

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

**Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії**

«На правах рукопису»
УДК 621.762:669.018.45

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Богомол Ю.І.
«___» _____ 20__ р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня магістра
за освітньо професійною програмою «Нанотехнології та комп'ютерний
дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: «Структура та властивості спрямовано закристилізованого
евтектичного сплаву B_4C-TaB_2-SiC »**

Виконав:
студент VI курсу, групи ФН-01мп
Єфіменко Максим Юрійович _____

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

Консультант з розділу охорони праці:
професор, д.е.н. Левченко О.Г. _____

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 – 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 132 Матеріалознавство

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.І. Богомол

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Єфіменку Максиму Юрійовичу

1. Тема роботи «Структура та властивості спрямовано закристалізованого евтектичного сплаву B_4C-TaB_2-SiC », керівник роботи Богомол Юрій Іванович, доцент, к. т. н. затверджені наказом по університету від __21.05__2021 р. № 1132-с
2. Термін подання студентом роботи 14.12.2021 р.
3. Об'єкт дослідження: Спрямовано закристалізовані евтектичні сплави на основі карбіду бору.

4. Предмет дослідження: Процеси формування структури та властивостей евтектичного сплаву B_4C-TaB_2-SiC , його фазового складу та механічних властивостей.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
- 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 евтектичних сплавів системи B_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	професор, д.е.н. Левченко О.Г.		
Економічний розділ	старший викладач к.е.н. Нараєвський С.В.		

6. Дата видачі завдання 01.09.2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготовка експериментального матеріалу	01.11.2021	
2.	Підготовка ілюстративного матеріалу	10.11.2021	
3.	Написання тексту роботи	19.11.2021	
4.	Підготовка презентації	10.12.2021	
5.	Оформлення роботи.	10.12.2021	
6.	Захист дипломної роботи.	20.12.2021	

Студент

Єфіменко М.Ю.

Керівник роботи

Богомол Ю. І.

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: 90 стор., 35 рис., 34 табл., 48 літ. дж.

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

Об'єкт дослідження: спрямовано закристалізовані сплави системи B_4C-TaB_2-SiC .

Метою роботи є дослідження структури та властивостей сплавів квазіпотрійної системи B_4C-TaB_2-SiC .

В результаті дослідження було досліджено структуру та мікромеханічні характеристики спрямовано закристалізованих сплавів системи B_4C-TaB_2-SiC .

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

ABSTRACT

The work contains 90 p., 35 fig., 34 table, 48 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.

Keywords: TIGEL-FREE ZONE MELTING, TANTALUM DIBORIDE, BORON CARBIDE, SILICON CARBIDE, DIRECTED CRYSTALLIZED.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Характеристика структурних складових композиту B_4C-TaB_2-SiC	11
1.1.1 Загальна характеристика та властивості B_4C	11
1.1.2 Загальні характеристики та властивості TaB_2	14
1.1.3 Загальна характеристика та властивості SiC	15
1.2 Характеристики подвійних систем	17
1.2.1 Фізичні та механічні властивості системи B_4C-SiC	17
1.2.2 Фізичні та механічні властивості системи B_4C-TaB_2	21
1.3 Характеристика системи B_4C-MeB_2-SiC.....	22
1.4 Фізичні властивості евтектичних композиційних матеріалів.....	25
1.4.1 Твердість спрямовано закристалізованих композитів	26
1.4.1 Стійкість до окислення спрямовано закристалізованих композитів	27
1.4.2 Електричні властивості спрямовано закристалізованих композитів	28
1.5 Висновки та постановка задач дослідження	28
2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
2.1 Методика отримання зразків	30
2.2 Вихідні матеріали	31
2.2.1 Визначення евтектичного складу.....	31
2.2.2 Одержання заготовок для вирощування кристалів	33
2.2.3 Пресування стержнів.....	33
2.2.4 Сушка стержнів.....	34
2.2.5 Безтигельна зонна плавка.....	34
2.3 Металографічні дослідження.....	35

2.4 Рентгенофазовий аналіз	36
2.5 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості сплаву системи	37
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	38
3.1 Дослідження складу компонентів	38
3.2 Дослідження структури композитів	38
3.3 Рентгенофазовий аналіз	39
3.4 Елементний аналіз	40
3.4 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	45
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	45
4.1.1 Аналіз освітленості приміщення	47
4.2 Забезпечення належних умов праці	48
4.2.1 Параметри приміщення.....	48
4.2.2 Безпечність виробничого обладнання	50
4.2.3 Електробезпека.....	53
5.3 Розрахунок інженерного рішення	54
4.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	54
4.4.1 Пожежна безпека	54
4.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	56
5. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	58
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	61
6.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи	61
6.1.1 Актуальність теми дослідження	61
6.1.2 Мета і завдання	61
6.1.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження	62

6.1.4 Розрахунок фонду заробітної плати виконавців	62
6.1.5 Економічна ефективність	68
7. РОЗРОБКА СТАРТАПУ ПРОЕКТУ	72
7.1 Мета та завдання розробки стартап- проекту.....	72
7.2 Опис продукту.....	72
7.3 Технологічний аудит ідеї проекту.....	73
7.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	74
7.5 розроблення ринкової стратегії проекту.....	78
7.6 Розробка маркетингової стратегії стартап проекту	81
7.7 Формування системи збуту.....	82
7.8 Висновок	83
CONCLUSIONS.....	85
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	86

ВСТУП

Область застосування спрямовано закристалізованих евтектичних композитів досить широка завдяки великому обсягу термодинамічних властивостей. Використання боридів являється досить цікавою темою адже їх можна використовувати при температурах до 2000 °C.

Відомо що перехідні метали диборидів MeB_2 значною мірою покращують властивості безкисневих сполук на основі карбіду бору за рахунок високих показників теплопровідності, твердості, електропровідності та стійкості до утворення тріщин. Композити системи B_4C-SiC , в свою чергу, мають чудову стійкість до окиснення на відміну від монолітного карбіду бору.

Все актуальнішою стає тема створення та вдосконалення нових матеріалів для використання в екстремальних умовах при високих температурах у різних агресивних середовищах.

Тому робота, присвячена дослідженню та виявленню області евтектичної кристалізації композитів системи B_4C-TaB_2-SiC , отриманих методом спрямованої кристалізації, дослідженню їх структури та фізико-механічних властивостей, є актуальною.

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Характеристика структурних складових композиту B_4C-TaB_2-SiC

1.1.1 Загальна характеристика та властивості B_4C

Карбід бору B_4C , завдяки своїм фізичним, хімічним та механічним властивостям, серед неметалевих твердих сполук, займає передову позицію [1]. Використання в галузях військової техніки, а саме, виготовлення бронежилетів, броні для танків також виготовлення різальних інструментів, абразиву тощо [2]. Ковалентний зв'язок між атомами бору та вуглецю, а також низька кількість нелокалізованих електронів забезпечує хімічну стійкість сполуки [3]. B_4C має складну кристалічну структуру, що складається з ромбоєдричних елементарних комірок з параметрами ґратки $a=0.516$ 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). Карбід бору являє собою дванадцять ікосаедричних кластери, що зв'язані ковалентними зв'язком і триатомними міжікосаедричними ланцюгами.

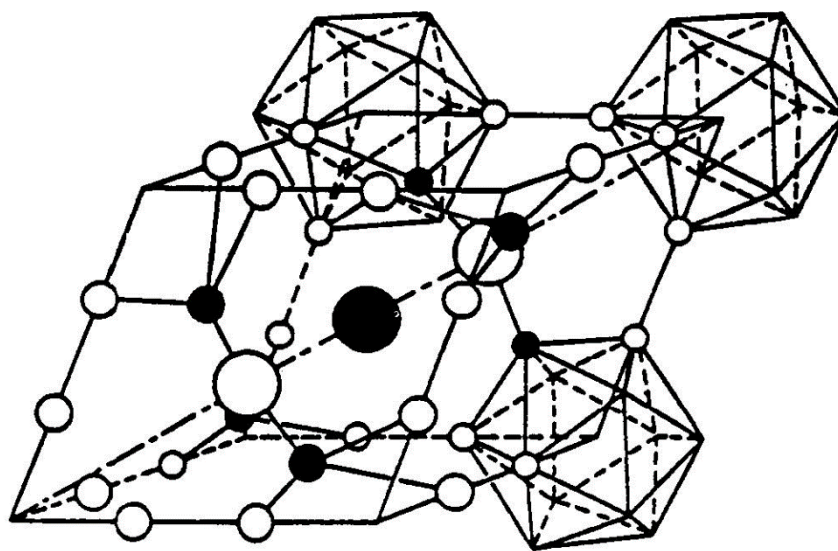
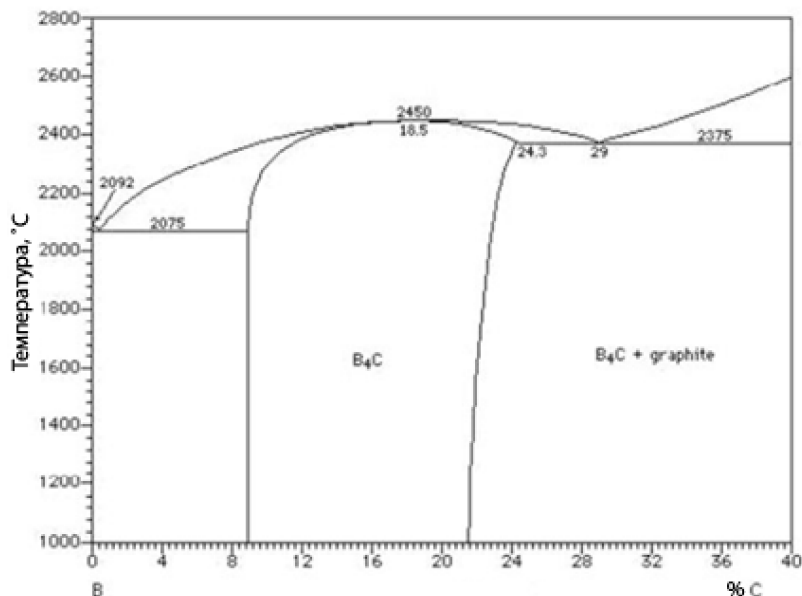


Рисунок 1.1 – Кристалічна ґратка B_4C [4]

Являючись фазою змінного складу по вмісту вуглецю, від 9 до 20%, карбід бору відповідає сполукам $B_{10,5}C$ - B_4C [4,5]. Діаграма стану бор-вуглець наведена на [рисунку 1.2](#).



[Рисунок 1.2](#) – Діаграма стану системи В-С [6]

Карбід бору являється міцним матеріалом з високим ступенем твердості. Модуль пружності – 450 ГПа, мікротвердість – 49,1 Гпа, значення міцності на згин сягає 350 Мпа. Коефіцієнт термічного розширення $\alpha = 5,73 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (300-1970 К) [4]. Щільність B_4C змінюється в залежності від вмісту вуглецю $\rho = 2,422 \text{ г/см}^3 + 0,0048 \text{ (ат. \% C)}$ [6].

До температур 1000 °С карбід бору не реагує з хлором та усіма перехідними металами, а також їх сполуками. Стійкий до дії лугів та мінеральних кислот [23]. При досягненні температур 600-900 °С спостерігається зниження міцності в результаті окислення, а при досягненні температури 1200 і вище відбувається різке окиснення, що призводить до стрімкого падіння міцності ([рис.1.3](#)).

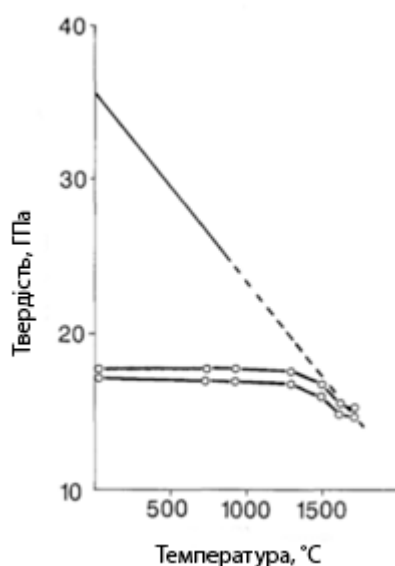


Рисунок 1.3 – Залежність твердості B_4C від температури [4]

Твердість за Віккерсом (HV) ≈ 35 ГПа. Твердість, в області гомогенної фази, зростає зі збільшенням вмісту вуглицю [8].

Детальну інформацію про механічні властивості наведено в **таблиці 1.1** [9].

Таблиця 1.1 – Механічні властивості гарячепресованого та спеченого B_4C [9]

Властивість	Гарячепресований B_4C	Спечений B_4C	
		1 мас% C	3 мас% C
1	2	3	4
Загальний вміст C (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

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Модуль Юнга (ГПа)	441	390	372
Тріщиностійкість (МПа/м ^{1/2})	3,6	3,3	3,2

1.1.2 Загальні характеристики та властивості TaB₂

Диборид танталу має гексагональну кристалічну решітку типу AlB₂ (рис. 1.4) з періодом ґратки $a = 3,097 \text{ \AA}$, $c = 3,285 \text{ \AA}$ [10].

