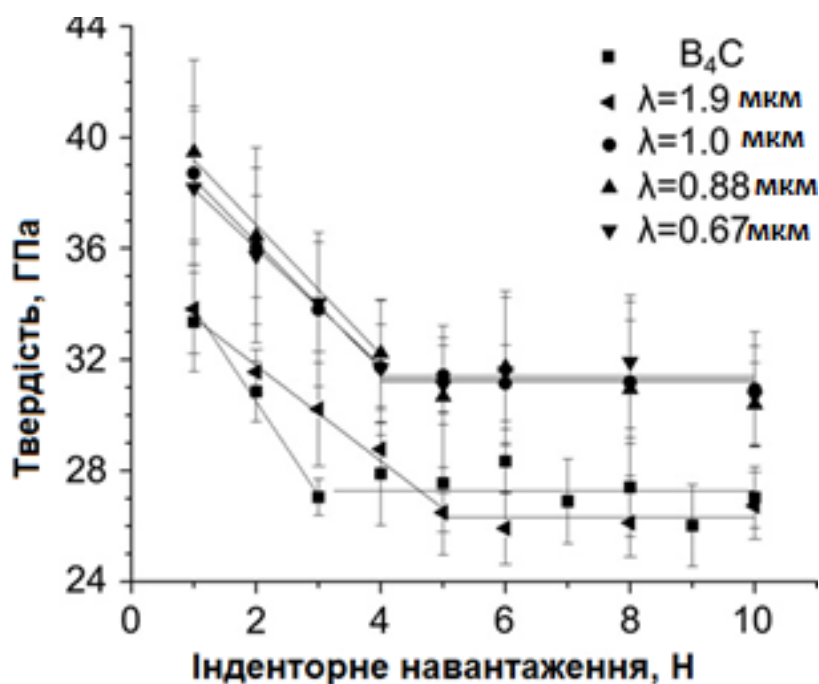


Рисунок 2.13 – Залежність твердості від навантаження в монолітному B_4C та спрямовано кристалізованому евтектичному сплаві B_4C-TiB_2 з різною міжпластинною відстанню.

В окремих випадках за рахунок зменшення мікроструктурного масштабу зменшується і твердість. Це пояснюється утворенням заевтектичних мікроструктур в результаті нестабільного росту евтектики. Поява дендритів в спрямовано кристалізованих сплавах призводить до зменшення міжпластинчатої відстані та збільшення зношуваності матеріалу. Тож морфологічні зміни мають велике значення і сильно впливають на твердість композитів [29].

1.4.1 Стійкість до окислення спрямовано закристалізованих композитів

Високі температури плавлення привертають велику увагу до боридів та карбідів, але не малу роль грає і середовище в якому вони перебувають при високих температурах. Таким чином високотемпературне окиснення боридів та карбідів являється складним процесом, чутливим до температур, тиску кисню,

вологи та інших зовнішніх змінних. В ідеалі, хочеться отримати тонкий захисний оксидний шар, що слугував би бар'єром для подальшого проникнення кисню [30].

Одним з найкращих вирішень проблеми високотемпературного окиснення є розробка композитів, що в основі мають карбід кремнію. Вміст SiC в композитних матеріалах значно знижує їх окиснення що наглядно видно на рисунку 2.14. Незначний приріст маси говорить про вірно вибраний вектор досліджень, та матеріал [31].

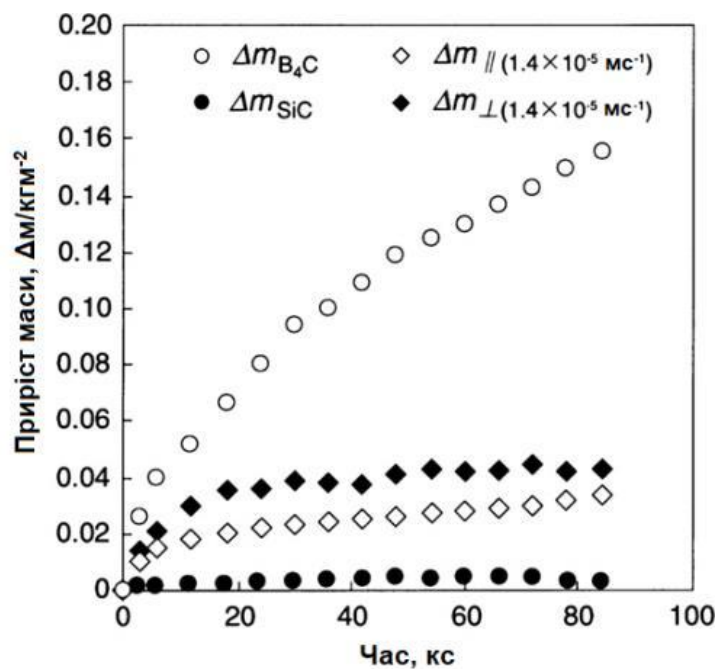


Рисунок 1.14 – Дослідження спрямовано кристалізованого евтектичного сплаву B₄C-SiC при температурі 750 °C в середовищі кисню

Попри всі дослідження, питання окислення спрямовано закристалізованих сплавів лишається відкритим. Тож дослідження впливу мікроструктури евтектики на окиснення є маловивченим процесом.

1.4.2 Електричні властивості спрямовано закристалізованих композитів

Незважаючи на те, що механічні властивості були основним напрямком досліджень боридних та карбідних спрямовано закристалізованих евтектик, деякі дослідження дозволили оцінити їх електричні та термічні властивості [32]. Оскільки як електропровідність, так і теплопередача залежать від мікроструктури та можливості розсіювання на границі розділу між фазами в композиційних матеріалах, мікроструктурне вирівнювання та висока щільність на границі розділу між фазами, властиві спрямовано закристалізованому сплаву, можуть призвести до унікальних і, можливо, адаптованих властивостей переносу. Крім того, через велику анізотропію мікроструктури і сильну кристалографічну текстуру в спрямовано закристалізованих евтектичних сплавах, властивості переносу також змінюються в залежності від орієнтації зразка. Електропровідність спрямовано закристалізованого сплаву B_4C-SiC залежить від температури і зменшується зі збільшенням температури в інтервалі температур 343-1073 К [32], що відповідає напівпровідниковим складовим фаз.

У цьому випадку мікроструктура є пластинчастою, але в провідності все ще є деяка анізотропія. Для прогнозування вимірюваних провідностей досить добре працює правило сумішей, що свідчить про те, що фаза B_4C вищої провідності є безперервною вздовж напрямку росту, і що розсіювання на границі розділу між фазами не відіграє суттєвої ролі у питомому опорі зразка. Виходячи з поєднання електричних, механічних та термічних властивостей, спрямовано закристалізовані евтектичні композиційні матеріали на основі B_4C , SiC та боридів металів можуть бути потенційними матеріалами для застосування у ракетній та ядерній техніці, в якості матеріалів, що мають низький КТР, високу корозійну стійкість та відмінні механічні властивості [32].

1.5 Висновки та постановка задач дослідження

Встановлено, що спрямовано закристалізовані евтектичні сплави на основі карбіду бору та боридів перехідних металів мають значно вищі фізико-механічні характеристики в широкому інтервалі температур, ніж такі ж композити, отримані методами порошкової металургії. Сплави системи $B_4C-Me^{IV}B_2$ мають високі твердість та міцність, а також низьку питому вагу, що дозволяє застосовувати їх у військовій техніці та засобах індивідуального захисту.

Слабким місцем даних матеріалів є досить низька стійкість до окислення. Вирішити цю проблему може додавання SiC. Проте вплив карбіду кремнію на сплави даної системи вивчений недостатньо.

Таким чином метою даної роботи є дослідження структури та властивостей сплавів квазіпотрійної системи B_4C-TaB_2-SiC .

Для досягнення поставленої цілі необхідно виконати наступні завдання:

- а) пошук та аналіз літератури по сплавах системи B_4C-TaB_2-SiC ;
- б) отримання методом безтигельної зонної плавки композитів системи B_4C-TaB_2-SiC ;
- в) дослідження структури та мікромеханічних властивостей спрямовано закристалізованих сплавів системи B_4C-TaB_2-SiC .

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика отримання зразків

Процес виготовлення спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів включає в себе дозування порошків, приготування суміші евтектичного складу, пресування стержнів і безтигельну зонну плавку. Технологічна схема показана на рисунку 2.1.

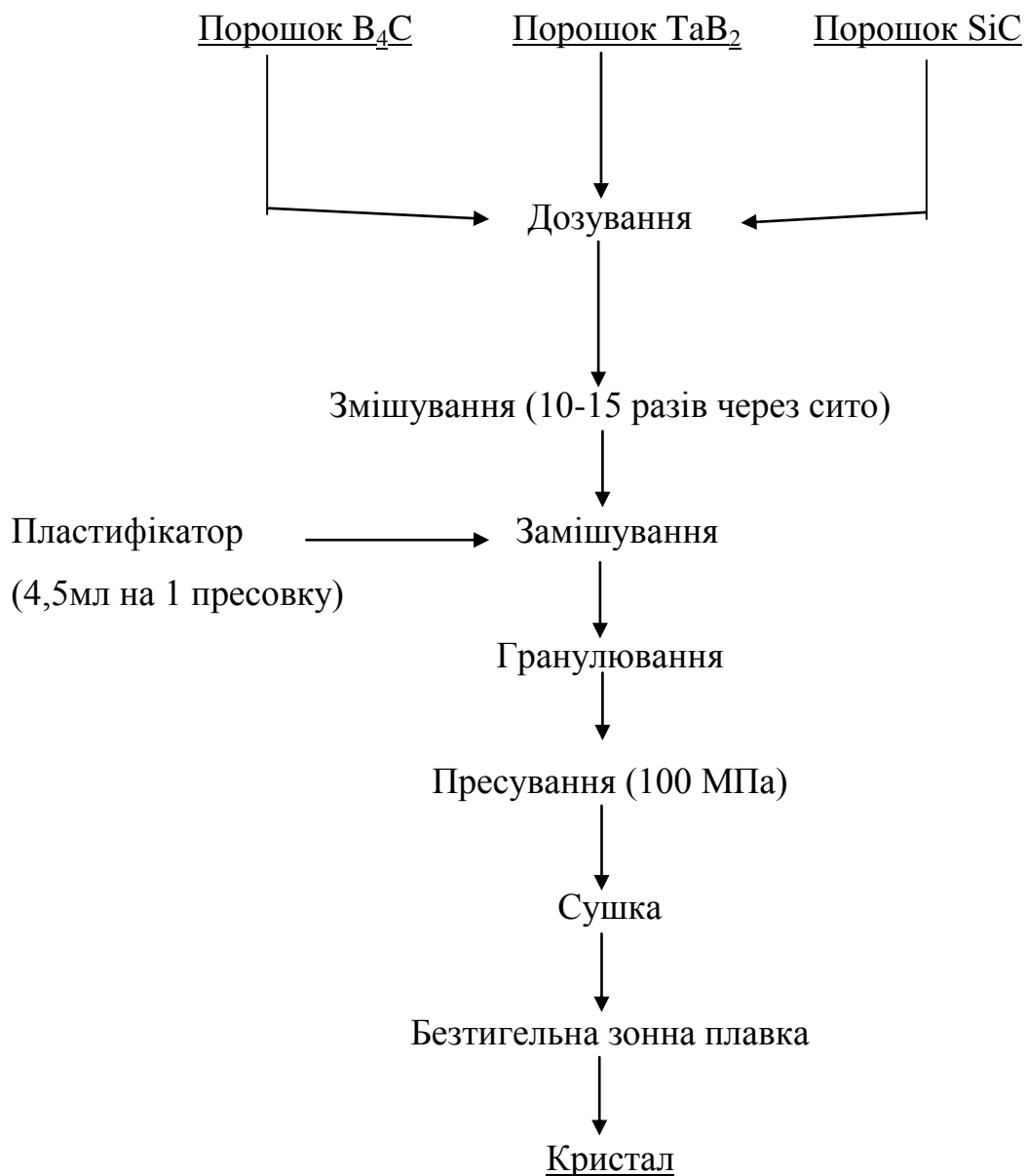


Рисунок 2.1 – Технологічна схема одержання спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів.

2.2 Вихідні матеріали

В якості вихідних матеріалів використовувались дрібнодисперсні порошки B_4C , TaB_2 та SiC . Відсотковий склад компонентів у сумішах представлений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вміст компонентів у вихідних сумішах

Суміш B_4C - TaB_2 - SiC	Вміст компонентів, мол.%		
	B_4C	TaB_2	SiC
1	50	20	30
2	50	15	35
3	45	15	40

Вибір саме таких сумішей пояснюється тим що вони теоретично єнаближеними до евтектичної.

2.2.1 Визначення евтектичного складу

Відомо, що за допомогою спрямованої кристалізації можна визначити точний склад евтектичного сплаву [35]. Даний метод заключається в тому, що потрібно приготувати зразок з наближеним до евтектичного складом, закристалізувати його методом зонної плавки і кількісним металографічним аналізом по характерних евтектичних ділянках у кінцевій частині вирощеного кристалу визначити точний вміст компонентів у евтектиці.

В трикомпонентній системі склад сплавів, структурних складових та фаз визначається за допомогою концентраційного трикутника. Температура відкладається по осі, яка є перпендикулярною до площини трикутника. Таким чином, для зображення потрібної системи застосовують просторову модель, що представляє собою тригранну призму (рис. 2.2) [36].

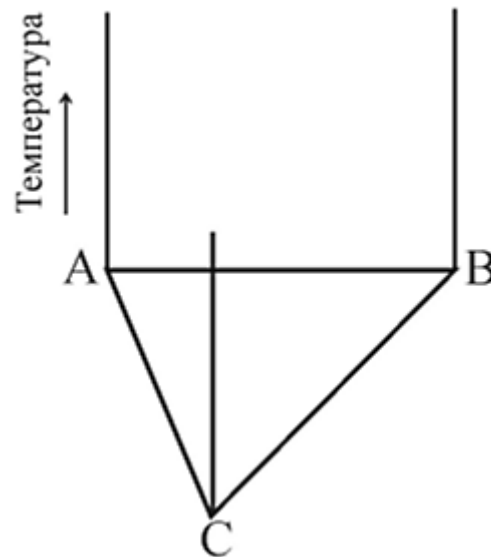


Рисунок 2.2 Просторове зображення трикомпонентної системи [36]

Найпростішим способом для визначення хімічного складу точки, що знаходиться всередині концентраційного трикутника є спосіб, коли з фігуративного точки X, склад якої необхідно визначити, на будь-яку зі сторін трикутника проводять лінії паралельні сторонам концентраційного трикутника (рис. 2.3). Обрана для визначення хімічного складу сторона розбивається на три відрізка, відповідних концентрації компонентів A, B і C в точці X [36].

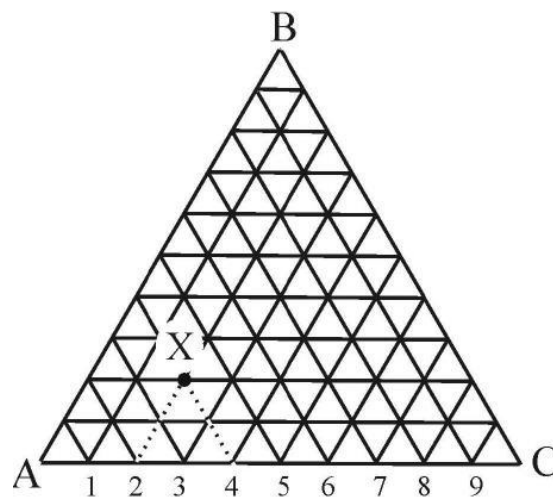


Рисунок 2.3 – Кількісне визначення складу в точці X [36].

Зразки з даним складом матеріалів були виплавлені на установці «Кристал – 206» та в подальшому досліджено їх мікроструктуру та механічні характеристики.

2.2.2 Одержання заготовок для вирощування кристалів

Дозування порошків проводиться на лабораторних терезах, змішування на лабораторних ситах (протирати через сито 10-15 разів). В якості пластифікатору використовується полівініловий спирт. Він додається в вигляді 2.5 % -го водного розчину в кількості 4,5 мл на 1 пресовку. Отриману суміш протирати через сито (грануляція) і спресувати. Розрахунок кількості порошку необхідної для пресування однієї заготовки проводиться по формулі:

$$G=V\rho_k(1-\Pi)K, \quad (2.1)$$

де G – маса порошку (г);

V – об'єм пресовки (см^3);

ρ_k – густина компактного матеріалу ($\text{г}/\text{см}^3$);

Π – пористість пресовки;

K – коефіцієнт ($K=1.01$).

Об'єм пресовки визначається по формулі:

$$V=\pi h d^2/4, \quad (2.2)$$

де d – діаметр пресовки (см);

h – довжина пресовки (см).

2.2.3 Пресування стержнів

Пресування стержнів довжиною 145 мм и діаметром 10 мм здійснюється на гідравлічному пресі в розбірній прес-формі, спрєктованій на кафедрі ВТМ та ПМ Інженерно-фізичного факультету спеціально для пресування довговимірних пресовок для зонної плавки.

Після пресування стержні маломіцні, і тому потребують обережного поводження з ними. Вони розміщуються на скляних пластинках, які завантажуються в вакуумну шафу.

2.2.4 Сушка стержнів

Сушка використовується для видалення вологи з заготовок, а також підвищення їх міцності за рахунок полімеризації пластифікатора. Сушка стержнів проводиться при температурі 100 °С на протязі 9 годин в вакуумній сушильній шафі.

2.2.5 Безтигельна зонна плавка

Вирощування кристалів здійснюється з допомогою безтигельної зонної плавки в установці "Кристал-206". Це індукційна установка призначена для вирощування високочистих монокристалів кремнію.

Одержані пресовані стержні закріплюються в робочій камері пічного блоку установки "Кристал-206" в затискач нижнього рухомого штоку, в аналогічний затискач верхнього рухомого штоку закріплювалася затравка, яка складалася із 2 частин: монокристалічної і полікристалічної. Після закріплення штоки приводилися в дію із ціллю підведення затравки до стержня – по можливості відстань між затравкою і не спеченою пресовкою повинна бути мінімальною. Обидва затискачі мають цангову конструкцію і виконуються з нержавіючої сталі. Зображення установки для отримання спрямовано закристалізованих композитів «Кристал-206» зображено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Конструкція установки "Кристал-206"

Після закріплення стержня камера герметизується і вакуумується до 10- 3Па. Плавку проводять в атмосфері інертного газу з надлишковим тиском 1 атм, що перешкоджає інтенсивному випаровуванню кристалу при температурі плавлення. Випаровування домішок і самого розплавленого матеріалу може привести до спалахування розрядів у камері. Для перешкодження цього камера заповнюється гелієм.

Після появи розплавленої зони включається рух зразка і він переміщується з встановленою швидкістю відносно індуктора. Температура кристалізації контролювалась за допомогою пірометра "Промінь". В якості затравок для вирощування кристалів спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів системи V_4C-TaB_2-SiC використовувалася полікристалічна заготовка аналогічного складу. Це дає змогу не вводити в зону розплаву додаткові домішки.

Одержаний спрямовано закристалізований композит має наступний вигляд (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Спрямовано закристалізований евтектичний композит.

Одержані кристали розрізались на електроерозійному станку в повздовжньому та поперечному напрямках.

2.3 Металографічні дослідження

Дослідження проводились за допомогою електронного растрового мікроскопа з камерою низького вакууму Selmi РЭМ 106 (рис. 2.6).

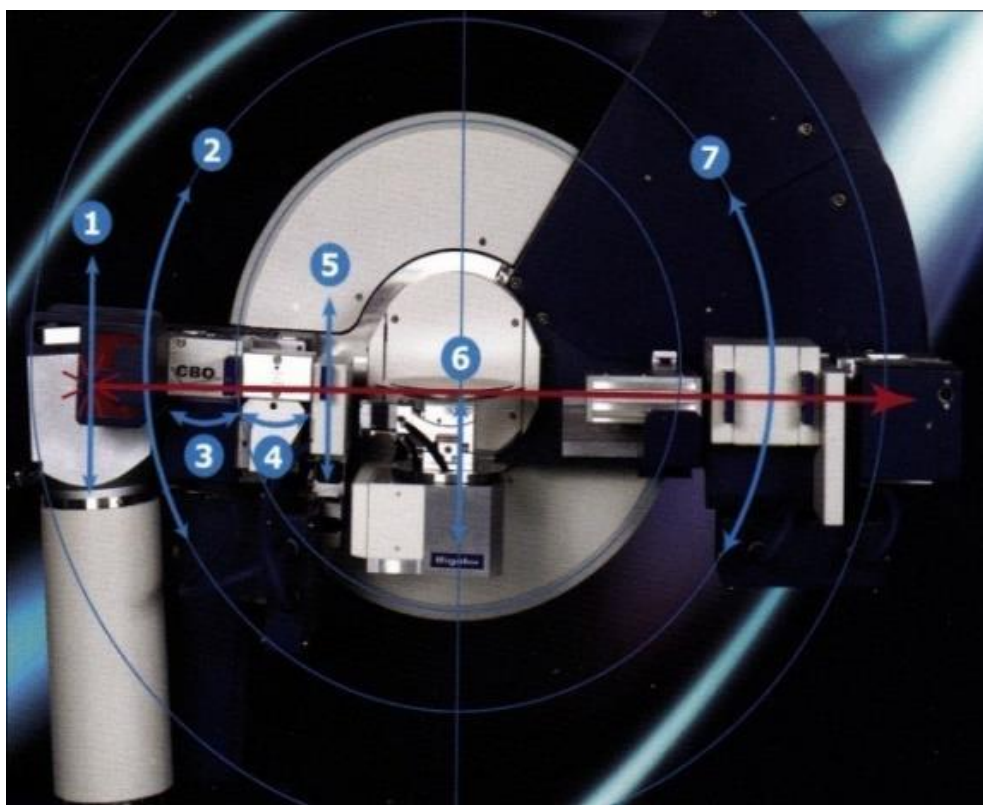


Рисунок 2.6 – растровий електронний мікроскоп Selmi РЭМ 106

Для проведення металографічних досліджень зразки були відшліфовані за допомогою алмазного круга для того, щоб видалити всі нерівності та досягти дзеркальної поверхні, та запресовані у порошок бакеліту.

2.4 Рентгенофазовий аналіз

Для дослідження фазового складу сплавів було проведено рентгенофазовий аналіз. Дослідження фазового складу сплавів проводились на установці Rigaku Ultima IV для сплавів досліджуваних складів. Схема камери установки показана на рисунку 2.7.



1 – висота джерела; 2 – кут джерела; 3 – поперечна оптична балка; 4 – кристалооптика; 5 – висота прорізу; 6 – поверхня зразка; 7 – кут ходу детектора

Рисунок 2.7 – Схема установки Rigaku Ultima IV

Фазовий аналіз - встановлення наявності фаз в досліджуваному зразку, та проведення їх ідентифікації (якісний аналіз), визначення відсоткового вмісту фаз (кількісний аналіз) [37].

2.5 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості сплаву системи

Перед проведенням дослідження порошки були запресовані в бакеліт та ретельно шліфувалися за допомогою алмазного круга на шліфувальному станку.

Значення мікротвердості та тріщиностійкості сплаву системи В₄С- NbB₂- SiC визначали за допомогою мікротвердоміра MНV-1000 та оптичного мікроскопу Neophot 21. Навантаження на зразок - 30 Н. Час витримки становив 10 с. Формула для визначення мікротвердості:

$$H\mu = \frac{P}{F} = \frac{P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{1,854 \cdot P}{d^2} \quad (2.3)$$

де P – навантаження,

F – площа бокової поверхні відбитка,

α – кут при вершині алмазної піраміди,

d – діагональ відбитку.

Тріщиностійкість спрямовано закристалізованих сплавів вимірювалась за методикою мікроіндентування, що характеризується меншим впливом структурної неоднорідності і розраховувалась за формулою 2.4:

$$K_{1c} = 0.016 \left(\frac{E}{H_V} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{P}{c^{1,5}} \right) \quad (2.4)$$

де c - половина довжини тріщини, що проходить через відбиток піраміди.