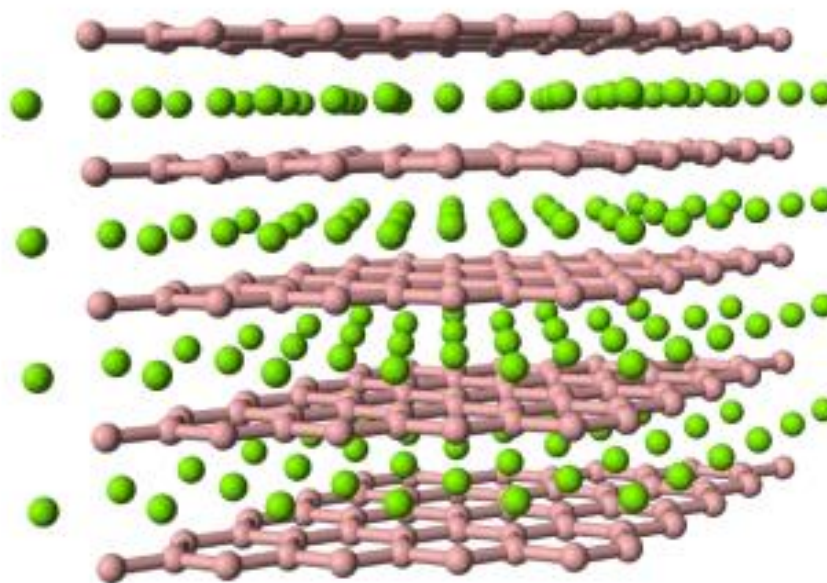


Рисунок 1.4 – Кристалічна структура TaB₂ [10]

За своїми властивостями TaB₂ має схожість з ZrB₂, TiB₂, NbB₂ за рахунок близького з ними питомого електроопору 32,5 мкОм·см, а також коефіцієнт термічного розширення - $7,9 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. На додачу диборид танталу володіє властивостями кераміки (високою міцністю та твердістю) при цьому високою теплопровідністю і електропровідністю. Диборид танталу це високотемпературна

кераміка з температурою плавлення близько 3037°C і мікротвердістю 25 ГПа [10,11].

Синтезують диборид танталу методом іскро-плазмового спікання. Ущільнення відбувається при температурі близько 800°C навантаження становить 55-60 МПа. Таким чином ущільнення сягає близько 95-97 % [12].

Унікальні властивості плівок, виготовлених з дибориду танталу, дозволяють при твердості в 30 ГПа мати модуль пружності в 200 ГПа [12].

В таблиці 1.2 наведені значення твердості та модуля пружності плівок TaB_2 при різних розмірах зерен.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості плівок TaB_2 [13].

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

1.1.3 Загальна характеристика та властивості SiC

Карбід кремнію займає перші позиції в якості матеріалу для застосування в конструкційних керамічних сполуках завдяки високій теплопровідності, корозійній стійкості, низькому коефіцієнту теплового розширення (табл.1.3), а також пружній деформації при температурах до 1600°C [14].

Існують дві модифікації (рис.1.5) SiC – кубічна $\beta(3\text{C})\text{-SiC}$ та гексагональний $\alpha\text{-SiC}$. $\beta(3\text{C})\text{-SiC}$ має ґратку типу цинку, а в $\alpha\text{-SiC}$ модифікації гексагональна ґратка типу вюрцита. $\alpha\text{-SiC}$ Об'єднує в собі багато подібних за структурою політипів. На даний момент відомо більше 200 різних політипів при цьому їх кількість збільшується з новими дослідженнями [15].

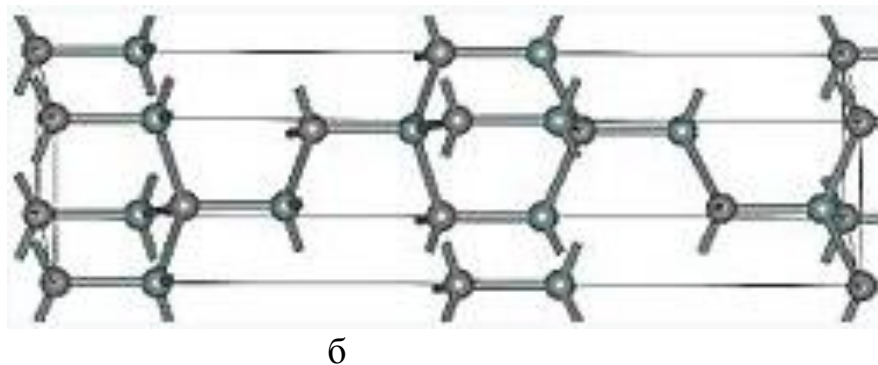
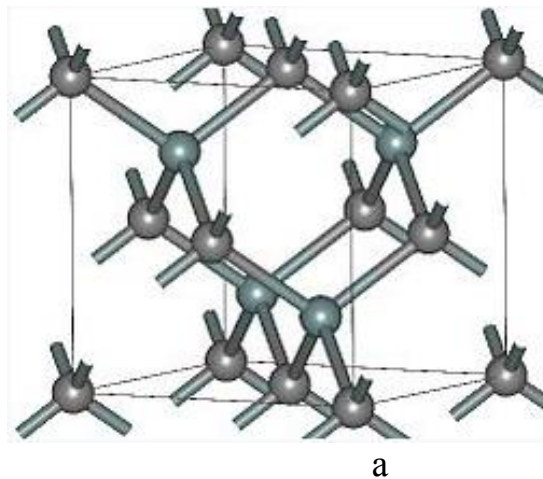
Завдяки високим механічним характеристикам (табл.1.3) карбід кремнію являється чудовою сполукою для підвищення механічних властивостей сплавів [16].

Карбід кремнію є одним з основних матеріалів для застосування в напівпровідниках за рахунок чудовій теплопровідності, високій щільності електричного струму, а також висока електрична напруга пробою. Також має високі антикорозійні властивості.

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні властивості SiC [14].

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 ($\text{МПа/м}^{1/2}$)	4,6
Максимальна робоча температура ($^{\circ}\text{C}$)	1650
Коефіцієнт теплопровідності ($\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$)	120
КТР ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)	4
Питома теплоємність ($\text{Дж/(кг}\cdot\text{K)}$)	750

Синтез карбіду кремнію здійснюється завдяки спіканню вуглецю з кремнеземом за температур 1600-2500 $^{\circ}\text{C}$ [17].



а - $\beta(3C)$ -SiC; *б* - α -SiC (6H)-SiC

Рисунок 1.5 – Кристалічні структури політипів SiC [18]

Застосовується SiC в абразивних матеріалах, підшипниках, а також в електротехніці в якості напівпровідника. Високі показники термостійкості дозволяють використовувати в високотемпературних середовищах [19].

1.2 Характеристики подвійних систем

1.2.1 Фізичні та механічні властивості системи B_4C - SiC

Завдяки високій твердості, низькій щільності, хімічній байдужості та здатності до поглинання нейронів карбід бору являється матеріалом широкого застосування. Але низька міцність та в'язкість руйнування є значною перешкодою при застосуванні. Синтез ущільненого карбиду бору являється досить дорогим

процесом насамперед через сильний ковалентний зв'язок та відсутність пластичності і високу стійкість до ковзання зерна. Формування гібридної структури за рахунок об'єднання його з іншими матеріалами а також зменшення розміру зерна являється чудовими стратегіями подолання проблем ущільнення B_4C [20].

Значна кількість робіт присвячена сполуці B_4C - SiC в якій вміст першого не сягав більше ніж декілька мольних відсотків, так як вміст SiC значною мірою пришвидшував процес спікання. Хоч Карбід кремнію дисоціює при 3100K та B_4C має високу температуру плавлення (2700K). Евтектика B_4C - SiC когурентно утворюється при 53 мол.% SiC (рис.1.6)[21].

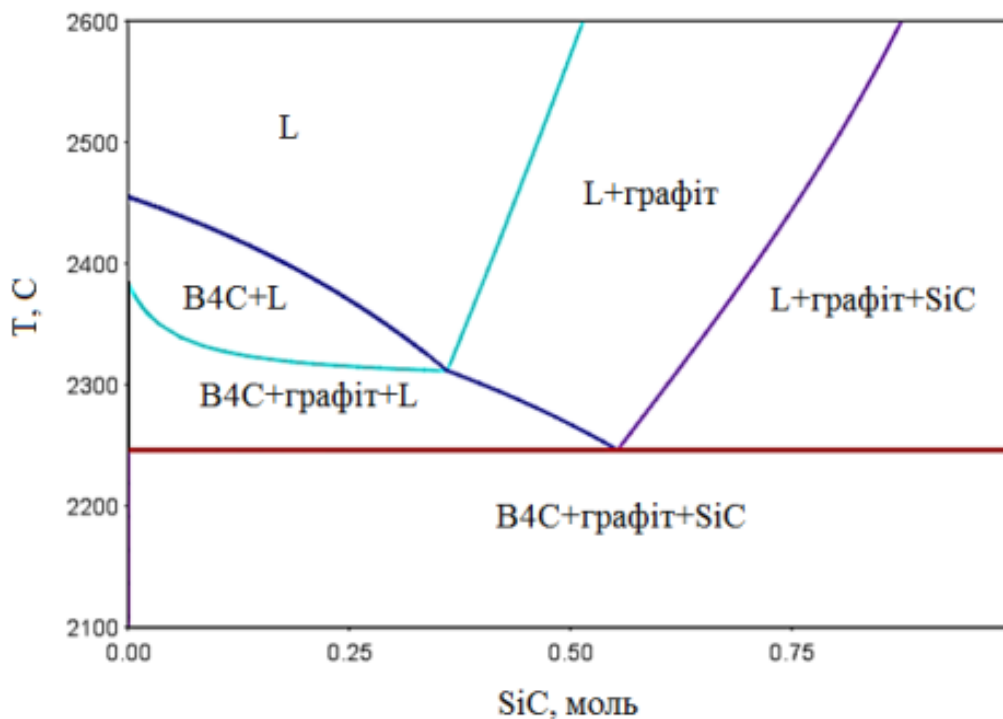
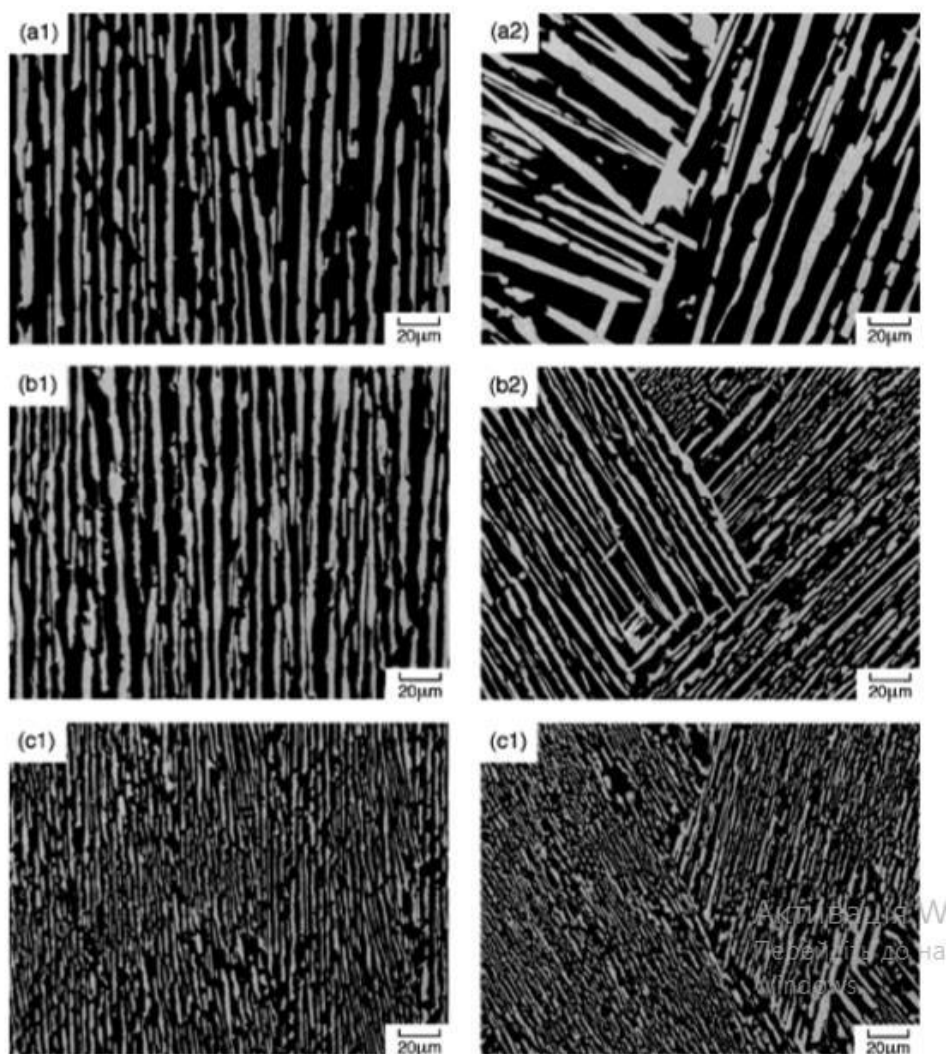


Рисунок 1.6 – Діаграма стану системи B_4C - SiC

Зображення структури вздовж та поперек росту представлено на **рисунку 1.7**.



a1, b1, c1 – вздовж; *a2, b2, c2* – поперек фронту кристалізації

Рисунок 1.7 – Структура композиту B_4C-SiC

В результаті утворення рідкого Si та видалення вільного вуглецю при спіканні можна спостерігати зростання щільності SiC (табл.1.4)[22].