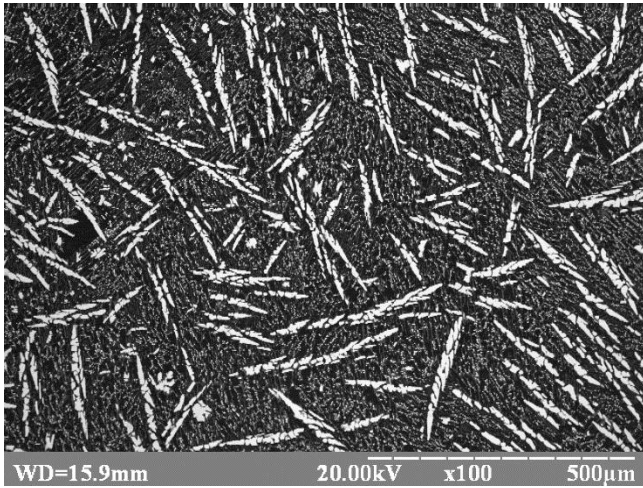
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Дослідження складу компонентів

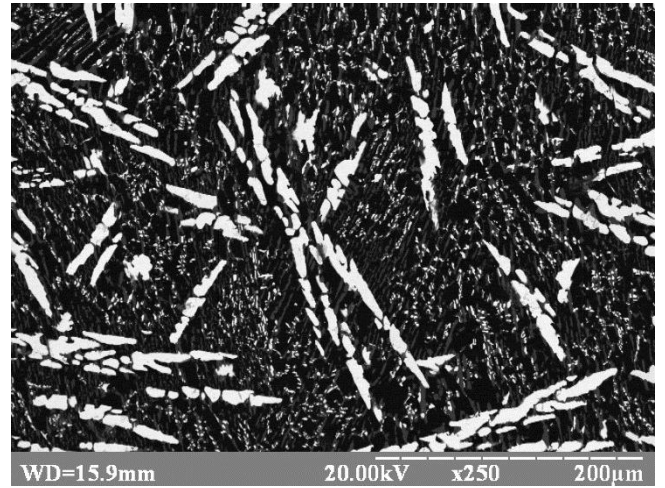
Перед проведенням експерименту було проведено рентгенофазне дослідження кожного з компонентів на вміст домішок та відповідність структури. В ході дослідження відхилень, що могли б перешкоджати проведенню експериментальних дослідницьких робіт, не було знайдено. Всі складові знаходяться в допустимих межах та відповідають заданим стандартам.

3.2 Дослідження структури композитів

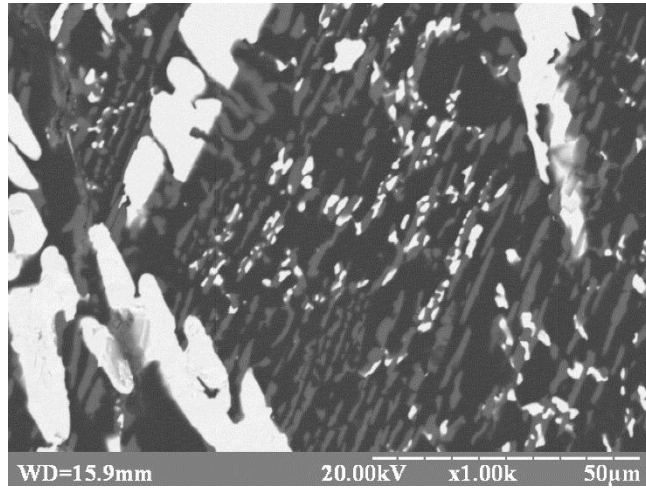
Дослідження композитів, отриманих методом зонної плавки, проводилось при вмісті компонентів (мол.%) $50\text{B}_4\text{C}-20\text{TaB}_2-30\text{SiC}$, $50\text{B}_4\text{C}-15\text{TaB}_2-35\text{SiC}$, $45\text{B}_4\text{C}-15\text{TaB}_2-40\text{SiC}$. Отримані результати показали залежність розташування та розміру зерен від вмісту структурних елементів. Структура композиту $50\text{B}_4\text{C}-20\text{TaB}_2-30\text{SiC}$ в поперечному (рис. 3.1) та повздовжньому (рис. 3.2) до напрямку вирощування перерізу, складається з матриці карбіду бору чорного кольору, присутня велика кількості хаотично розташованих дендритів фази TaB_2 білого кольору, між якими розташовані області двофазної евтектики $\text{TaB}_2\text{-SiC}$ та дрібнозерниста нерівномірно розташована потрійна евтектика $\text{B}_4\text{C-TaB}_2\text{-SiC}$. Розмір зерен TaB_2 знаходиться в межах 5-50 мкм, а розмір зерен фази SiC – від 5 до 20 мкм. Відповідно до температур плавлення компонентів, перш за все, повинні кристалізуватися дендрити TaB_2 , в подальшому формуються ділянки двофазної евтектики $\text{TaB}_2\text{-SiC}$ та в кінці ділянки трифазної евтектики $\text{B}_4\text{C-TaB}_2\text{-SiC}$.



а



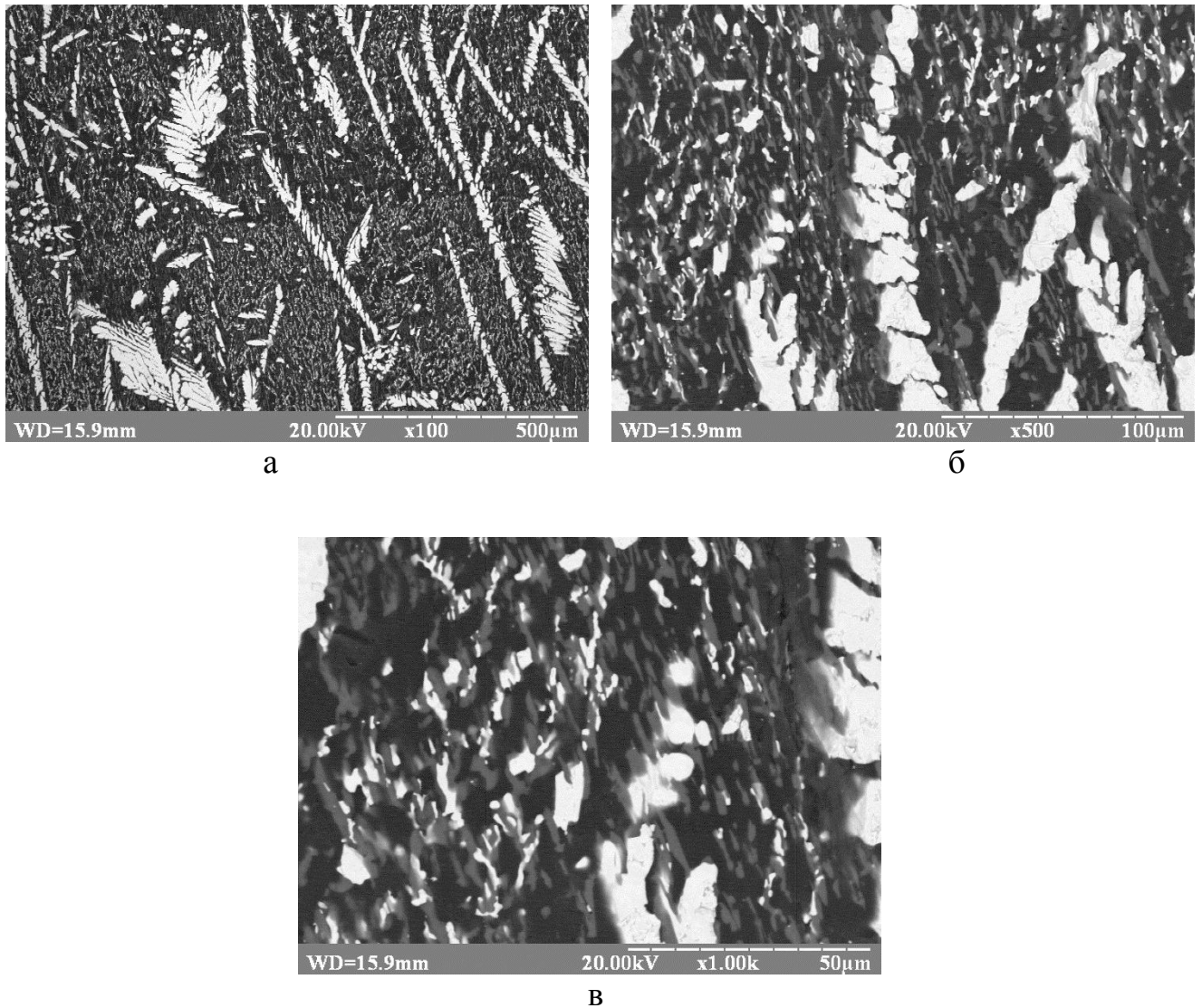
б



в

а – x100; б – x250; в – x1000

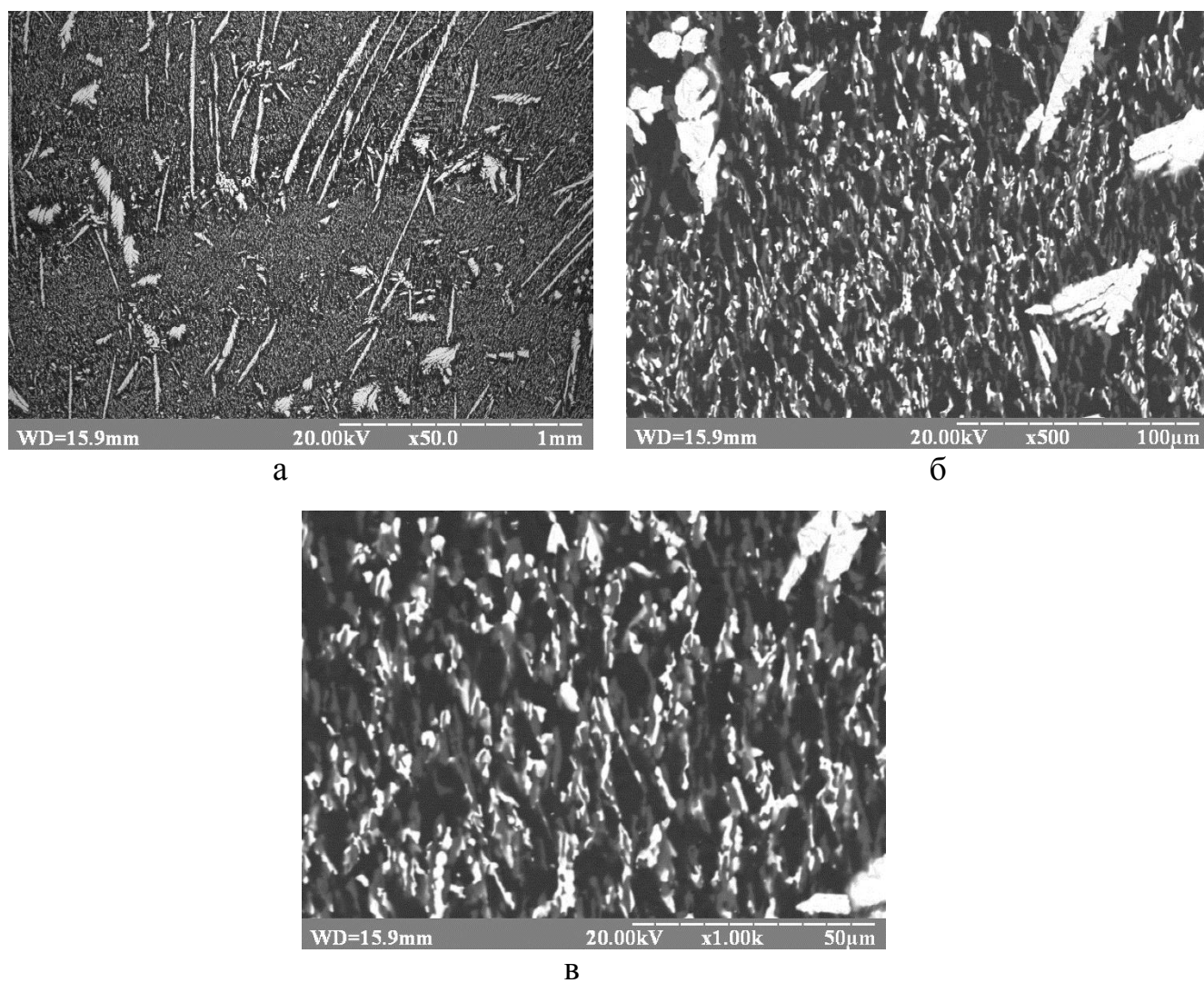
Рисунок 3.1 – Мікроструктура композиту $50\text{B}_4\text{C}-20\text{TaB}_2-30\text{SiC}$ в поперечному перерізі



а – x100; б – x500; в – x1000

Рисунок 3.2 – Мікроструктура композиту $50\text{B}_4\text{C}-20\text{TaB}_2-30\text{SiC}$ в повздовжньому перерізі

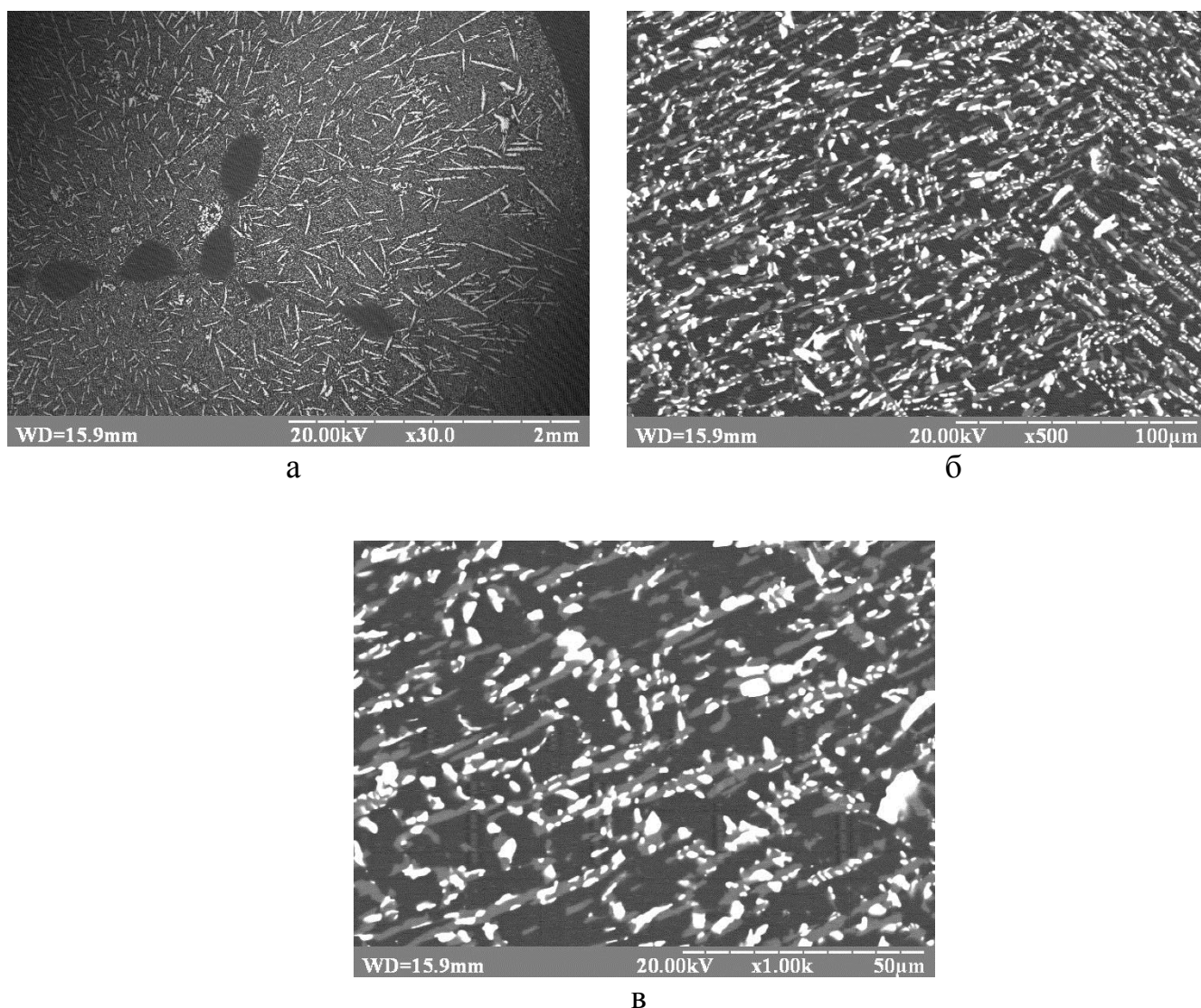
Дослідження ділянок композиту $50\text{B}_4\text{C}-15\text{TaB}_2-35\text{SiC}$ показало (рис. 3.3, 3.4), що він має переважно ламелярну структуру, що складається з матриці карбіду бору (B_4C – чорна фаза) з рівномірно розподіленими включеннями карбіду кремнію (SiC – сірого кольору) та дибориду танталу (TaB_2 – білого кольору). При цьому, включення дибориду танталу знаходяться переважно у області включень SiC . Присутня велика кількість дендритів TaB_2 як в поперечному (рис. 3.3) так і в повздовжньому (рис. 3.4) напрямках.



а – $\times 50$; б – $\times 500$; в – $\times 1000$

Рисунок 3.3 – Мікроструктура композиту $50\text{B}_4\text{C}-15\text{TaB}_2-35\text{SiC}$ в поперечному перерізі

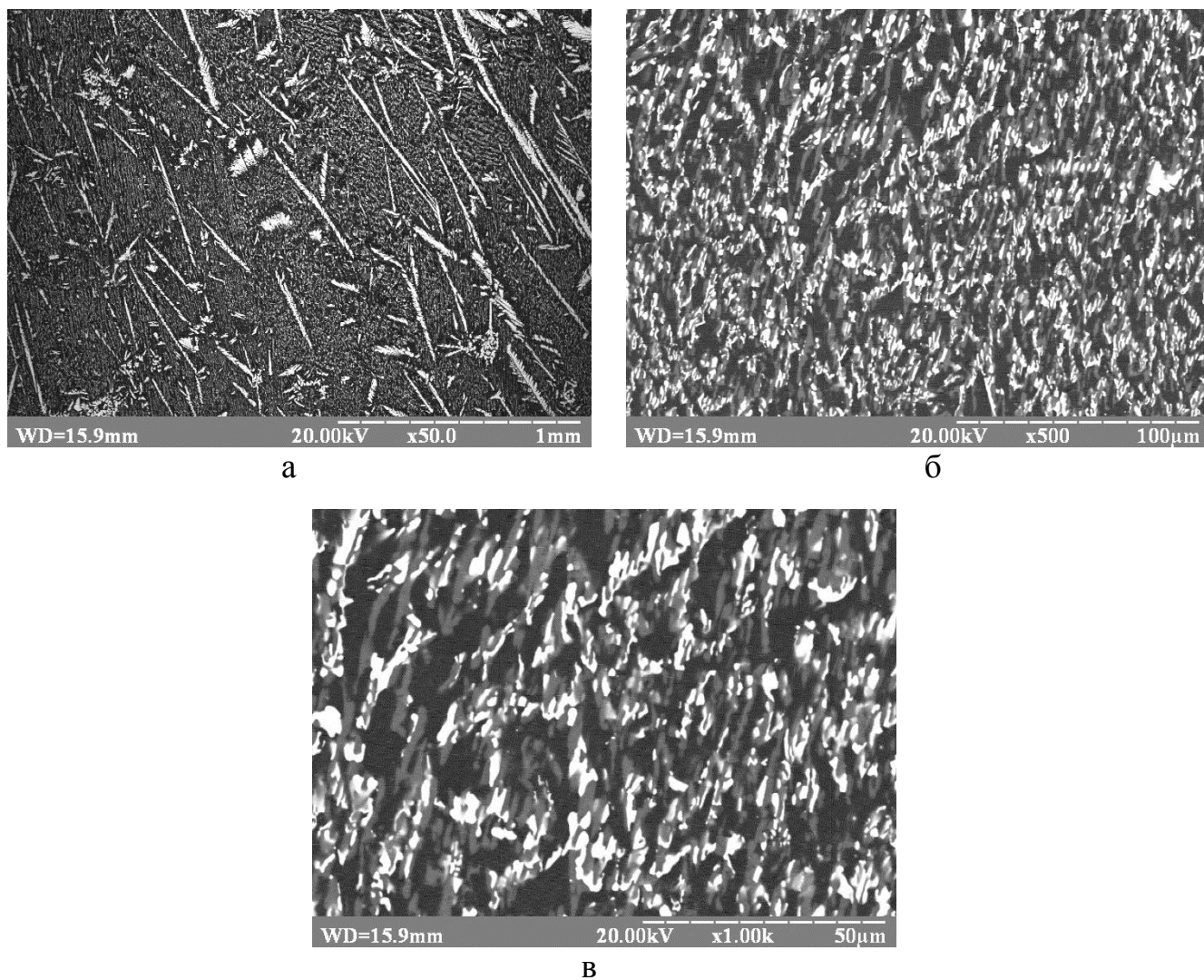
Розмір зерен TaB_2 знаходиться в межах 5-30 мкм, а розмір зерен фази SiC – від 5 до 20 мкм. Для композиту $50\text{B}_4\text{C}-15\text{TaB}_2-35\text{SiC}$ спостерігається більший об'ємний вміст та рівномірність трифазної евтектики (рис. 3.4) в порівнянні з композитом $50\text{B}_4\text{C}-20\text{TaB}_2-30\text{SiC}$ (рис. 3.1, 3.2).



а – x30; б – x500; в – x1000

Рисунок 3.4 – Мікроструктура композиту $50\text{B}_4\text{C}-15\text{TaB}_2-35\text{SiC}$ в повздовжньому перерізі

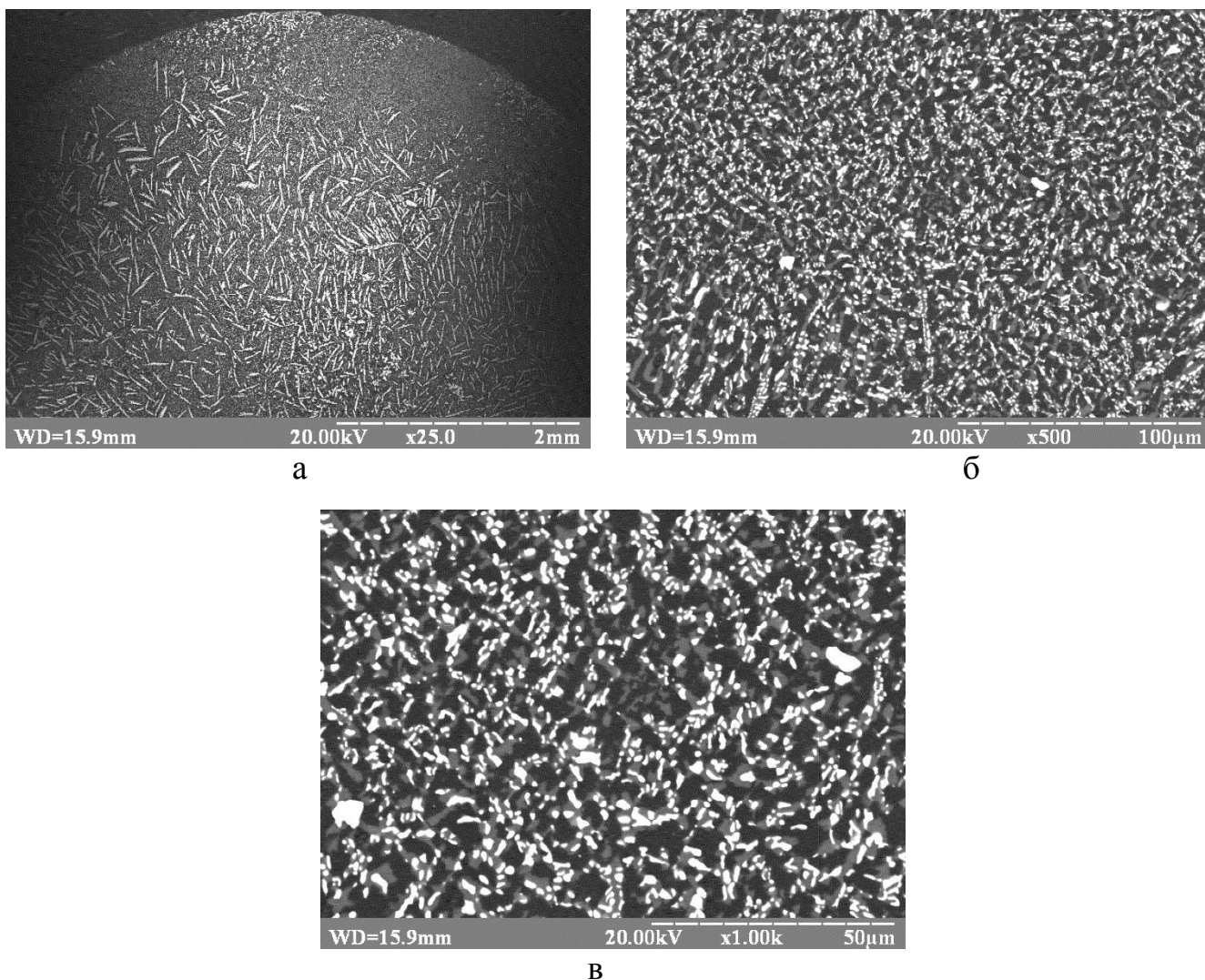
Структура композиту $45\text{B}_4\text{C}-15\text{TaB}_2-40\text{SiC}$ характеризується рівномірним розподіленням подвійних та малої кількості дрібної потрійної евтектики по периферії зразка, та великої кількості довгих дендритів TaB_2 в центрі, як в повздовжньому перерізі (рис.3.4) так і в поперечному (рис. 3.5).