Таблиця 1.4 – Відносна щільність і механічні властивості композитів B_4C - SiC [22]

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	$24,1 \pm 2,2$	$3,34 \pm 0,31$
B_4C - 15мас% SiC	2,48	2,58	96,1	$26,6 \pm 2,3$	$4,98 \pm 0,25$
B_4C -22 мас.% SiC	2,62	2,64	99,1	$33,5 \pm 1,3$	$5,57 \pm 0,20$

На рисунку 1.8 представлено композит B_4C - SiC отриманий методом зонної плавки який має високі показники мікротвердості [22].

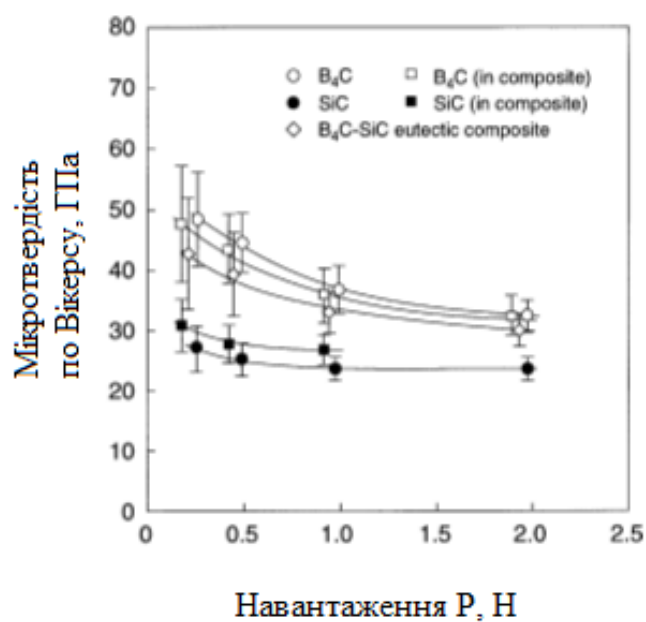


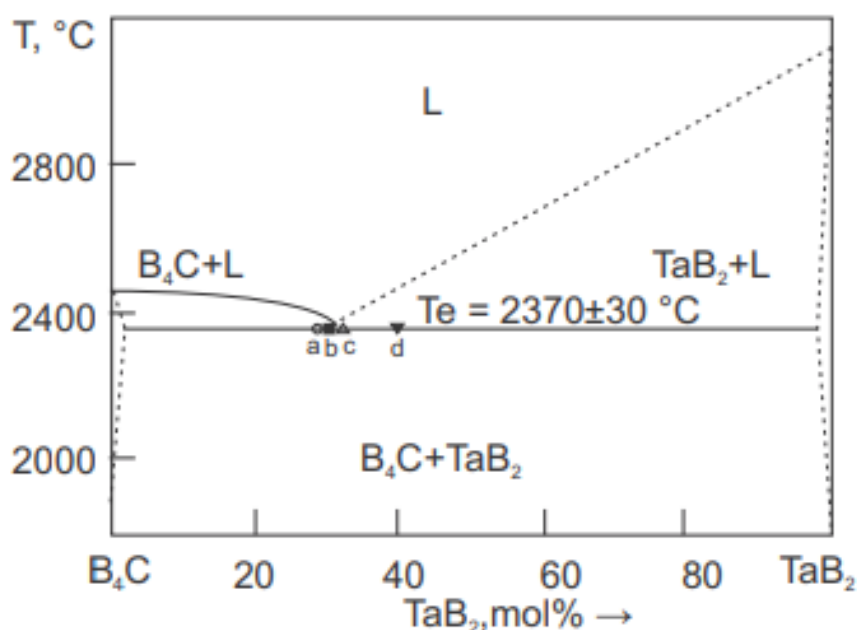
Рисунок 1.8 – Залежність мікротвердості від навантаження систем B_4C - SiC [22]

1.2.2 Фізичні та механічні властивості системи B_4C-TaB_2

Введенні в матрицю карбіду бору дибориди перехідних металів показують чудові механічні властивості та являються привабливими матеріалами при застосуванні в високотемпературних середовищах [23].

B_4C-TaB_2 являється малодослідженим серед композитів систем $B_4C-Me(IV-V)B_2$. Висока евтектична температура ($\sim 2640K$), яка тільки трохи менша для евтектики B_4C-HfB_2 ($\sim 2650K$) додає суттєвих складнощів при дослідженні. На [рисунку 1.9](#) представлено фазову діаграму B_4C-TaB_2 [23].

Диборид танталу має високі показники хімічної стійкості, електро- та теплопровідності. Температура плавлення становить близько $3473K$, твердість сягає 24 ГПа, модуль Юнга 551 ГПа [24].

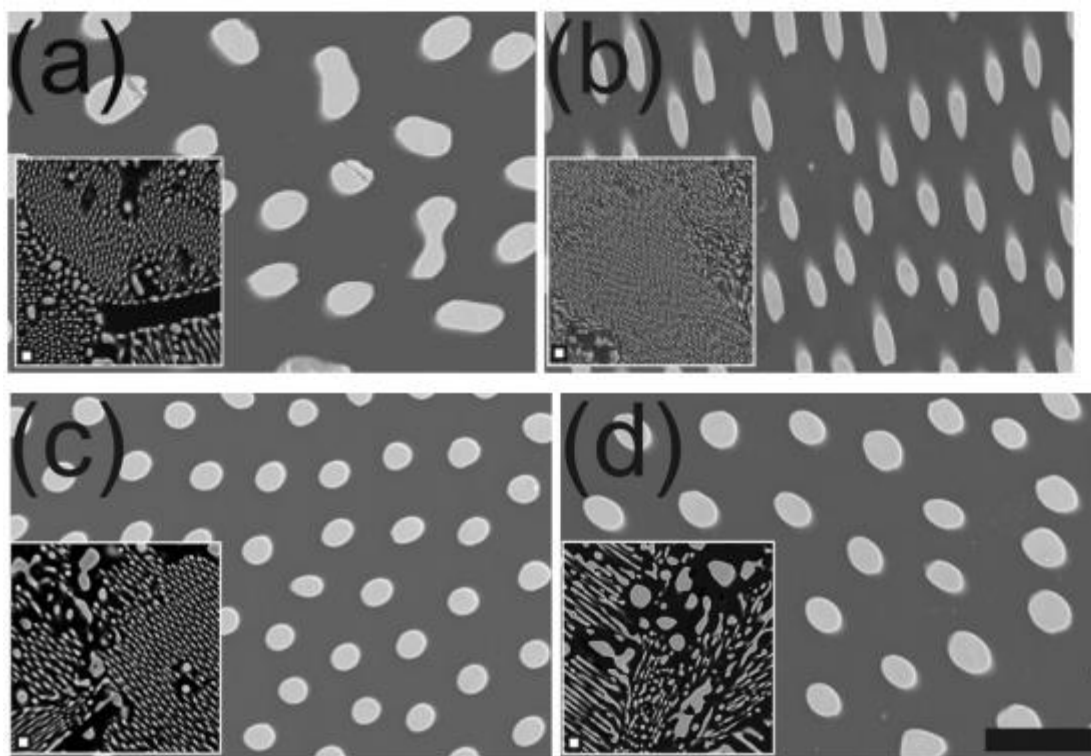


a – 30; b – 33; c – 35; d – 40 мол.% TaB_2 .

Рисунок 1.9 – Фазова діаграма системи B_4C-TaB_2 [23]

Евтектичну структуру системи B_4C-TaB_2 представлено на [рисунку 1.10](#). Евтектика представлена рівномірно розподіленими стержнями TaB_2 в сірій матриці карбіду бору.

TaB_2 являється хімічно інертною сполукою. Він байдужий до майже всіх мінеральних кислот. Вплив при нагріванні мають лише концентрована фосфорна та сірчана кислота [25].



(a) – 30; (b) – 33; (c) – 35; (d) – 40 мол.% TaB_2 .

Рисунок 1.10 – Структура евтектичного сплаву $\text{V}_4\text{C}-\text{TaB}_2$ [23]

1.3 Характеристика системи $\text{V}_4\text{C}-\text{MeB}_2-\text{SiC}$

Широкого застосування, безкисневі сполуки, набули на початку другої половини 20-го століття. Вони звернули на себе увагу завдяки специфіці хімічного зв'язку що забезпечував високу міцність, твердість, можливість використання при високих температурах тощо[26].

Порошкова металургія надає можливість контролювати, прогнозувати властивості створених композитів, що робить її однією з найбільш доцільних при виготовленні високотемпературної кераміки[27].

За для підвищення механічних властивостей, а також робочих температур композиту до ковалентних карбідів B_4C - SiC додають бори́ди металів MeB_2 .

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

Дані досліджень евтектичних перетворень систем SiC , B_4C - $Me^d B_2$ наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Склад і евтектичні температури в граничних квазібінарних сполуках систем SiC - $Me^d B_2$ - B_4C [26]

Система	$T_{\text{евт}}, ^\circ\text{C}$	Вміст $Me^d B_2$ в евтектиці, мол%
$SiC-B_4C$	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
$SiC-W_2B_5$	2060	70
B_4C-TiB_2	2200	24
B_4C-ZrB_2	2280	25
B_4C-HfB_2	2377	22
B_4C-VB_2	2170	47
B_4C-NbB_2	2250	36
B_4C-TaB_2	2370	32

Продовження таблиці 1.5

B_4C-CrB_2	2147	70
$B_4C-W_2B_5$	2130	60

Розрахунковий вміст компонентів, а також температури плавлення потрійних евтектик освітлені в **таблиці 1.6** та зображені на **рисунку 1.12** [28,29,30].

Таблиця 1.6 – Температури плавлення потрійних евтектик ($t_{евт}$) та концентрацій диборидів в евтектиці ($X_{евт}$) в системах $SiC-B_4C-Me^d B_2$ [30]

Дибориди	$t_{пл}, ^\circ C$	$t_{евт}, ^\circ C$	$X_{евт}, мол.\%$	$\Delta t, \%$
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

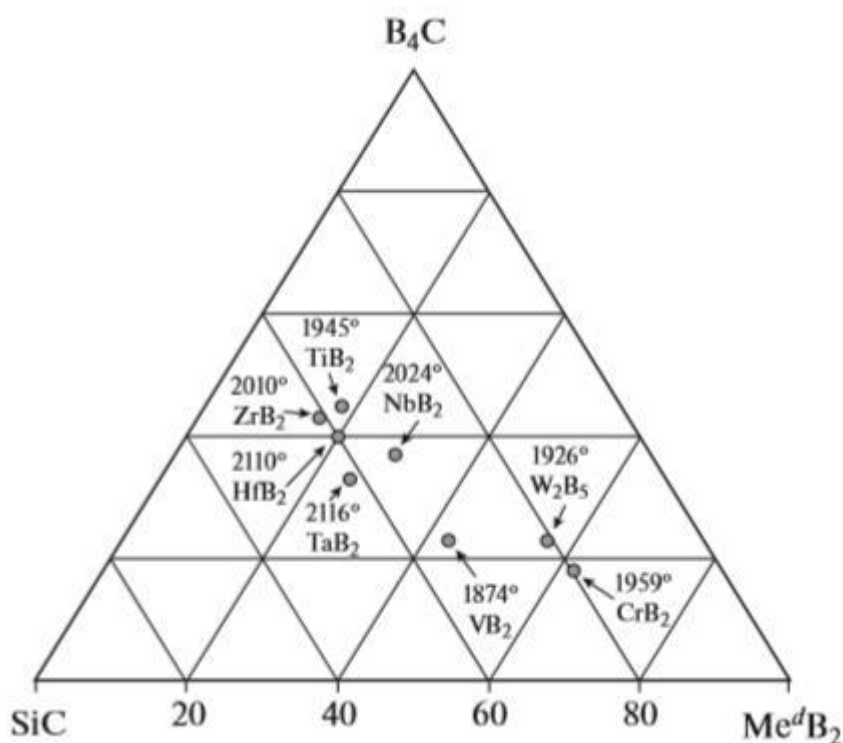


Рисунок 1.12 – Розраховані композиції (мол.%) і точки плавлення (°C) потрібної евтектики в узагальненій фазовій діаграмі системи SiC–B₄C–Me^dB₂ [30]

1.4 Фізичні властивості евтектичних композиційних матеріалів

Враховуючи що трифазні безкисневі сполуки мають мисові механічні властивості, насамперед високу міцність, зносостійкість, низьку питому енергію високу міцність на межі розділу, що розходиться в порівнянні з композитами отриманими традиційними методами в окисних середовищах[31]. Це також надає матеріалу анізотропних властивостей, в результаті подовження мікроструктури, при отриманні матеріалу методом безтигельної зонної плавки, які суттєво вносять корективи в фізико-механічні властивості.