а – x50; б – x500; в – x1000

Рисунок 3.5 – Мікроструктура композиту $45B_4C-15TaB_2-40SiC$ в повздовжньому перерізі

Дослідження мікроструктур показало закономірне покращення структури при зменшенні вмісту TaB_2 , а саме, підвищення об'ємного вмісту трифазних евтектичних зон, більш рівномірну та дрібнозернисту структуру. Також слід звернути увагу, що в сплаві $45B_4C-15TaB_2-40SiC$ розмір евтектичних зерен потрійної евтектики B_4C-TaB_2-SiC майже однаковий (рис.3.5, 3.6). На периферії знаходяться великі ділянки трифазної евтектики що пояснюється великими швидкостями кристалізації під час плавки.



а – x25; б – x500; в – x1000

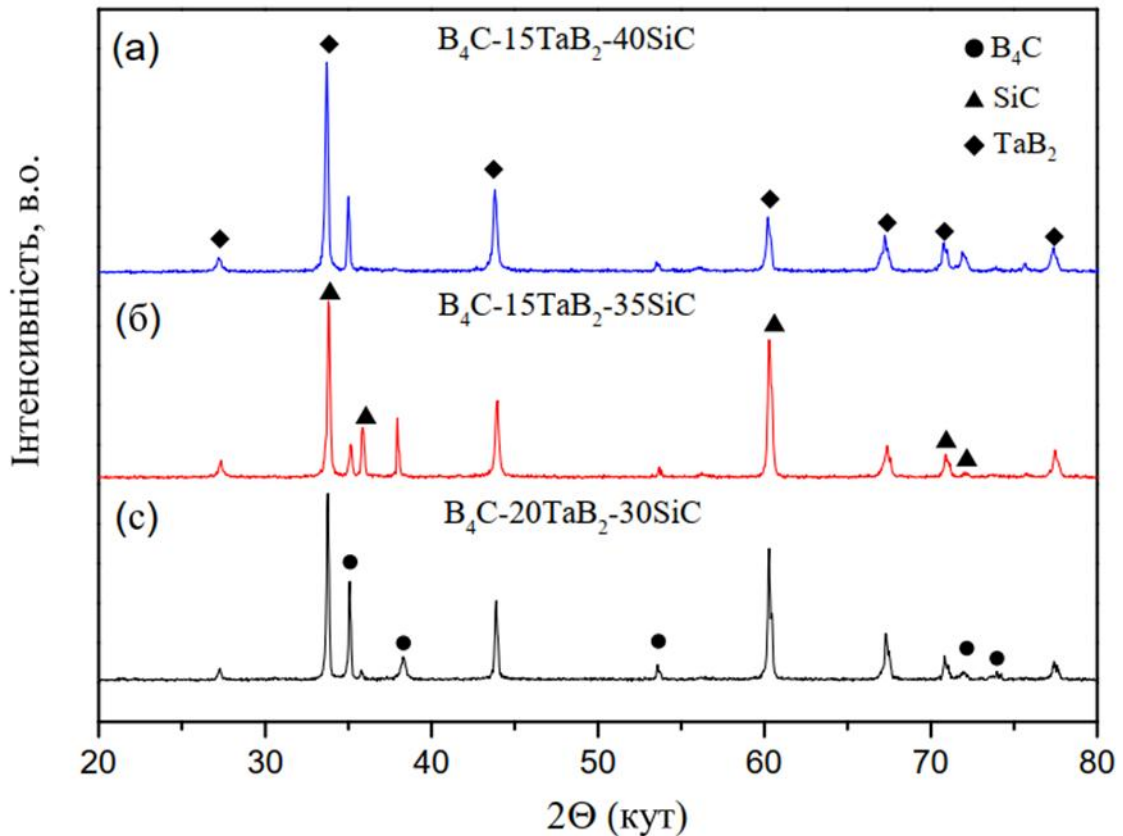
Рисунок 3.6 – Мікроструктура композиту $45B_4C-15TaB_2-40SiC$ в повздовжньому перерізі

Наявність крупних дендритів TaB_2 у всіх досліджуваних зразках говорить про надмірну його кількість, та необхідність зменшувати концентрацію і внесення змін в структуру композиту.

3.3 Рентгенофазовий аналіз

Рентгенофазовий аналіз підтвердив результати металографічного аналізу і показав наявність 3-х фаз: B_4C , TaB_2 та SiC (рис. 3.7). Інших фаз виявлено не

було. Найбільш інтенсивні піки: B_4C в напрямку (104), TaB_2 в напрямку (100), SiC в напрямку (101). Наявність високих максимумів говорить про спрямованість структури матеріалів.



а – $45B_4C-15TaB_2-40SiC$; б – $50B_4C-15TaB_2-35SiC$; в – $50B_4C-20TaB_2-30SiC$

Рисунок 3.7 – Рентгенівські дифрактограми композитів системи B_4C-TaB_2-SiC

3.4 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості

Для отримання даних мікротвердості було проведено дослідження за допомогою мікротвердоміра MHV-1000 та оптичного мікроскопу Neophot 21 з програмним забезпеченням «Imagelab 1.0».

Експериментальні дослідження мікромеханічних властивостей показали, що інтегральна мікротвердість отриманих композитів за Віккерсом (Hv)

підвищувалась зі зменшенням кількості TaB₂ за рахунок формування більшого об'ємного вмісту трьохфазної евтектики. Дещо нижча твердість в зразку 45B₄C-15TaB₂-40SiC відбувся через зменшення вмісту B₄C, так як він має найбільшу твердість – тож зменшення його кількості суттєво відобразилось на отриманих експериментальних даних (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 Дані мікротвердості за Віккерсом досліджуваних композитів

	Напрямок	50B ₄ C-20TaB ₂ - 30SiC	50B ₄ C-15TaB ₂ - 35SiC	45B ₄ C-15TaB ₂ - 40SiC
Мікротвердість за Віккерсом, Hv, GPa	Поперечний	27,14	27,24	26,39
	Повздожний	27,25	27,77	26,57

Для повздожнього напрямку спостерігаються більші значення Hv ніж для поперечного. Це пояснюється анізотропією структури, що виникла в наслідок спрямованої кристалізації зразків.

Графічна залежність дослідженої мікротвердості зображена на рисунку 3.8.

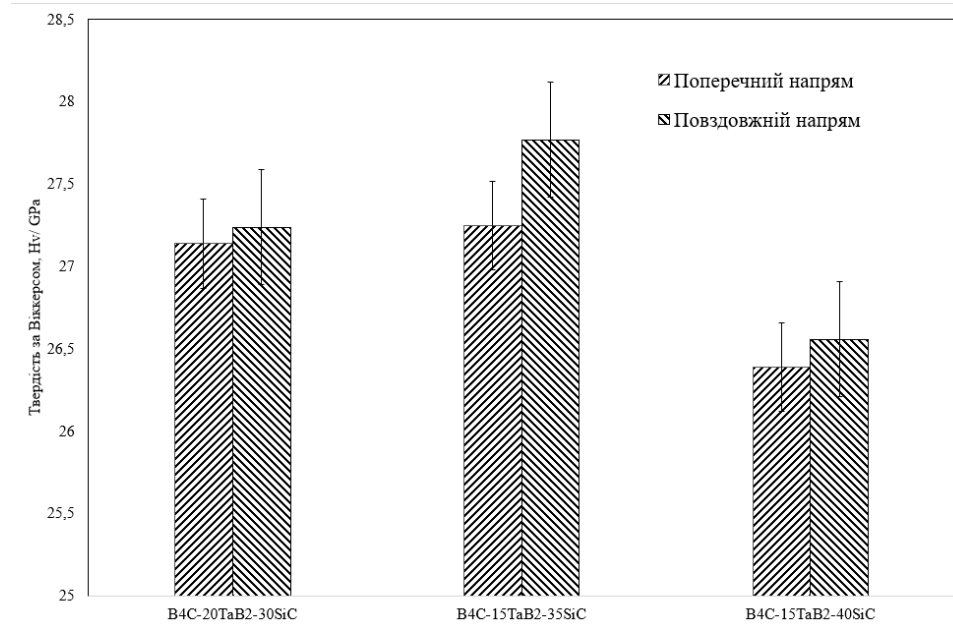


Рисунок 3.8 – Мікротвердість досліджуваних сплавів вздовж та впоперек фронту плавлення

На рисунку 3.9 показана тріщиностійкість композитів. Найвищі значення тріщиностійкості спостерігаються у матеріалах з меншою об'ємною долею евтектичних включень, що зумовлено досяганням тріщини великих дендритів TaB_2 та подальшою її зупинкою.

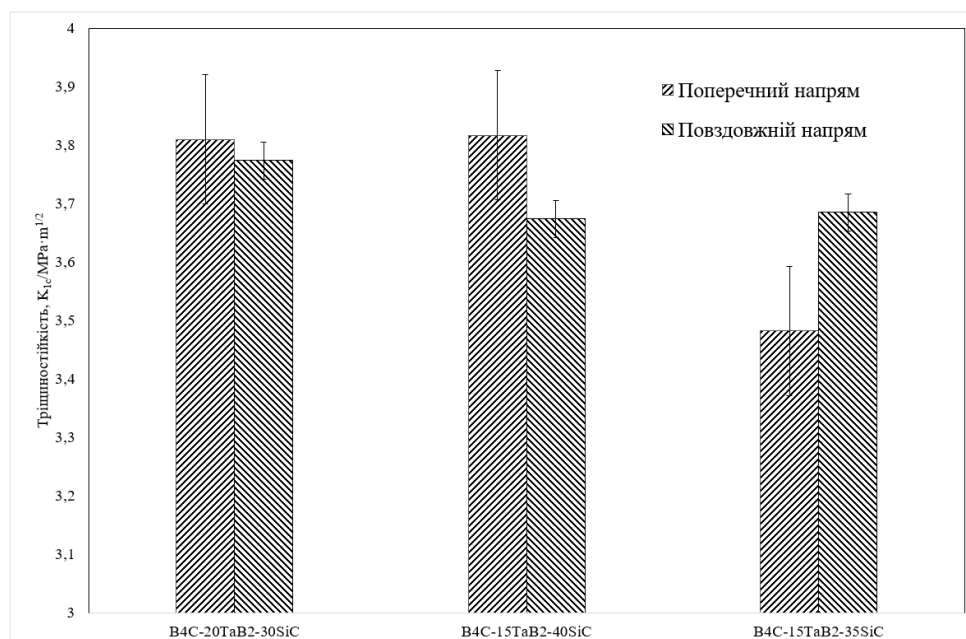
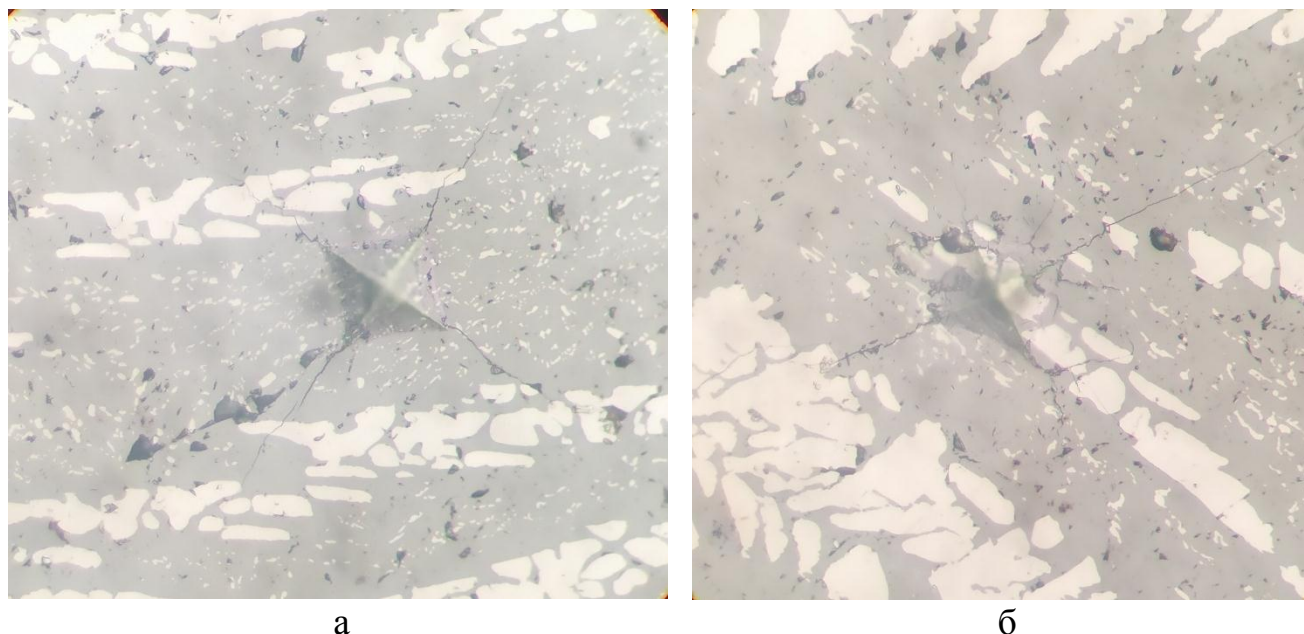