1.4.1 Твердість спрямовано закристиалізованих композитів

Вимірювання твердості методом вдавлювання являється найбільш частим використовуваним методом. Це пояснюється тим, що розмір досліджуваних зразків не дає змоги дослідити їх іншими методами. Частіше за все користуються методом вдавлювання по Вікерсу та по Кнупу. Твердість на вдавлювання залежить від навантаження при низьких навантаженнях, таким чином необхідно заздалегідь узгоджувати тип та силою навантажування [32,33]. Це явно представлено на [рисунку 1.13](#). При дослідженні спрямовано кристалізованого евтектичного сплаву B_4C - TiB_2 та монокристалічного B_4C показує що залежність твердості при низьких навантаженнях значно більша, адже відбувається розтріскування матеріалу.

Міжпластинчаста відстань та розмір евтектик напряму впливають на твердість готового композиту. Твердість збільшується при підвищенні швидкості кристалізації а також при зменшенні міжпластинчастої відстані [34,35].

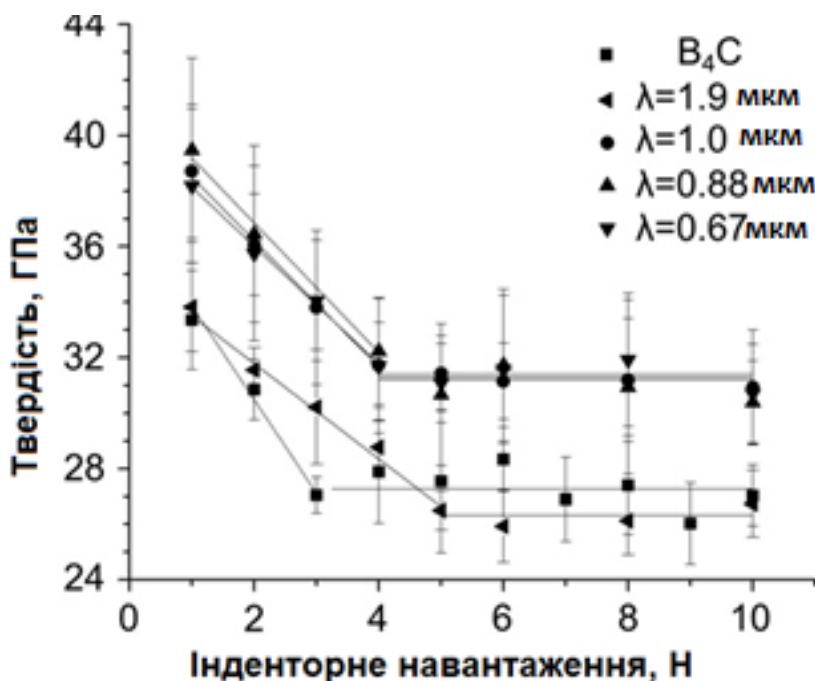


Рисунок 2.13 – Залежність твердості від навантаження в монокристалічному B_4C та спрямовано кристалізованому евтектичному сплаві B_4C - TiB_2 з різною міжпластинною відстанню

Також твердість зменшується за рахунок зменшення мікроструктурного масштабу в результаті чого відбувається утворення заевтектичних мікроструктур, дендритів. Збільшення кількості дендритів призводить до руйнування мікроструктури та подальшого зменшення твердості композитів. Таким чином можна дійти висновку, ще не тільки довжина, а і морфологія мають суттєвий вплив на значення твердості спрямовано закристалізованих композитів [36].

1.4.1 Стійкість до окислення спрямовано закристалізованих композитів

Високотемпературна кераміка в обличчі боридів та карбідів являється бажаною темою для досліджень та використання в цілому, але значну роль відіграє середовище в якому вони перебувають, адже їх хімічна стабільність напряду залежить від нього. Бажаним являється отримання тонкого оксидного шару на поверхні композиту, який слугуватиме захистом, бар'єром при майбутньому окисненні [37]. Ведення карбіду кремнію являється одним із вирішень проблеми окиснення. Його вміст в композитах значною мірою знижує степінь окиснення. Даний процес представлено на рисунку 1.14.

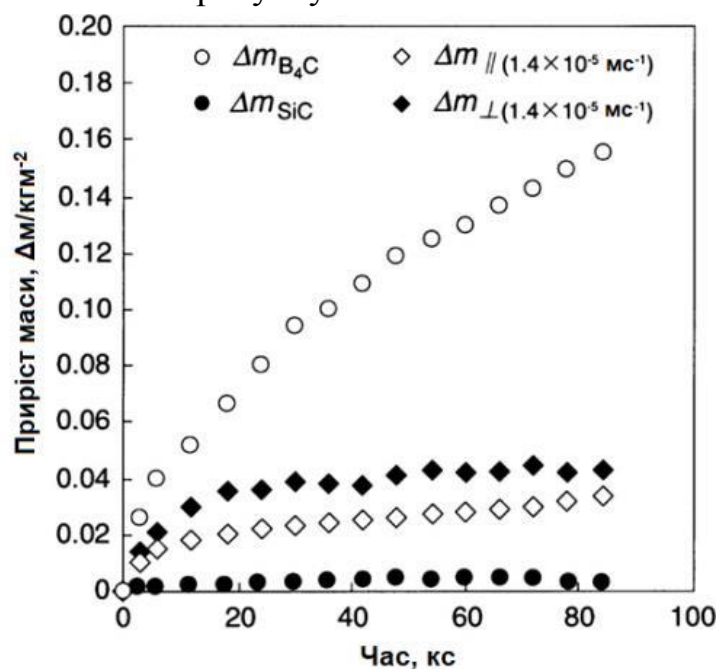


Рисунок 1.14 – Дослідження спрямовано кристалізованого евтектичного сплаву B_4C - SiC при температурі $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ в середовищі кисню

1.4.2 Електричні властивості спрямовано закристалізованих композитів

Механічні властивості, довгий час, бали найважливішою темою досліджень боридів та карбідів отриманих методом спрямованої кристалізації та завдяки деяким дослідженням вдалося виявити їх термоелектричні властивості. Також велика анізотропія властивостей призводить до унікальних та адаптивних властивостей переносу в залежності від орієнтації композиту.

Такі дибориди як ZrB_2 і TiB_2 , які мають одну з фаз в декількох композитах, мають властивості електропровідників. У композиту сплаву B_4C - TiB_2 , отриманого методом спрямованої кристалізації, при дослідженні електропровідності було виявлено анізотропні властивості та їх різницю від швидкості росту кристалу. Таким чином найвища електропровідність, при швидкості росту $1,4 \times 10^{-5} \text{ мс}^{-1}$, паралельному напрямку росту, виявилась вища ніж у монолітного B_4C та при цьому нижче ніж у монолітного TiB_2 [39].

1.5 Висновки та постановка задач дослідження

Отримані евтектичні композити на основі дотидів та силічидів, методом порошкової металургії, вчасності методом спрямованої кристалізації, мають значно кращі фізико-механічні та електричні властивості ніж ті ж сплави отримані традиційними методами. Композити системи B_4C - $Me^{IV}B_2$ володіють чудовими механічними, а також хімічними властивостями. Серед них висока міцність твердість зносостійкість, хімічна байдужість, низька питома вага.

Слабка стійкість до окиснення боридів являється значним недоліком, але вирішується додаванням до композитів карбіду кремнію.

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 закристилізованих евтектичних сплавів системи B_4C-TaB_2-SiC .

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика отримання зразків

Технологічна схема отримання спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів показана на рисунку 2.1.

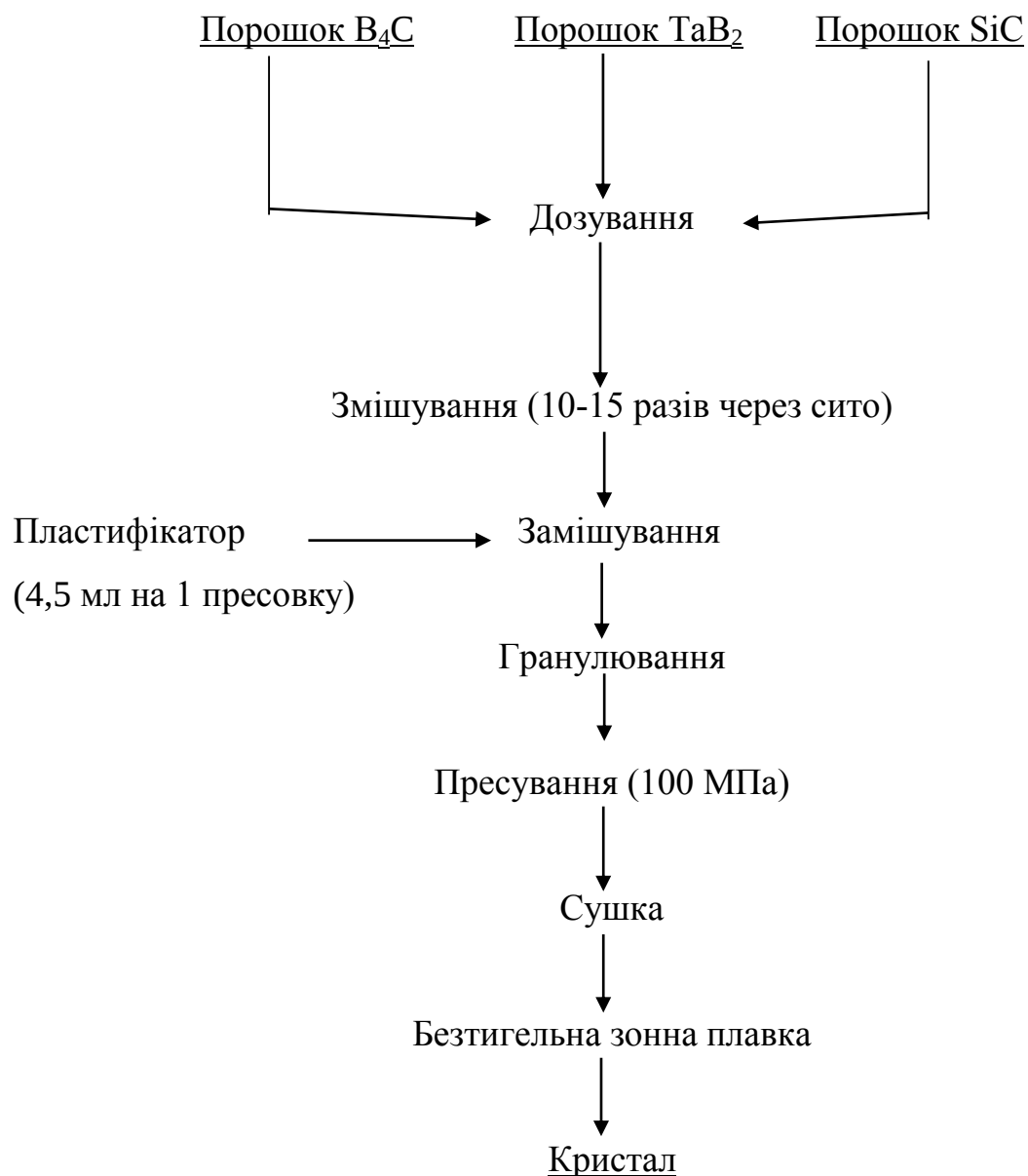


Рисунок 2.1 – Технологічна схема одержання спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів

2.2 Вихідні матеріали

В якості вихідних матеріалів використовувались дрібнодисперсні промислові порошки карбіду бору, дибориду танталу, а також карбіду кремнію. 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

2.2.1 Визначення евтектичного складу

За допомогою методу безтигельної плавки можна прецизійно визначити склад евтектичного композиту [40]. Сутність методу полягає в отриманні зразка зі складом наближеним до евтектичного та, після зонної плавки, за допомогою металографічного аналізу, по евтектичним ділянкам визначити точний вміст евтектичних областей.

Склад трикомпонентних систем їх структурні складові визначають за допомогою концентраційного трикутника. На перпендикулярній осі відкладають значення температури. Тригранна призма зображена на [рисунку 2.2](#) [41].