Рисунок 3.9 – Тріщиностійкість досліджуваних сплавів вздовж та впоперек фронту плавлення

Також помічено що для повздовжнього напрямку спостерігаються різні довжини тріщин (рис. 3.10) у різних напрямках, що обумовлено спрямованістю структури внаслідок спрямованої кристалізації. Індентування проводилось при навантаженні в 30 Н.



а – поперечний напрям; б – повздовжній напрям

Рисунок 3.10 – Поширення тріщин в композитах V_4C-TaB_2-SiC при збільшенні $\times 200$

Наявність у структурі включень карбиду кремнію і дибориду танталу приводить, або до зміни напрямку руху, тобто відхилення тріщини, або до механізму мостикування, або зупинки тріщини, що, в свою чергу, сприяє підвищенню енергії руйнування і, як наслідок, підвищенню тріщиностійкості композиту.

За допомогою металографічного аналізу з використанням програми Imagelab1.0 були дослідженні ділянки трифазної евтектики. Обробка отриманих результатів показала що трифазний евтектичний композит може знаходитися в таких межах: $V_4C-(6-10)TaB_2-(38-44)SiC$.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

4.1.1 Актуальність теми дослідження

Швидкий розвиток технологій потребує нових матеріалів із великим переліком механічних характеристик яких однофазні матеріали не в змозі забезпечити. Одними з таких матеріалів є композити що мають в основі карбід бору та інші карбіди та бориди. Високого розвитку набувають матеріали що в своїй структурі поєднують одразу декілька тугоплавких компонентів.

Матеріали на основі карбіду бору значно краще працюють при підвищених температурах, а також в агресивних середовищах без деформації та руйнування. Завдяки високим механічним та фізико-хімічним властивостям дані матеріали знаходять своє застосування в ракетній, космічній, воєнній галузі.

Таким чином дослідження спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів на основі карбіду бору є досить важливою ланкою в розвитку науки та техніки в цілому.

4.1.2 Мета і завдання

Метою даної роботи є дослідження структури, фазового складу та механічних властивостей евтектичних сплавів системи B_4C-TaB_2-SiC , спрямовано закристалізованих систем методом безтигельної зонної плавки.

Для вирішення поставленої задачі необхідно виконати наступні завдання:

- а) провести аналіз публікацій з теми і обґрунтувати напрями досліджень;
- б) розробити методику проведення дослідження;
- в) приготувати зразки для термічних операцій;
- г) провести безтигельну зонну плавку;
- д) виготовити шліфи для мікроскопічного дослідження;
- е) дослідити мікроструктуру отриманих зразків;
- ж) дослідити мікротвердість та тріщиностійкість;

- и) провести рентгеноструктурний аналіз;
- к) обробити отримані дані та узагальнити результати.

4.1.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Розрахунок усіх витрат на дослідницьку роботу, пов'язаних з виконанням даної теми, дає можливість встановити планову кошторисну вартість даної теми. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Планова собівартість визначається за наступними статтями витрат:

- а) заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- б) єдиний соціальний внесок;
- в) вартість спеціального обладнання для виконання НДР;
- г) вартість матеріалів, необхідних для проведення НДР;
- д) витрати на відрядження;
- е) інші прямі витрати по темі;
- ж) накладні витрати.

4.1.4 Розрахунок фонду заробітної плати виконавців

Витрати за цією статтею включають заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт, і посадових окладів виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людиноднях. Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в таблицю 4.1.

Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для НДІ з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Перемножуючи середньоденну заробітну плату за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт, розраховується плановий фонд заробітної плати всіх виконавців. Результати розрахунку фонду заробітної

плати з теми зведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – трудомісткість етапів НДР

Етапи НДР	Трудомісткість, людино-днів			
	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Молодший науковий співробітник	Інженер-дослідник	Лаборант
Підготовчий етап	5	4	5	-
Проведення експерименту	15	6	35	30
Написання записки	8	-	5	-
Оформлення, перевірка та захист	5	-	5	-
Разом	33	10	50	30

Таблиця 4.2 – Фонд Заробітної плати

Посада	Трудомісткість, людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконавцями, грн.
Відповідальний виконавець теми, старший науковий співробітник	33	12612	600,57	19818,86

Продовження таблиці 4.2

Інженер-дослідник	50	6474	308,28	15414,29
Лаборант	30	4489	213,76	6412,85
Технік	10	4689	223,28	2232,85
Разом				43878,86

Визначення суми єдиного соціального внеску

Відрахування органам соціального страхування визначаються у відсотках від заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% заробітної плати.

$$V_C = 43878,86 \cdot 0,22 = 9653,34 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали, необхідні для виконання НДР

Витрати на матеріали, які необхідні для проведення даної НДР вираховуються з ціни одиниці продукції і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість матеріалів, необхідних для виконання НДР

Найменування матеріалів	Стандарт	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Порошок В ₄ С	ГОСТ 5744	кг	0,03	450	13,5
Порошок ТаВ ₂	ТУ 6-09-03-415-76	кг	0,02	25000	500
Порошок SiC	ГОСТ 52381	кг	0,02	80	1,6

Продовження таблиці 4.3

Невраховані Витрати		–	–	–	60
Разом					575,1

Транспортно-підготовчі витрати V_{TR} складають 10% від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати по цій статті:

$$V_{m(заг)} = 575,1 * 1,1 = 632,61 \text{ грн.}$$

Витрати на спецобладнання для проведення експериментів

В роботі використовуються вже існуюче обладнання: гідравлічний прес, вакуумна камера, установка «Кристал-206», пірометр «Промінь», оптичні мікроскопи Neophot 21 і MEIJI Techno MT8520, електронний растровий мікроскоп з камерою низького вакуума Selmi РЭМ 106, аналізатор елементарного складу EXPERT 3L, установка Rigaku Ultima IV, мікротвердомір MНV-1000.

Спеціальне устаткування для виконання ДР не закуповувалось.

Витрати на відрядження

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», тому витрати на виробничо-наукові відрядження не передбачені.

Інші прямі витрати по темі

Ця стаття поєднує в собі всі витрати на проведення ДР, що не увійшли до попередніх статей (оплата спеціалістів з інших організацій, оплата консультацій,

використання обладнання інших організацій та інше). При проведенні даної роботи інші прямі витрати складають 10% від суми врахованих витрат на ДР.

$$I_B = (43878,86 + 9653,34 + 632,61) \cdot 0,1 = 5416,5 \text{ грн.}$$

Накладні витрати

Накладні витрати по НДР визначаються у відсотках до прямих витрат. У Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» відсоток накладних витрат складає 20 % від суми всіх прямих витрат по ДР:

$$H_B = (43878,86 + 9653,34 + 632,61 + 5416,5) \cdot 0,20 = 11916 \text{ грн.}$$

Розрахунок за всіма статтями витрат зведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Плановий кошторис витрат на виконання НДР

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ЗП	43878,86	61	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	V_c	9653,34	14	36,3% від ЗП
Вартість основних матеріалів	V_m	632,61	0,8	За розрахунками
Вартість спецобладнання	$V_{об}$	–	–	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	V_{co}	–	–	Не планується
Інші прямі витрати	I_B	5416,5	8	10% від усіх

Продовження таблиці 4.4

Накладні витрати	H_B	11916	17	20% від усіх витрат
Разом	$B_{\text{ндр}}$	71497,31	100	Сума всіх попередніх статей

4.1.5 Економічна ефективність

Дослідження, що проводились в даній роботі, є складовою частиною комплексної задачі, яка вирішується декількома організаціями. У зв'язку з цим визначення річного економічного ефекту за допомогою прямих методів розрахунку не виконується. В цьому випадку використовується бальна система оцінки економічної ефективності, за наступними показниками:

- а) важливість розробки (K_1);
- б) можливість використання результатів розробки (K_2);
- в) теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- г) складність розробки (K_4).

Шкала для оцінки важливості розробки K_1 :

- а) ініціативна робота, що не є ані частиною комплексної програми, ані завданням директивних органів – 1 бал;
- б) робота, що виконується за договором про науково-технічні допомоги – 3 бали;
- в) робота представляє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- г) робота представляє собою частину відомчої комплексної програми – 7 балів;
- д) робота виконується як частина міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Шкала для оцінки можливості використання результатів розробки K_2 :

- а) результати розробок можуть бути використані в даному підрозділі – 1 бал;
- б) результати розробки можуть бути використані в даній організації – 3 бали;
- в) результати розробки можуть бути використані в багатьох організаціях – 5 балів;
- г) результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі – 8 балів;
- д) результати розробки можуть бути використані в багатьох різноманітних галузях – 10 балів.

Шкала для оцінки теоретичної значимості і рівня нововведення K_3 :

- а) аналіз узагальнення і класифікація відомої інформації, подібні результати були відомі в досліджуваній області – 2 бали;
- б) одержання нової інформації, що доповнить подання про суттєвість досліджуваних процесів, не відомої в дослідницькій області – 3 бали;
- в) одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше – 5 балів;
- г) створення нових теорій, методик і т. п. – 6 балів;
- д) одержання інформації, що служить формуванню напрямків, не відомих раніше – 6 балів.

Шкала для оцінки показників складності дослідження K_4 :

- а) робота виконується одним підрозділом, затрати менше 20 тис.грн. – 1;
- б) робота виконується одним підрозділом, затрати від 20 до 100 тис.грн. – 3;
- в) робота виконується одним підрозділом, затрати від 100 до 200 тис.грн. – 5;
- г) робота виконується з урахуванням багатьох підрозділів, затрати від 200 тис.грн. до 1 млн.грн. – 7;
- д) робота виконується декількома організаціями, затрати понад 1млн.грн. – 9.

Бальна оцінка ефективності, згідно даної роботи, наведена в табл. 4.4.

Таблиця 5.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	робота є частиною міжнародної комплексної програми	8
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	результатами розробки можуть користуватися у різних галузях	10
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо	6
4. Складність дослідження	K_4	роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень	3

Загальна оцінка вираховується перемноженням коефіцієнтів. Умовний ефект на кожен бал становить 500 грн.

$$E_o^y = 500 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (4.1)$$

де K_1 – коефіцієнт важливості розробки;

K_2 – коефіцієнт можливості використання результатів розробки;

K_3 – коефіцієнт теоретичного значення та рівня новизни;

K_4 – коефіцієнт складності розробки.

$$E_o^y = 500 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 3 = 720000 \text{ грн}$$

Умовний ефект НДР:

$$E_{НДР}^y = E_o^y - E_n \cdot Z_{НДР}, \quad (4.2)$$

де E_o^y – умовний оціночний ефект;

E_n – коефіцієнт ефективності;

$Z_{НДР}$ – сумарні витрати на дослідницьку роботу.

$$E_{НДР}^y = 720000 - 0,25 \cdot 71497,31 = 702125,7 \text{ грн.}$$

Тоді коефіцієнт умовної економічної ефективності:

$$E = \frac{E_{НДР}^y}{Z_{НДР}}, \quad (4.3)$$

де $E_{НДР}^y$ - умовний ефект НДР;

$Z_{НДР}$ – сумарні затрати на НДР.

$$E = \frac{702125,7}{71497,31} = 9,8$$

Коефіцієнт умовної ефективності нашої роботи дорівнює 9,8, що свідчить про доцільність її виконання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою розділу є аналіз шкідливих і небезпечних факторів процесу спрямованої кристалізації щодо створення безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виключення можливості виробничого травматизму, професійних захворювань, пожеж, вибухів. Тому важливою частиною являється дотримання правил безпеки користування обладнанням та вихідними матеріалами.

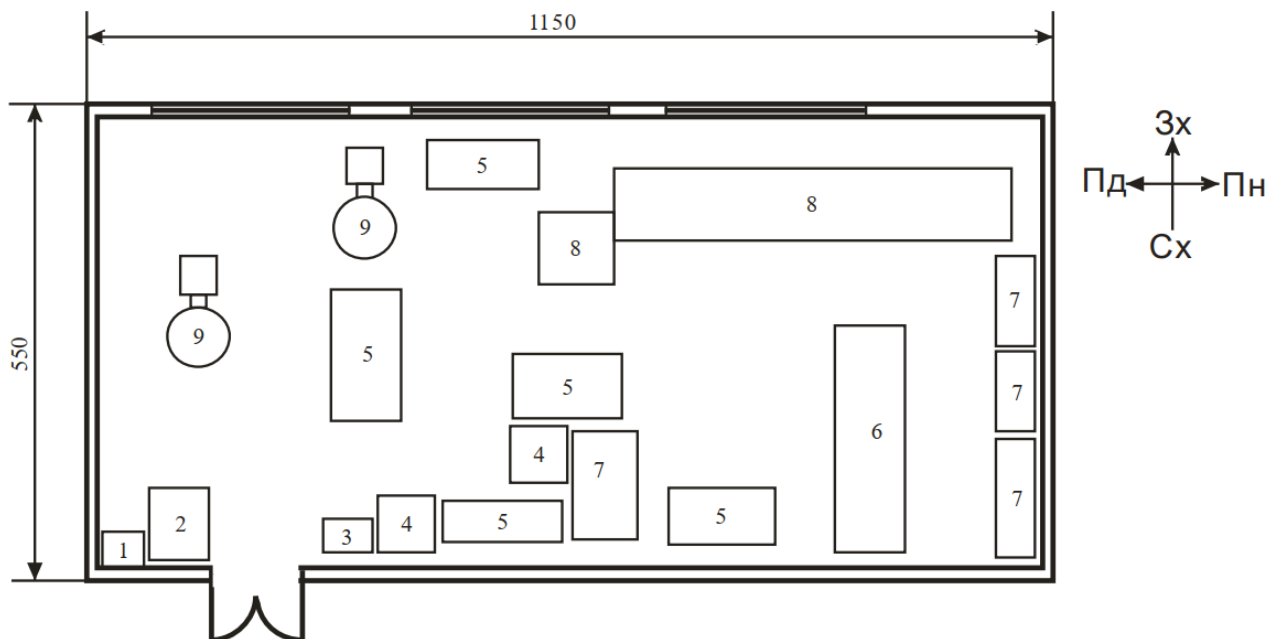
4.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Дипломна робота проводиться в «Лабораторії технологій тугоплавких сполук» №028 навчального корпусу №9, специфікацію технологічного обладнання та оснащення наведено в таблиці 4.1. Характеристики приміщення в якому знаходиться робоче місце зведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 Специфікація технологічного обладнання та оснащення вибраного приміщення.

№	Найменування	Розміри Д/Ш/В	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунок
1	Електро-ерозійний станок	630/750/1400	Електроживлення 220В	2	4
2	Установка «Кристал-206»	5000/1400/25000	Електроживлення 380В, температура нагріву зразка 2300°с	1	8
3	Сушильна шафа	590x610x400	Електроживлення 220В, температура нагріву до 350°с	1	3

План приміщення в якому проводиться лабораторне дослідження зображений на рисунку 4.1.



1 – умивальник; 2 – сейф; 3 – сушильна шафа; 4 – верстат електроерозійного різання; 5 – робочий стіл; 6 – установка «Кристал - 106»; 7 – шафа; 8 – установка «Кристал - 206»; 9 – вакуумна установка

Рисунок 4.1 – План науково-дослідницької лабораторії 028

Відповідно до основних вимог до будівель виробничого призначення висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2 м, а об'єм і площа – 15 м³ та 4,5 м² відповідно на кожного працівника.

В нашому випадку площа приміщення складає $S = 11,5 \cdot 5,5 = 63,25 \text{ м}^2$, а об'єм приміщення $V = 11,5 \cdot 5,5 \cdot 4,5 = 284,625 \text{ м}^3$. Під час досліджень в лабораторії працює 4 чоловіки, звідки ми отримуємо, що площа на одного чоловіка складає $S_{\text{ч}} = 63,25/4 = 15,81 \text{ м}^2/\text{чол.}$, а об'єм – $V_{\text{ч}} = 284,625/4 = 71,16 \text{ м}^3/\text{чол.}$

Таблиця 4.2 Реальні та нормативні характеристики приміщень і розміщення технологічного обладнання

№	Параметр приміщення	Реальне значення лабораторії 028	Нормативні значення
1	Площа на 1-го працюючого	15,81 м ²	4,5 м ²
2	Об'єм на 1-го працюючого	71,16 м ³	15 м ³
3	Мінімальна ширина проходу	2,5 м	1,5 м

4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів нормалізації умов праці при виконанні технологічного процесу

При виконанні даної роботи основними процесами, що несуть в собі потенціальну небезпеку, є:

- а) Дозування порошків;
- б) Підготовка шихти;
- в) Пресування заготовок;
- г) Сушка зразків;
- д) Спікання зразків;
- е) Механічна обробка;

Дозування порошків дибориду танталу та змішування шихти за допомогою відповідних син, являє собою перемішування дрібнодисперсних порошкових частинок які легко осідають на будь-яких поверхнях. Гранично допустима концентрація ураження ТаВ₂ становить 3,5 мг/м³. Таким чином контакт з порошком усувається використанням гумових рукавичок, респіратора, спеціальних захисних окулярів та одягу, що запобігає потраплянню порошків в дихальні шляхи, на шкіру та слизову оболонку.

Наступним кроком являється замішування шихти. Цей процес включає в себе контакт оператора з різними рідинами – пластифікаторами. В ролі розчинника зазвичай використовують бензин в рідкому стані. . Пари бензину, що виникають під час проведення операцій є токсичним і викликають небезпеку виникнення пожежі. Бензини, будучи токсичними матеріалами, здатні проникати в організм через органи дихання, шкіру і травний тракт. Концентрація парів бензину в повітрі не повинна перевищувати 0,3 мг/л. Під час нетривалого вдихання повітря, що містить бензин в кількості від 5 мг/л до 10 мг/л, настає гостре отруєння, характерними ознаками якого є головний біль, неприємні відчуття в горлі, кашель, подразнення слизової оболонки носа і очей, нестійка хода, запаморочення, збудження. Для запобігання цих небезпек застосовують резинові рукавиці та респіратор для уникнення потрапляння парів в дихальні шляхи та шкіру.

Під час проведення дослідження використовувався ручний механічний гідравлічний прес. При пресуванні заготовок основною небезпекою являється те що при високих тисках пресування можливе руйнування матриці прес-форми та пуансонів. Це супроводжується відскоком уламків та нанесенням ушкоджень оператору. Також небезпека рухомих частин полягає у можливості потрапляння частин одягу чи волосся у незакриті механізми пресу. Для запобігання таких небезпек прес оснащений захисним кожухом, для ізоляції зони пресування.

Сушка зразків відбувається в сушильній шафі СНОЛ 20/350. Під час цієї операції оператор піддається впливу інфрачервоного випромінювання, а також дії високих температур. Сушильні шафи оснащені захисною оболонкою, а також системою що не дає увімкнути нагрівні елементи шафи доки дверцята не будуть зачинені. Діставання заготовок проводиться з використанням вогнетривких рукавиць та спеціального щупа.

Спикання проводиться на установці «Кристал 206». При спіканні зразків температури досягають 2000 °С в зоні нагріву. Для уникнення небезпеки необхідно чітко слідувати правилам роботи з даною установкою перевіряти

заземлення та справність елементів установки, використовувати захисний одяг, рукавиці.

Механічна робота складається з різання зразків та шліфування і зачищення поверхні. При різанні та шліфуванні матеріалу ручним методом мають місце відскоки дрібних частинок від поверхні, які можуть нанести пошкодження оператору установки. При роботі оператору необхідно знаходитися на безпечній відстані від станка, що дозволить контролювати процес та унеможливить шанс нанесення пошкоджень.

4.3 Електробезпека

У лабораторії 028-9 використовується струм напругою 220 В для живлення сушильної шафи та верстата електроерозійного різання і струм напругою 380 В для живлення установок «Кристал 206» та «Кристал 106». Опір ізоляції силових та освітлювальних електропроводів контролюється відповідно до вимог та не перевищує 0,5 МОм.

Під час роботи за установкою «Кристал 206» існує небезпека ураження електричним струмом оскільки для роботи електронного променя використовуються струми високої потужності, електробезпека є крайньо важливою. Також має заземлення та програмне забезпечення, що виключає можливість прийняття небезпечних рішень пов'язаних з режимами роботи установки.

Також лабораторія 028 обладнана пристроєм захисного вимикання типу АС – високонадійною швидкодіючою системою захисту, яка застосовується в електроустановках, які потребують високого рівня безпеки. Струмopровідні кабелі ізолювані по всій довжині та захищені від механічних ушкоджень. Ізоляція кабелів розрахована на захист від підвищених температур і прокладена під підлогою. Кожні пів року проводиться перевірка проводки відповідним персоналом.

Весь персонал, що обслуговує обладнання проходить інструктаж про небезпеку, пов'язану з роботою з установками, та способи надання першої до медичної допомоги. Також біля кожної установки прикріплений відповідний плакат з інструкцією та технікою безпеки.

4.3.1 Вимоги до експлуатації електричного обладнання

Для запобігання ураженню електричним струмом необхідно:

- а) Виконувати перевірку електроприладів та електросистем перед початком виконання робіт, задля виявлення несправності;
- б) Бути ознайомленим з правилами використання обладнання;
- в) Виконувати лабораторні вимоги техніки безпеки;
- г) В разі знаходження несправності ніякому разі не використовувати його та повідомити про несправність

4.4 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», науково-дослідницька лабораторія, у якій проводилась НДР належить до категорії Б, відповідно до характеристик речовин і матеріалів, що знаходяться у приміщенні (Горючий пил, волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28°C, горючі рідини (ГР) в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, що перевищує 5 кПа.

Для запобігання пожежі застосовані наступні заходи забезпечення пожежної безпеки:

- а) технічні:
 - 1) лабораторія оснащена автоматичною пожежною сигналізацією;

- 2) будівельні конструкції лабораторії не спалимі з межею вогнестійкості від 0,75 години до 2,5 годин;
- 3) передбачено систему знеструмлення при пожежі електроустаткування;
- 4) проведення планово-попереджувальних робіт і оглядів електроустановок, опалювального, вентиляційного, технічного устаткування;
- 5) в лабораторії знаходиться порошковий вогнегасник ВП-2.