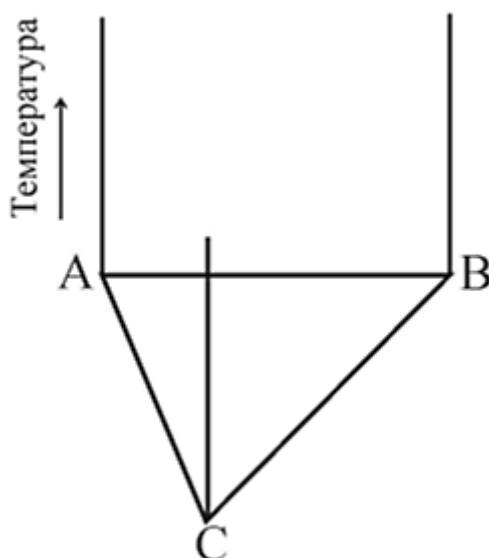


Рисунок 2.2 – Просторове зображення трикомпонентної системи [41]

Для визначення кількісного, хімічного складу існує декілька способів. Одним з найпростіших, коли від фігуративної точки проводяться лінії паралельні сторонам концентраційного трикутника. Обрана сторона в такому разі ділиться на три відрізки, що відповідають канцентрації компонентів А, В, С в концентраційній точці Х (рис. 2.3) [41].

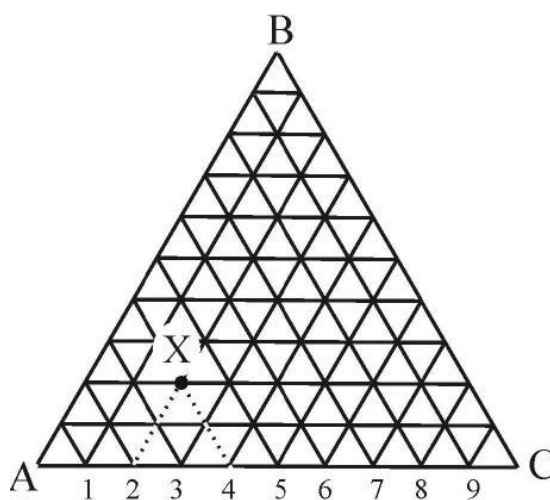


Рисунок 2.3 – Кількісне визначення складу в точці Х [41]

2.2.2 Одержання заготовок для вирощування кристалів

Дозування відбувається на лабораторних терезах, змішування за допомогою лабораторних сит. 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 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 (г/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

На гідравлічному пресі в розбірній преф-формі здійснювали пресування стержнів довжиною 145 мм и діаметром 10 мм при тиску 100 МПа.

Стержні обережно розміщуються на скляних пластинах, що завантажуються в сушильну шафу.

2.2.4 Сушка стержнів

Для полімеризації пластифікатора та видалення зайвої вологи, в вакуумній сушильній камері, із стержнів, проводять сушку при температурі 100 °С на протязі 9-10 годин.

2.2.5 Безтигельна зонна плавка

Вирощування циліндричних зразків відбувається методом безтигельної зонної плавки в установці "Кристал-206".

Стержні фіксуються в затискач верхнього рухомого штока установки, а в нижній шток закріплюється затравка. Далі штоки підводять максимально близько з метою мінімізації відстані затравки та стержня (рис. 2.4).

Після фіксації стержня камера вакуумується до 10^{-3} Па. Робота проводиться в надлишковій атмосфері 1 атм інертного газу. Це слугує зупиненню інтенсивного випаровування сплаву при досягненні температур плавлення.



Рисунок 2.4 – Конструкція установки "Кристал-206"

При досягненні розплавленої зони зразок приводять до руху із встановленою швидкістю відносно індуктора. Швидкість при цьому контролювали в межах 1-3 мм/хв. Температуру вимірювали за допомогою пірометра «Промінь».

Одержаний спрямовано закристалізований композит зображено на **рис. 2.5**.



Рисунок 2.5 – Спрямовано закристалізовані евтектичні композити

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

2.3 Металографічні дослідження

Металографічні дослідження було проведено за допомогою растрового електронного мікроскопа Selmi PEM 106 (рис. 2.6).

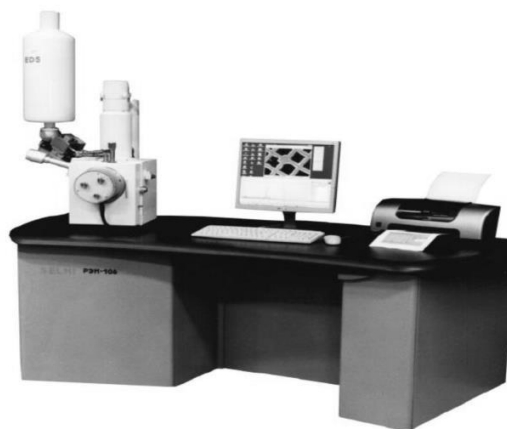
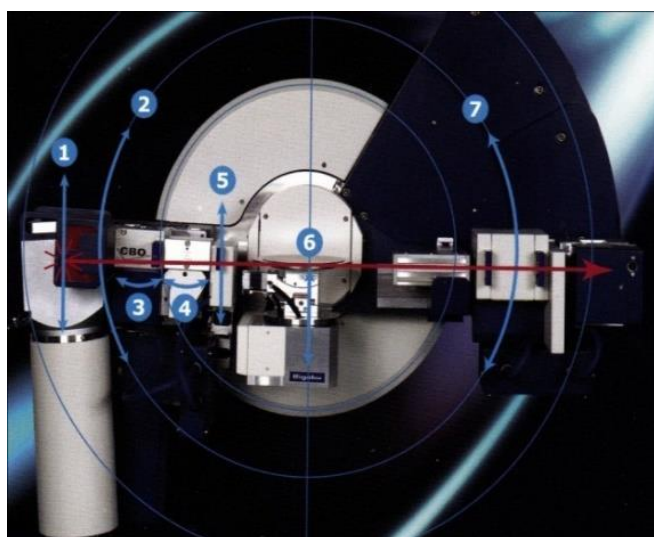


Рисунок 2.6 – растровий електронний мікроскоп Selmi PEM 106

Зразки попередньо були запресовані в бакелітові прес-форми та відшліфовані за допомогою алмазних кругів.

2.4 Рентгенофазовий аналіз

Рентгеноструктурний аналіз, для сплавів досліджувальних складів, було проведено на установці Rigaku Ultima IV. 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

Дослідження проведено для проведення якісного аналізу зразків, для встановлення наявності фаз та виявлення відносного їх вмісту [42].

2.5 Дослідження мікротвердості та тріщиностійкості сплаву системи

За допомогою мікротвердоміра MHV-1000 та оптичного мікроскопу Neophot 21 було визначено мікротвердість отриманих зразків, а також їх тріщиностійкість. Навантаження зразків становило 10 Н, час витримки 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 Р – навантаження,

F – площа бокової поверхні відбитка,

α – кут при вершині алмазної піраміди,

d – діагональ відбитку.

За методикою мікроіндентування було виміряно тріщиностійкість спрямовано закристалізованих сплавів. Даний метод характеризується меншим впливом структурної неоднорідності. Тріщиностійкість 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.

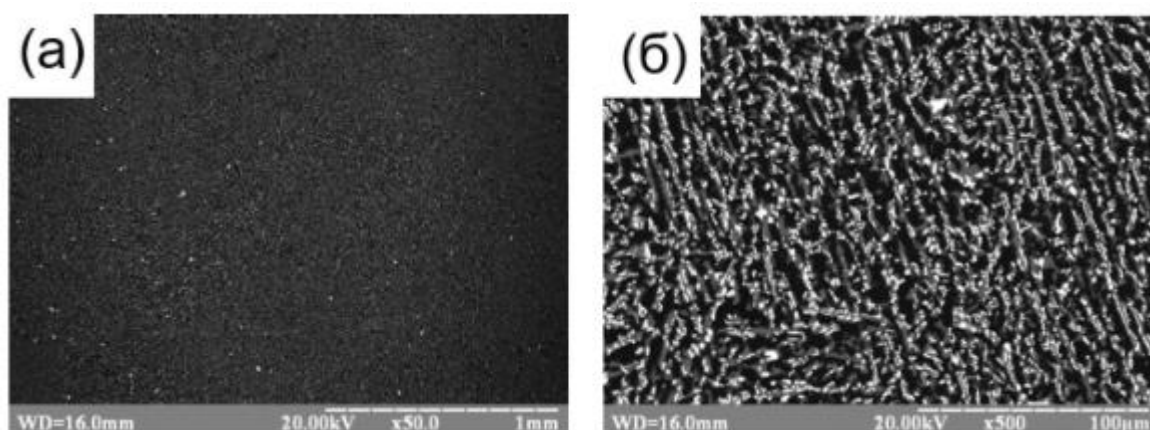
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Дослідження складу компонентів

Перед проведенням експерименту було проведено рентгенофазове 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.

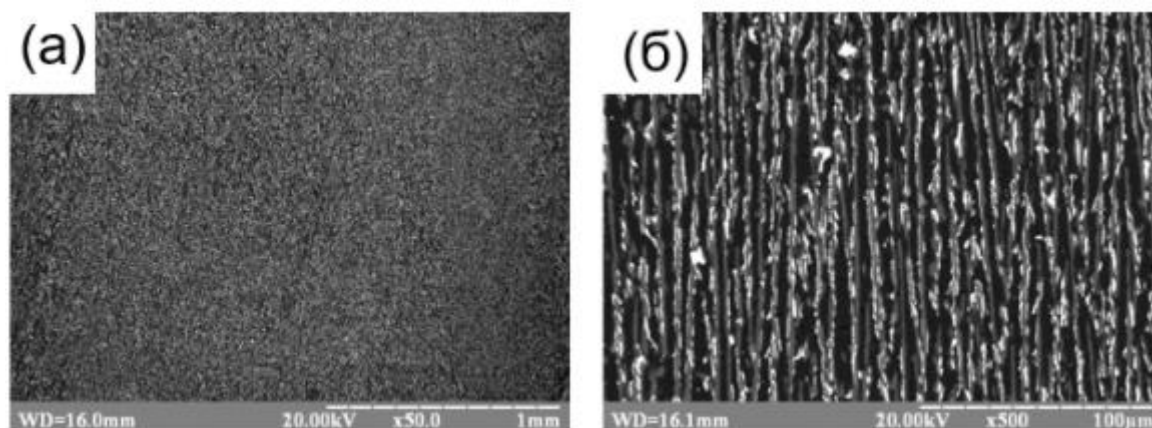
3.2 Дослідження структури композитів

Структура композиту $B_4C-8TaB_2-40SiC$ характеризується рівномірним розподілом трифазної евтектики B_4C-TaB_2-SiC по всьому об'єму зразка, як в поперечному (рис.3.1) так і в повздовжньому (рис.3.2) напрямку. Трифазна евтектика представлена як ламелярною так і пластинчастою структурою. Матрицею виступає карбід бору (B_4C – чорна фаза) з рівномірно розподіленими включеннями карбіду кремнію (SiC – сірого кольору) в яких розміщена фаза дибориду танталу (TaB_2 – білого кольору).



a – x50; *б* – x500

Рисунок 3.1 – Мікроструктура композиту $B_4C-8TaB_2-40SiC$ в поперечному перерізі



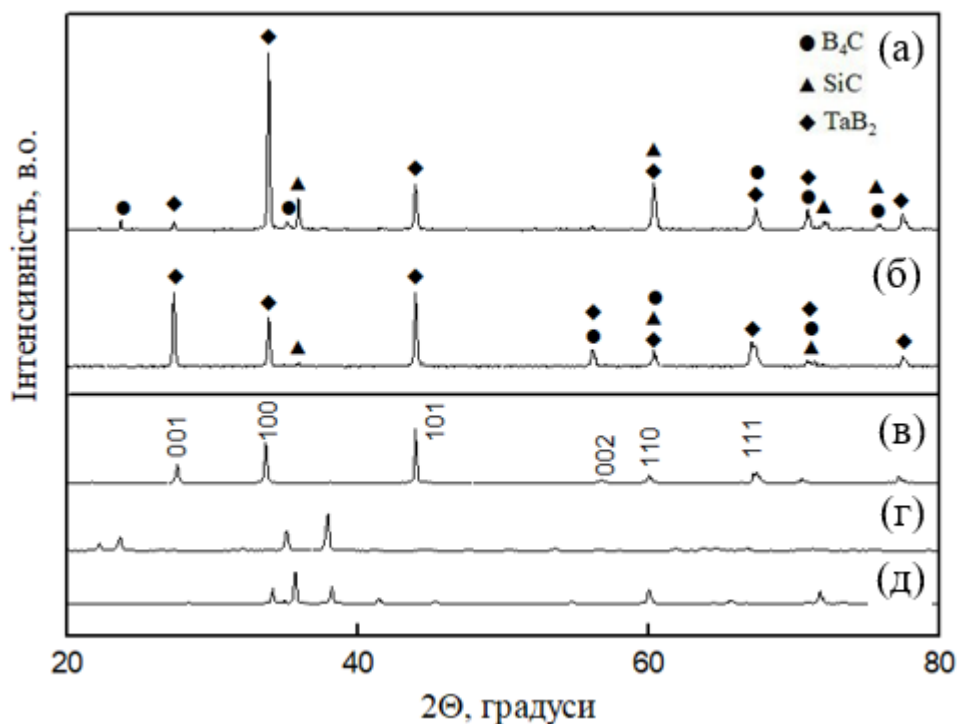
a – $\times 50$; *б* – $\times 500$;

Рисунок 3.2 – Мікроструктура композиту $B_4C-8TaB_2-40SiC$ в
повздовжньому перерізі

Розмір евтектичного домену в трифазній евтектиці становить близько 9 мкм. Поперечний розмір фази TaB_2 знаходиться в межах 1-2 мкм, SiC - 2-3 мкм та B_4C - 3-6 мкм. В напрямку кристалізації спостерігається направленість структури, що пояснюється методом отримання композиту.

3.3 Рентгенофазовий аналіз

Рентгенофазний аналіз показав наявність наступних фаз (рис.3.3): карбіду кремнію (SiC), карбіду бору (B_4C) та дибориду танталу (TaB_2), жодних інших фаз не виявлено. Анізотропія структури композиту, отриманого методом спрямованої кристалізації, пояснює відмінність отриманих дифрактограм. Наявність чітко виражених піків TaB_2 говорить про текстурованість матеріалу. Для поздовжнього перерізу спостерігається текстуровання TaB_2 у напрямку площин (001) та (101), тоді як у поперечному перерізі – у напрямку площин (100), що нормально для композитів системи B_4C-MeB_2-SiC .



a – поперечний напрямок; b – повздовжній напрямок;

ϵ – TaB_2 ; δ – B_4C ; δ – SiC

Рисунок 3.3 – Дифрактограма евтектичного композиту B_4C -8 TaB_2 -40 SiC та порошків вихідних компонентів

3.4 Елементний аналіз

Для перевірки рентгенофазового дослідження, був проведений елементний аналіз (WDS). Рисунок 3.4 показує карти розподілу елементів WDS танталу (Ta), бору (B), вуглецю (C) та кремнію (Si) у композиті B_4C -8 TaB_2 -40 SiC (мол.%). Порівняння зворотно розсіяного електронного зображення (CP) з розподілом елементів дозволяє виявити фази, що складають мікроструктуру композиту.

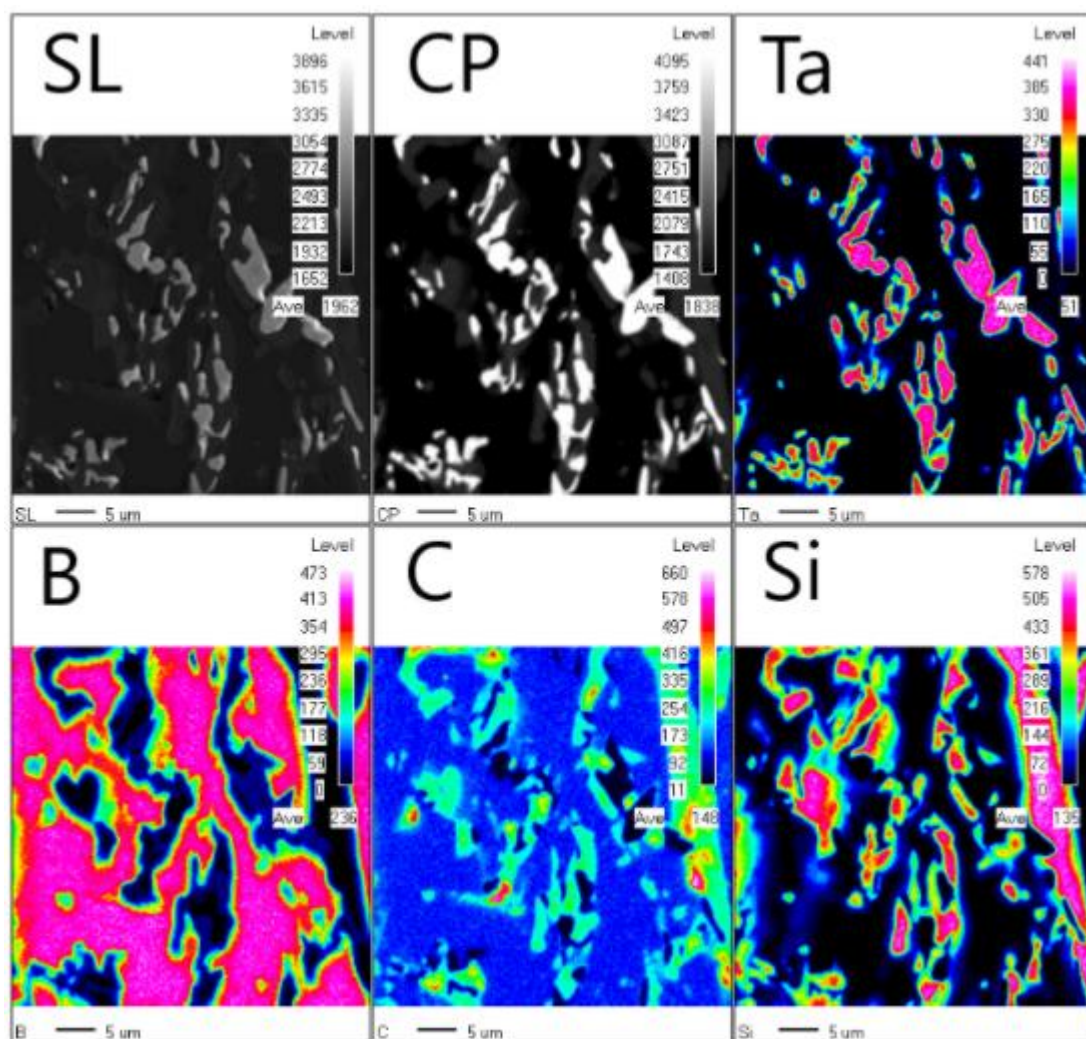


Рисунок 3.4 - Елементний аналіз WDS для евтектичного композиту B_4C - $8TaB_2$ - $40SiC$ (мол.%). SL - вторинне електронне зображення; CP зворотне розсіяне електронне зображення аналізованої області;

Оскільки за допомогою рентгенографічного аналізу не виявлено жодної фазової взаємодії, ми можемо ідентифікувати чорну фазу як B_4C , білу фазу як TaB_2 та сіру фазу як 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 незважаючи на наявність видимої анізотропії структури в поздовжньому та поперечному напрямі, твердість за Віккерсом для $\text{V}_4\text{C}-8\text{TaB}_2-40\text{SiC}$ (рис.3.10) знаходиться в межах 33-34 ГПа. Дані значення твердості цілком узгоджуються зі значеннями твердості отриманими для евтектичних ділянок системи $\text{V}_4\text{C}-\text{TaB}_2-\text{SiC}$ [27]. Для евтектичного композиту $\text{V}_4\text{C}-8\text{TaB}_2-40\text{SiC}$ також теоретично розраховувалось твердість за правилом сумішей з врахуванням твердості окремих фаз: V_4C (36.8 ГПа), SiC (28 ГПа) та TaB_2 (25,6 ГПа). Отримане значення становить $\sim 34,23$ ГПа, що досить близько до отриманих експериментальних значень.

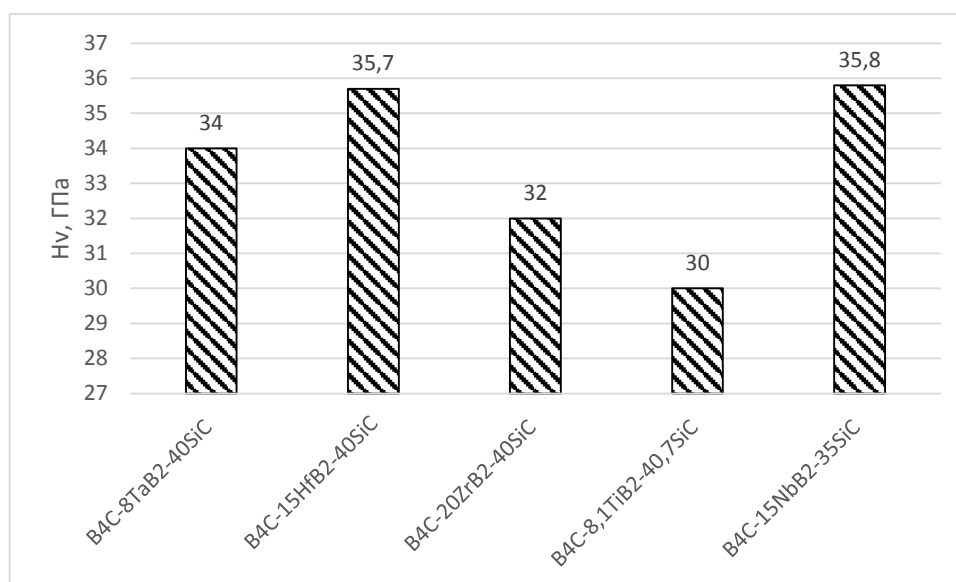
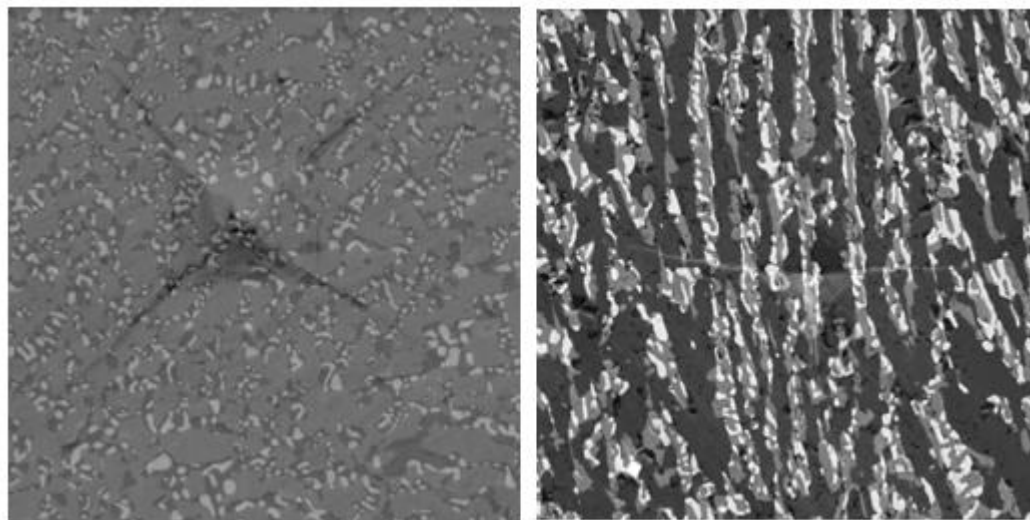


Рисунок 3.10 – Твердість трифазних евтектичних сплавів системи $\text{V}_4\text{C}-\text{MeB}_2-\text{SiC}$.

Тріщиностійкість евтектичного композиту $B_4C-8TaB_2-40SiC$ (рис.3.11, рис.3.12) знаходиться в межах $3,9 \pm 0,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.



а

б

a – поперечний напрям; *б* – повздовжній напрям

Рисунок 3.11 – Поширення тріщин в композитах B_4C-TaB_2-SiC при збільшенні $\times 200$

Досить низьке значення тріщиностійкості можна пояснити тим, що тріщини легко поширюються у достатньо крупних (до 6 мкм) однофазних прошарках карбіду бору та карбіду кремнію, для яких значення тріщиностійкості достатньо невелике: $3,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ та $3,5-4,1 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ відповідно.

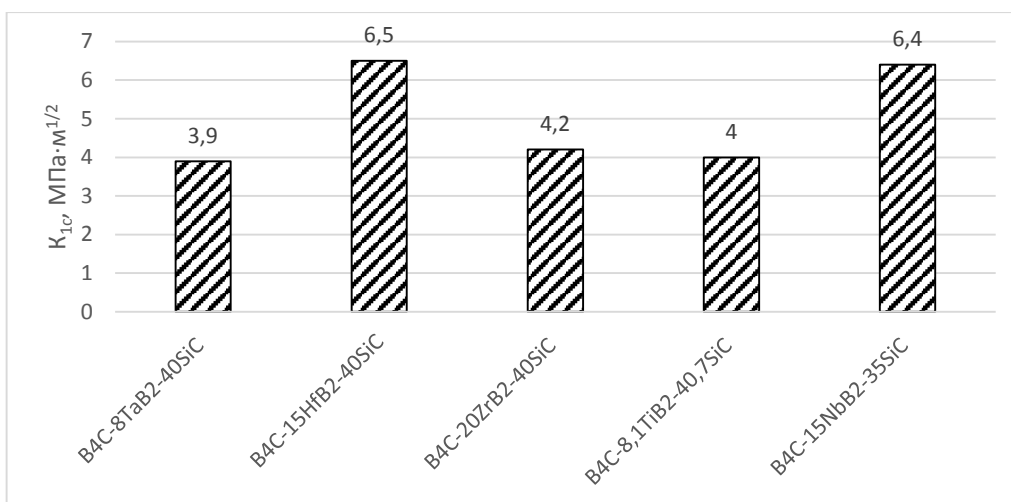


Рисунок 3.12 – Тріщиностійкість трифазних евтектичних сплавів системи B_4C - MeB_2 - SiC .