б) організаційні:

- 1) розроблено інструкції про міри пожежної безпеки;
- 2) вивішені на поверхах плани евакуації;
- 3) персонал проходить інструктаж з пожежної безпеки та інші види протипожежної підготовки;
- 4) призначено відповідальних осіб за протипожежний стан лабораторій та інших приміщень;

в) режимні:

- 1) обмеження числа осіб, що здійснюють експлуатацію устаткування;
- 2) виділено визначені місця для паління.

У приміщенні лабораторії встановлено 4 пожежні сигналізатори ИП-105, сигнал з яких надходить на основну панель пожежної сигналізації. Сигналізатори ИП-105 спрацьовують на підвищення температури до $t = 72$ °С. У коридорі знаходиться пожежний кран із приєднаним пожежним рукавом.

Проведений аналіз шкідливих речовин і небезпечних факторів показав, що всі технологічні операції відповідають нормам. Обладнання устатковане всіма необхідними захисними елементами. Робочі місця— ергономічні, виділені зони відпочинку та є спеціальні місця для спостереження за обладнанням. Більшість процесів автоматизовані. Схема виконання роботи максимально знижує можливість контакту з небезпечними речовинами.

ВИСНОВКИ

В ході дипломної роботи були отримані за допомогою методу спрямованої кристалізації композити системи $\text{W}_4\text{C}-\text{TaB}_2-\text{SiC}$.

Досліджено мікроструктуру трифазних композитів, які містять у своєму складі великі дендрити TaB_2 , двофазну евтектику TaB_2-SiC та дрібнозерниста нерівномірно розташована потрійна евтектика $\text{W}_4\text{C}-\text{TaB}_2-\text{SiC}$.

Методом рентгенофазового аналізу було встановлено, що усі композити містять у своєму складі: карбід бору, диборид танталу і карбід кремнію.

Структура евтектичних ділянок всіх досліджуваних зразків складається з матриці W_4C (темна фаза) з розподіленими по всьому об'єму включеннями карбиду кремнію SiC (сіра фаза) та дибориду танталу TaB_2 (світла фаза).

Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості для евтектичного сплаву показали високі значення цих характеристик (27,77 ГПа та 3,8 МПа $\text{m}^{1/2}$). Спостерігались наступні механізми зміцнення: мостикування, зупинки та відхилення тріщини. Встановлено різницю мікромеханічних властивостей в повздовжньому та поперечному перерізі, що пов'язано з наявністю спрямованої структури.

За допомогою металографічного аналізу був розрахований вірогідний евтектичний склад композиту системи $\text{W}_4\text{C}-\text{TaB}_2-\text{SiC}$: $\text{W}_4\text{C}-(6-10)\text{TaB}_2-(38-44)\text{SiC}$.

Проаналізовано організаційно-економічні показники проведення НДР.

Проаналізовані основні вимоги по охороні праці та навколишнього середовища.

CONCLUSIONS

During the work, composites of systems were obtained using the method of directed crystallization: a study of the structure of the three-phase composite B_4C-TaB_2-SiC was carried out.

During the work, the structures of three-phase composites were investigated

Composite structures have large dendrites TaB_2 two-phase eutectic TaB_2-SiC and fine-grained unevenly located triple eutectic B_4C-TaB_2-SiC .

With the help of rengenophase analysis, the structure of composites of three phases was shown: $45B_4C-15TaB_2-40SiC$, $50B_4C-15TaB_2-35SiC$, $50B_4C-20TaB_2-30SiC$.

The structure of eutectic sections of all tested samples consists of B_4C matrices (dark phase) with distributed over the whole volume inclusions of silicon carbide SiC (gray phase) and tantalum diboride TaB_2 (light phase).

Microhardness and crack resistance studies for eutectic alloy showed high values of these characteristics (27.77 GPa and 3.8 MPa/m^{1/2}). The following strengthening mechanisms were observed: bridge and. Slight changes were observed in the longitudinal and cross section of the hardness due to the presence of the directional structure. Grain sizes were calculated: TaB_2 - $5-30$ μm , SiC - from 5 to 20 μm .

Using metallographic analysis, the verhidinium eutectic composition of the B_4C-TaB_2-SiC : B_4C - ($6-10$) TaB_2 - ($38-44$) system composite was calculated SiC .

The organizational and economic indicators of R&D are analyzed.

The basic requirements for labor and environmental protection are analyzed.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Domnich V. Boron carbide: Structure, properties, and stability under stress / Vladislav Domnich, Sara Reynaud, Richard A. Haber // *Journal of the American Ceramic Society*. – 2011. – Vol.94. – P. 3605–3628.
2. Карбид бора / П.С. Кислый, М.А. Кузенкова, Н.И. Боднарук, Б.Л. Грабчук. – Киев: Наукова думка, 1988. – 216 с.
3. Matkovich V.I. Boron and Refractory Borides / V.I. Matkovich. – New York: Springer, 1977. – 656 p.
4. Massalski T.B. Binary Alloy Phase Diagrams, Second edition / T.B. Massalski, H. Okamoto, P.R. Subramanian, L. Kacprzak // *ASM International: Materials Park*. – 1990. – Vol. 3. – P. 3589.
5. Thevenot F. Boron Carbide – A Comprehensive Review / F. Thevenot // *Journal of the European Ceramic Society*. – 1990. – Vol. 6. – P. 205-225.
6. Schwetz, K. A. The influence of carbon on the microstructure and mechanical properties of sintered boron carbide / K. A. Schwetz, W. Grellner J // *Less Common Met* – 1981. – P. 37-47.
7. Ge D. Structural Damage in Boron Carbide Under Contact Loading / D. Ge, V. Domnich, T. Juliano, E.A. Stach // *Acta Mater*. – 2004. – Vol. 52. – No. 13. – P. 3921-3927.
8. Perry Dale L. Handbook of inorganic compounds / L. Perry Dale // Boca Raton: Taylor & Francis, - 2011. – 553p.
9. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения / Самсонов Г.В., Виноцкий И.М.. – Москва: Металлургия, 1976. – 560 с.
10. Tantalum diboride-based ceramics for bulk solar absorbers / Diletta Sciti, Laura Silvestroni, Jean-Louis Sans [etc.] // *Solar Energy Materials and Solar Cells*. – 2014. – №130. – С. 208–216.
11. Composition, structure, and properties of tantalum boride nanostructured films / A. A. Goncharov, P. I. Ignatenko, V. V. Petukhov and others. // *Technical Physics*. – 2006. – Vol.51. – P. 1340–1343.

12. Lane J.E. Kinetics and mechanisms of high temperature creep in silicon carbide: III, sintered α -silicon carbide/ J.E.Lane, C.H. Carter Jr., R.F. Davis // J. Am. Ceram. - 1988. - P. 281–295.
13. Карбид кремния: технология, свойства, применение / Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С. и другие. – Харьков: «ИСМА», 2010. – 532 с.
14. Monteverde F. Resistance to thermal shock and to oxidation of metal diborides – SiC ceramics for aerospace application / F. Monteverde, L. Scatteia // J. Am. Ceram. – 2007. – Vol.90. – P.1130-1138.
15. Joseph R. O'Connor Silicon Carbide, A High Temperature Semiconductor/ Joseph R. O'Connor, J. Smiltens // Pergamon, New York – 1960 – P. 136 -145.
16. Shi XL Mechanical properties of hot-perssed B₄C-SiC composites. / Shi XL, Xu FM, Tan Y, Wang L. // Processing and properties of advanced ceramics and composites II, America: - 2012. – P.189- 196
17. Itaru Gunjishima Characterization of Directionally Solidified B₄C–SiC Composites Prepared by a Floating Zone Method / Gunjishima Itaru // Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan -2002. – p. 7.
18. Microstructure and properties of B₄C-SiC composites prepared by polycarbosilane-coating/B₄C powder route / Xianwu Du, Zhixiao Zhang, Weimin Wang [etc.] // Journal of the European Ceramic Society. – 2014. – Vol.34. – P. 1123–1129.
19. A dense and tough (B₄C–TiB₂)–B₄C ‘composite within a composite’ produced by spark plasma sintering / I. Bogomol, H. Borodianska, T. Zhao and [etc.] // Scripta Materialia. – 2014. – Vol.71. – P. 17–20.
20. Xiaohong Zhang. Synthesis, densification, and mechanical properties of TaB₂ / Xiaohong Zhang, Gregory E. Hilmas, Williamas G. Fahrenholtz. // Materials Letters. – 2008. – Vol.62. – P. 4251–4253.
21. Demirskyi D. Consolidation of B₄C-TaB₂ Eutectic Composites by Spark Plasma Sintering / D. Demirskyi, Y. Sakka, O. Vasylykiv // J. Asian Ceram. Soc. – 2015. – Vol. 3. – P. 369-72

22. Thevenot, F. Boron carbide—a comprehensive review / F. Thevenot // *J. Eur. Ceram.* – 1990. - Vol. 6, - P. 205–225.
23. Орданьян С.С. О строении систем SiC–B₄C–MeB₂ и перспективах создания композиционных керамических материалов на их основе / С.С. Орданьян. // *Неорганические материалы.* – 1993. – №5. – С. 15–17.
24. Орданьян С. С. Закономерности взаимодействия в системах SiC—MeIV-VIB₂ / С. С. Орданьян. // 66. – 1993. – №66. – С. 2439–2444.
25. Sintering and densification mechanisms of ultra-high temperature ceramics/ D. Sciti and others // *Materials for Extreme Environment Applications.* – 2014. - P. 112–143.
26. Llorca J. Directionally Solidified Eutectic Ceramic Oxides / J. Llorca, V. Orera // *Prog. Mater Sci.* – 2006. – Vol. 51, Issue 6. – P. 711-809.
27. Microstructure and Hardness Scaling in Laser-Processed B₄C–TiB₂ Eutectic Ceramics / R. M. White, J. M. Kunkle, A. V. Polotai, E. C. Dickey // *J. Eur. Ceram. Soc.* – 2011. – Vol. 31, Issue 7. – P. 1227-32.
28. Quinn G. D. On the Vickers Indentation Fracture Toughness Test / G. D. Quinn, R. C. Bradt // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2007. – Vol. 90, Issue 3. – P. 673-80.
29. Sorrell C. C. Mechanical Properties of ZrC-ZrB₂ and ZrC-TiB₂ Directionally Solidified Eutectics / C. C. Sorrell, V. S. Stubican, R. C. Bradt // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1986. – Vol. 69, Issue 4. – P. 317-21.
30. Opeka M. M. Oxidation-Based Materials Selection for 2000 °C + Hypersonic Aerosurfaces: Theoretical Considerations and Historical Experience / M. M. Opeka, I. G. Talmy, J. A. Zaykoski // *J. Mater. Sci.* – 2004. – Vol. 39. – P. 5887-5904
31. Gunjishima I. Characterization of Directionally Solidified B₄C-SiC Composites Prepared by a Floating Zone Method / I. Gunjishima, T. Akashi, T. Goto // *Mater. Trans.* – 2002. – Vol. 43, Issue 9. – P. 2309-15.
32. Mechanical Properties of Melt-Grown Alumina-Yttrium Aluminum Garnet Eutectics up to 1900 K / J. Y. Pastor, J. Llorca, A. Salazar [etc.] // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2005. – Vol. 88, Issue 6. – P. 1488-95.

33. Самсонов Г. В. Бор, его соединения и сплавы / Г. В. Самсонов, Л. Я. Маяковский, А. Ф. Жигач.// – К. : Изд-во академии наук Украинской ССР, 1960. – 590 с.

34. Ordanyan, S.S.Eutectics and their models, sintered composites, in systems of refractory materials/ S.S. Ordanyan, V.I. Unrod // Refract. Ind. Ceram. – 2005. - Vol. 46, - P.276–281.

35. Эллиот Р. Управление эвтектическим затвердеванием: Пер. с англ. / Под ред. Л. С. Швиндлермана // Р. Эллиот – М. : Металлургия, 1987. – 352 с.

36. Лилеев А. С. Трехкомпонентные диаграммы фазового равновесия : Часть 1 : Методическое пособие по курсам «Фазовое равновесие и структурообразование», «Материаловедение» / А. С. Лилеев, Е. С. Малютина, В. Л. Столяров. – Москва : НИТУ МИСиС, 2010. – с. 1-21.

37. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – М. : Изд-во «Металлургия», 1970. – 366 с.