Також помічено що для повздовжнього напрямку спостерігаються різні довжини тріщин у різних напрямках, що обумовлено спрямованістю структури внаслідок спрямованої кристалізації. Індентування проводилось при навантаженні в 10 Н.

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 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

При виконанні даної роботи основними процесами, що несуть в собі потенційну 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 TaB_2 становить $3,5 \text{ мг/м}^3$. Таким чином контакт з порошком усувається використанням гумових рукавичок, респіратора, спеціальних захисних окулярів та одягу, що запобігає потраплянню порошинок в дихальні шляхи, на шкіру та слизову оболонку.

Наступним кроком є 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.

4.1.1 Аналіз освітленості приміщення

Освітлення буває трьох видів: природне, штучне і суміщене. Природне у свою чергу поділяється на бічне, верхнє та комбіноване. Штучне – загальне і місцеве. Характеристика зорової роботи поділяється за класами точності :

1) найвищої точності, 2) дуже високої, 3) високої, 4) середньої, 5) малої, 6) дуже малої точності. Наша робота підходить під клас середньої точності.

У лабораторії, використовується система сумісного освітлення –освітлення, при якому в світлий час доби використовується природне та штучне освітлення, що відповідає нормам освітлення згідно ДБН В.2.5-28-2006 [43].

4.1.2 Аналіз рівня шуму

За походженням шум поділяється на механічний (джерело – вакуумний насос) та електромагнітний (джерело – установки «Кристал –206» та «Кристал – 106»). При одночасній роботі всього устаткування рівень шуму може перевищувати допустимі норми ДСН 3.3.6.037-99, що призводить до виникнення профзахворювань [44]. Рівень шуму для приміщень лабораторій для виконання експериментальних робіт допускається 75дБА. При виконанні даної дипломної роботи ці вимоги виконуються. Рівень шуму в лабораторії 028 складає 65 дБА. Він вимірюється шумомірами не менше одного разу в шість місяців.

Для зменшення шкідливого впливу виробничого шуму на працівників шумних виробництв, послаблення передавання його в сусідні приміщення застосовують звуко- і віброізоляцію, звуко- і вібропоглинання та глушники шуму. Також для зменшення шкідливого впливу шуму використовуються індивідуальні засоби захисту від шумового впливу, або обмеження часу перебування в зоні підвищеного шуму.

4.2 Забезпечення належних умов праці

4.2.1 Параметри приміщення

Дипломна робота проводиться в «Лабораторії технологій тугоплавких сполук» №028 навчального корпусу №9, специфікацію технологічного обладнання та оснащення наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Специфікація технологічного обладнання та оснащення вибраного приміщення.

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

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	6 м ²
2	Об'єм на 1-го працюючого	71,16 м ³	20 м ³
3	Мінімальна ширина проходу	2,5 м	1 м

Таким чином, на одного працюючого припадає 15,81 м² площі і 71,16 м³ об'єму, що задовольняє вимогам санітарних норм і правил ГОСТ 12.1.005-88 [45] для приміщень з ПЕОМ норма площі на одну особу становить 6,0 м², а норма об'єму приміщення на одну особу – 20 м³).

4.2.2 Безпечність виробничого обладнання

Дозування та замішування вихідних матеріалів відбувається за допомогою лопаток та системи сит, через які проводиться гранулювання шихти. Для цих операцій виділяється спеціальне робоче місце, яке оснащено витяжною шафою та системою освітлення робочої поверхні. Особливої небезпеки дані операції не несуть, якщо слідувати вищесказаним інструкціям.

Гідравлічний прес RP-L023 складається з двох колон, робочої поверхні та гідравлічної системи труб, клапанів та кранів. Даний прес може розвивати тиски до 1 ГПа. Захисним механізмом слугує металевий заслін, який використовують під час пресування. Оскільки прес має механічні елементи то для унеможливлення потрапляння частин одягу чи волосся до рухомих частин варто використовувати спеціальний одяг.

Перед роботою з пресом потрібно переконатись в цілісності гідравлічної та механічної системи – система труб та клапанів не повинна пропускати робочу рідину при навантаженні, колони та верхня частина пресу мають бути змащені мастилом.

Установка «Кристал-206» використовується для отримання тугоплавких сплавів (на основі карбідів, боридів та ін.) методом зонної плавки. Процес плавки відбувається в спеціальній вакуумній камері, термічний вплив відбувається за рахунок розігріву тугоплавкого кільцевого індуктора до температур 2000 - 2200°C. Захистом від оптичного та термічного випромінювання є товстостінна оболонка робочої камери, а також спеціальне затемнене скло, яке дозволяє слідкувати за процесом без шкоди для очей. Так як джерелом живлення даної установки є струм високої потужності, то технологічно передбачена система заземлення, що унеможливорює отримання розряду струму при контакті з корпусом чи окремими елементами.

«Кристал-206» живиться від мережі 380В, з'єднана з мережею за допомогою проводів, які підключені до розподільчої шафи. Шафа має нанесений попереджувальний символ «Обережно, висока напруга», а також захист від випадкового проникнення всередину – спеціальний замок. Також задля усунення випадкового ввімкнення установки, конструкцією шафи передбачено, що замкнути зв'язок з установкою можна лише тоді, коли дверці розподільчої шафи закриті.

Також система установки оснащена спеціальними запобіжниками, які перегорають при виведенні з ладу елементів самого агрегату і, таким чином, відбувається відімкнення всього корпусу від електричної мережі.

Установка оснащена системою водного охолодження – системою труб, які зв'язані централізовано з загальним водопостачанням. Ця система забезпечує охолодження робочої зони та відведення тепла від елементів установки. Таким чином, при аварійній зупинці чи екстреній ситуації, водопостачання не припиняється і робоча камера установки буде продовжувати охолоджуватись швидкими темпами, що дає змогу запобігти отриманню опіків оператору.

Механічна обробка зразків виконується за допомогою електро-ерозійного та шліфувального станка. Основною небезпекою при роботі з електро-ерозійним станком є ризик удару струмом високої напруги, що може виникнути в зв'язку з пробоем між ріжучою проволокою та корпусом або неправильним та непослідовним порядком роботи (вмикання та вимкнення) даної установки. Для уникнення даної загрози потрібно перевіряти наявність заземлення та справність всіх елементів станка, а також використовувати резинові рукавички під час заміни елементів та зразків. Також конструкцією установки передбачено захист від випадкового контакту оператора з проволокою.

Основним робочим елементом шліфувального станка є алмазна шайба, яка прикручується до станини, що обертається навколо своєї осі. При роботі на шліфувальному станку є висока вірогідність розтріскування та відскоку частинок зразка від шліфувального круга, що може привезти до ушкоджень рук та обличчя. Тому під час роботи рекомендується використовувати захисний одяг, рукавиці та окуляри, щоб запобігти потраплянню частинок в очі.

Установка для дослідження фазового складу отриманого матеріалу Rigaku Ultima IV оснащена електронною гарматою та камерою, в якому проводиться дане дослідження. Основним небезпечним фактором є високоенергетичне рентгенівське випромінювання а також потужне джерело струму, яке живить електронну гармату.

Установка оснащена системою заземлення, корпус робочої камери складається з матеріалу, який повністю поглинає шкідливе рентгенівське випромінювання. Завдяки таким засобам безпеки, робота на установці не передбачає застосування спеціального обладнання так одягу. Також робоча камера оснащена системами аварійного вимкнення, яка спрацьовує автоматично при розгерметизації, пошкодженні елементів камери чи електроніки. Від перепаду напруги в установці передбачені вирівнювачі та система резервного живлення, що дає змогу завершити роботу при виникненні проблем з електромережою. Ці запобіжні заходи є повністю автоматизовані і не потребують втручання оператора.

4.2.3 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. Струмопровідні 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 безпеку, 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.

Електротехнічні вироби з точки зору безпеки відповідають вимогам ПУЕ-2017 [46].

4.3 Розрахунок інженерного рішення

Конструкція місцевих відсмоктувачів вибирається в залежності від виду технологічного процесу, обладнання та оснащення. Вона повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря на робочому місці при мінімальних витратах повітря, яке видаляється, запобігати розповсюдженню шкідливих речовин по об'єму приміщення, не заважати виконанню технологічних операцій. Прив'язка відсмоктувачів до обладнання повинна здійснюватися з урахуванням максимально можливого приближення його до джерела шкідливих виділень [47].

За наявності даних про інтенсивність виділення шкідливих речовин в атмосферу приміщення повітрообмін в загальних випадках розраховується за формулою:

$$L=1000\beta V/C_{гдк}, \quad (5.1)$$

де V – інтенсивність виділення шкідливої речовини в одиницю часу г/год; β – коефіцієнт нерівномірності розподілу шкідливих речовин в об'ємі приміщення; $C_{вид}$, $C_{пр}$ – концентрації шкідливих речовин у повітрі, що видаляється (витяжне) і надходить (припливне), мг/м³.

Так як в роботі використовуються малотоксичні речовини, розрахунок проводиться за загальною формулою:

$$L=1000 \times 1,2/2=600 \text{ м}^3/\text{год}.$$

4.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

4.4.1 Пожежна безпека

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 [48] «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 $t = 72\text{ }^{\circ}\text{C}$. У коридорі знаходиться пожежний кран із приєднаним пожежним рукавом.

4.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробією електричної напруги на корпус електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У разі потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити електродуговий агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання електродугового агрегату необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У разі одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

План евакуації з лабораторії № 0-28 наведено на рисунку 4.2.

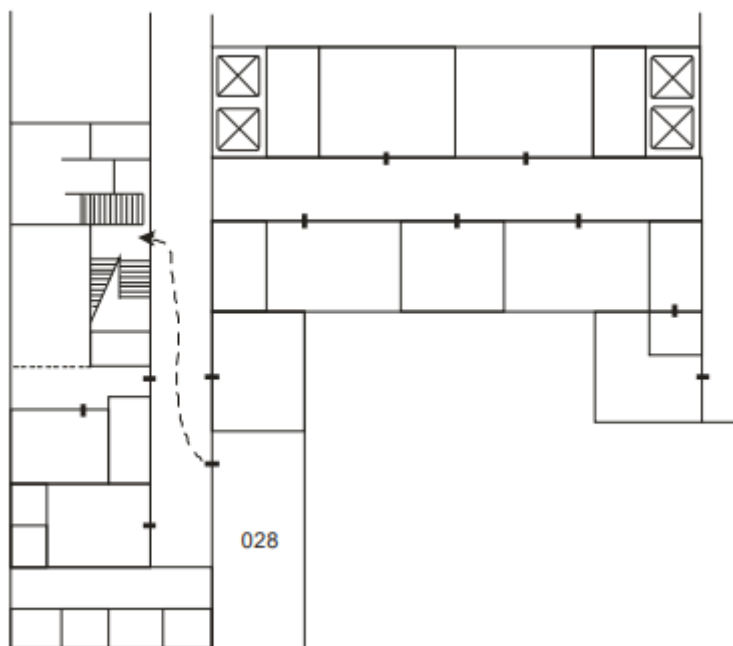


Рисунок 4.2 – План евакуації з лабораторії 028

4.5 Висновки за розділом

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.

5. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи:

$$\mathcal{E} = M\Phi_0\eta_{зв}K_1K_2, \quad (5,1)$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{зв}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для електродвигунів – 0,3; для генераторів височастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

Витрати енергії піднімально-транспортного обладнання визначають виходячи з його потужності.

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують

на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

$$Q = \frac{Sq\tau f}{1000}, \quad (5,2)$$

де S – освітлювальна площа, м^2 ;

q – поверхнева густина теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

τ – число годин горіння на рік;

f – коефіцієнт одночасного горіння.

Величину q зазвичай приймають: для виробничих приміщень – $11 \dots 15 \text{ Вт}/\text{м}^2$, для побутових і службових приміщень – $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Залежно від тривалості освітлювального періоду значення τ приймають рівним: для двозмінної роботи – 2500 год, для тризмінної роботи – 4700 год.

Коефіцієнт, який враховує одночасність горіння ламп, приймають: для виробничих прогонів – 0,8; для побутових та службових приміщень – 0,7; для підвалів – 0,9.

Результати розрахунків витрат електроенергії зводять в таблиці 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Витрати електроенергії на роботу технологічного обладнання

Найменування споживача струму	Кількість споживачів	Потужність, кВт	Фонд робочого часу на рік, год	Коефіцієнт завантаженості	Коефіцієнт одночасності	Коефіцієнт використання потужності	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Електрична піч	1	5кВт	1000	0,5	0,6	0,7	1050
Кристал-206	1	15кВт	740	0,9	0,8	0,7	5595
Усього витрат, кВт·год							6645

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²	Поверхня щільність теплового потоку, Вт/м ²	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторія	54	11	2500	0,8	1190
Усього витрат, кВт·год					1190

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Техніко-економічне обґрунтування роботи

6.1.1 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 бори́ди. 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.

6.1.2 Мета і завдання

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

6.1.3 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.

6.1.4 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 людино-днях. Перелік робіт та їх трудомісткість зведено в таблицю 6.1.

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 6.2.

Таблиця 6.1 – Трудомісткість етапів НДР

Етапи НДР	Трудомісткість, людино-днів			
	Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник	Провідний інженер	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 6.2 – Фонд Заробітної плати

Посада	Трудомісткість, людино-днів	Місячний оклад, грн.	Денна заробітна плата, грн.	Сумарна заробітна плата за виконав- цями, грн.
Відповідальний виконавець теми, старший науковий співробітник	33	16020	755,66	24936,8
Інженер-дослідник	50	8757	413,07	20653,3
Лаборант	30	6245	294,58	8837,26
Провідний інженер	10	9718	458,4	4583,96
Разом				59011,32

6.1.4.1 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.

$$V_C = 57885,28 \cdot 0,22 = 12982,5 \text{ грн.}$$

6.1.4.2 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 6.3.

Таблиця 5.3 – 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	0,03	25000	750
Порошок SiC	ГОСТ 52381	кг	0,03	80	2,4
Невраховані Витрати		—	—	—	60
Разом					825,9

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

$$V_{м(заг)} = 825,9 * 1,1 = 908,49 \text{ грн.}$$

6.1.4.3 Витрати на спец обладнання 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 вакууму Selmi РЭМ 106, аналізатор елементарного складу EXPERT 3L, установка Rigaku Ultima IV, мікротвердомір MHV-1000.

Спеціальне устаткування для виконання ДР не закуповувалось.

6.1.4.4 Витрати на відрядження

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

6.1.4.5 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.

$$I_{\text{в}} = (59011,32 + 12982,49 + 908,49) \cdot 0,1 = 7290,23 \text{ грн.}$$

6.1.4.6 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:

$$H_{\text{в}} = (59011,32 + 12982,49 + 908,49 + 7290,23) \cdot 0,20 = 16038,5 \text{ грн.}$$

Розрахунок за всіма статтями витрат зведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Плановий кошторис витрат на виконання НДР

Назва статей	Умовне позначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ЗП	59011,32	62	За розрахунками
Єдиний соціальний внесок	В _с	12982,49	14	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
Вартість основних матеріалів	В _м	908,49	1	За розрахунками
Вартість спецобладнання	В _{об}	—	—	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	В _{со}	—	—	Не планується
Інші прямі витрати	І _в	7290,23	8	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
Накладні витрати	Н _в	16038,5	17	20 % від суми прямих витрат
Разом	В _{ндр}	95322,54	100	Сума всіх попередніх статей

6.1.5 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. 5.5.

Таблиця 6.5 – 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.

$$E_o^y = 500 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (6.1)$$

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.

$$E_o^y = 500 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 3 = 225000 \text{ грн}$$

Умовний ефект НДР:

$$E_{\text{НДР}}^y = E_o^y - E_n \cdot B_{\text{НДР}}, \quad (6.2)$$

де E_o^y – умовний оціночний ефект;

E_n – коефіцієнт ефективності;

$B_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на дослідницьку роботу.

$$E_{\text{НДР}}^y = 225000 - 0,2 \cdot 96231,03 = 205753,79 \text{ грн.}$$

Тоді коефіцієнт умовної економічної ефективності:

$$E = \frac{E_{\text{НДР}}^y}{B_{\text{НДР}}}, \quad (6.3)$$

де $E_{\text{НДР}}^y$ - умовний ефект НДР;

$B_{\text{НДР}}$ – сумарні затрати на НДР.

$$E = \frac{205753,79}{96,231,03} = 2,14$$

Коефіцієнт умовної ефективності нашої роботи дорівнює 2,14, що свідчить про доцільність її виконання.

7. РОЗРОБКА СТАРТАПУ ПРОЕКТУ

7.1 Мета та завдання розробки стартап-проекту

Метою даного розділу є освоєння інформації та надбання навичок по втіленню ідеї чи проекту в життя в умовах нинішньої ринкової економіки та конкуренції, відносно до виконаної роботи, яка представлена в попередніх пунктах.

Завдання розробки стартап-проекту полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації отримання матеріалів подібних до твердих сплавів методом спрямованої кристалізації, іскро-плазмового спікання та плакування порошків для додавання пластичної зв'язки, для подальшого спікання.

7.2 Опис продукту

В ході аналізу спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів на основі карбіду бору виявлено, що наявні технології можна використовувати вузько направлених але перспективних галузях.

Опишемо спочатку ідею про створення такого стартапу (табл.7.1, табл.7.2).

Таблиця 7.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Отримання спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів на основі карбіду бору	1) Виготовлення матеріалів для обробки інструментів 2) Виготовлення зносостійких матеріалів	1) Дешевизна процесу; 2) Екологічна чистота процесу; 3) Покращені властивості кераміки

Таблиця 7.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту:

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Монокристали				
		Мій проект	СВІТЛОВОДСЬКИЙ КОМБІНАТ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ І ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ			
1	Ціна	Низька	Висока	-	-	+
2	Анізотропія властивостей	Так	Так	-	+	-

Відповідні сильні сторони нашого проекту мають стати підґрунтям для формування конкурентспроможності та економічної моделі майбутнього бізнесу.

7.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Таблиця 7.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Отримання спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів на основі карбиду бору	Безтигельна зонна плавка	Технологія наявна	Технологія доступна

7.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Потрібен первинний аналіз ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження в роботу, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту (табл.7.4, 7.5).

Таблиця 7.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж за 2017 рік	10 млрд.
3	Динаміка ринку(якісна оцінка)	Зростаючий
4	Наявність обмежень для входу	Вузька направленість
5	Специфічні вимоги для стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	16%

Таблиця 7.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Застосування зносостійких інструментів для обробки матеріалів	Виробництва, заводи	- Новітня техніка та технології, які застосовуються; - Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; - Гарантія якості; - Надійність, висока зносостійкість	●якість; ●допустима собівартість; ●надання чітких гарантій; ●швидкість виконання

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 7.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідноконструкторські розробки (НДДКР)).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань.
3	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва в результаті використання застарілого обладнання

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод плавки дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати порівняно якісну та дешеву для клієнта продукцію.

Таблиця 7.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а, відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість завербування висококваліфікованих спеціалістів. Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод плавки дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати порівняно якісну та дешеву для клієнта продукцію.

Таблиця 7.8 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
• молодий і кваліфікований колектив; • дуже широкий асортимент послуг • послуга дешевша наявних на ринку аналогів	• брак власного устаткування; • додаткові транспортні витрати; • наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.

Таблиця 7.9 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Можливості та загрози)

Можливості (O):	Загрози (T):
• посилення позиції на ринку; • вихід на нові сегменти ринку; • збільшення різноманітності у взаємозалежних продуктах; • підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу.	• зростаюче конкурентний тиск; • швидке копіювання конкурентами; • поява нових конкурентів з товарами-замінниками; • захоплені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів

Також порівняємо товари конкурентів з товарами, які будуть вироблятися в рамках проекту отримання спрямовано закристалізованих евтектичних сплавів на основі карбіду бору (табл.7.10).

Таблиця 7.10 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту з:

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів конкурентів у порівнянні з проектом з вирощування монокристалів вольфраму						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність ефективної технології	10			+				
2	Низькі потенційні витрати	10			+				

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтований оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 7.11).

Таблиця 7.11 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту:

№ п/п	Альтернатива (орієнтований комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Період реалізації
1	Підписання довгострокових контрактів з постачальниками	50%	6 міс.
2	Підписання довгострокових контрактів з клієнтами	50%	1 рік

7.5 розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва (засобів і предметів праці); по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- а) проникнення на ринок;
- б) розвиток ринку;
- в) розробка товару;

г) диверсифікація

Таблиця 7.12 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Металургійні підприємства	Висока	6 млрд. долл. США	Невисока	Не важкий
3	Авіабудування	Середня	13 млрд. долл. США	Невисока	Вхід важкий
4	Ракетобудування та космічна промисловість	Низька	1-2 млрд. долл. США	Висока	Вхід важкий
Як цільові групи обрано : металургійні підприємства					

Відповідно, так як ми обрали одну групу споживачів – металургійні підприємства – можемо стверджувати, що компанія буде розвиватися в рамках стратегії концентрованого маркетингу.

Таблиця 7.13 – Визначення базової стратегії розвитку:

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентноспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Мінімізація витрат підприємства на отримання монокристалів вольфраму на базі існуючого виробництва	Концентрованого маркетингу	Наявність технологій. Низькі витрати. Можливість запуску локальних пілотних проектів	Стратегія лідерства по витратах

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 7.14)

Таблиця 7.14 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурентів, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Даний проект не є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції, компанія буде на вигідних умовах забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

Відповідно, в рамках розробки ринкової стратегії проекту сформулювауй основні вимоги до ринкової стратегії проекту, а також асоціативно сформулювауй ключові позиції проекту та передумови його конкурентоспроможності на ринку .

Таблиця 7.15 - Визначення стратегії позиціонування:

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможності позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Нижча ціна. Дотримання норм щодо заданим	Стратегія лідерства по витратам	Доступ до дешевої робочої сили та ресурсів (е/е, вода), необхідних для вирощування монокристалів. Наявність технологічних переваг	Технологічність Ціна Якість

	показникам якості		(технологія вирощення профільованих монокристалів)	
--	----------------------	--	--	--

7.6 Розробка маркетингової стратегії стартап проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 7.16 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару. Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

Таблиця 7.16 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Необхідність ключових виробників металопродукції в мінімізації затрат на сировину	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Новий сплав, що призведе до більшої міцності, зносостійкості; швидкість обробки.

Наступним кроком в визначення цінових меж, яким необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбудеться під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 7.17). аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 7.18 – Визначення меж встановлення ціни (за тону)

№ п/п	Рівень ціни на товари замітники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межа встановлення ціни на товар
1	10-15 тис. долл.	20-30 тис. долл.	6 млн..долл	9-12 тис. долл.

7.7 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Ось чому розробку збутової політики кладуть в основу програми аналізу як щодо кожного продукту, так і по виробничому відділенню загалом. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й внести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах.

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість

послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами.

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів.

7.8 Висновок

Розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей, а також деталей з вищими механічними та термо-електричними характеристиками. Дані сплави дозволять значно підвищити міцність та зносостійкість деталей. Також вихід сплавів, які здатні працювати при високих температурах та в агресивних середовищах відразу приверне увагу користувачів.

При аналізі ринку виявлено, що бар'єром для успішного розвитку стартап проекту може стати продукція-замінники від конкурентів, а також бренд, який вони створили. Також використання конкурентами новітніх технологій може призвести до зменшення кількості користувачів. В загальному, стартап-проект має переваги над конкурентами, тому має місце до подальшої імплементації.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи були отримані композити системи B_4C-TaB_2-SiC за допомогою методу зонної плавки.

Досліджено мікроструктуру трифазних композитів, які представляють собою рівномірно розповсюджену трифазну евтектику B_4C-TaB_2-SiC .

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

Структура евтектики складається з матриці карбіду бору в якій рівномірно розподілені фази карбіду кремнію на яких знаходиться фаза дибориду танталу.

Досліджено мікротвердсть за Віккерсом (33-34 ГПа) та тріщиностійкість ($3.9 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$).

Встановлено різницю мікромеханічних властивостей в повздовжньому та поперечному перерізі, що пов'язано з наявністю спрямованої структури.

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 $3.8 \text{ MPa/m}^{1/2}$). 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.

ПЕРЕЛІК 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. Theodore W. The Elements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe. New York: Black Dog & Leventhal Publishers, Inc., 2009. 240 p. ISBN-13: 978-1-57912-895-1
3. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. М. Атомиздат, 1975. 376 с.
4. Карбид бора / П.С. Кислый, М.А. Кузенкова, Н.И. Боднарук, Б.Л. Грабчук. – Киев: Наукова думка, 1988. – 216 с.
5. Matkovich V.I. Boron and Refractory Borides / V.I. Matkovich. – New York: Springer, 1977. – 656 p.
6. Domnich V., Reynaud S., Haber R.A., Chhowalla M. Boron carbide: Structure, properties, and stability under stress. Journal of the American Ceramic Society. 2011. Vol.94. p. 3605-3628. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2011.04865.x>
7. Кислый П.С., Кузенкова М.А., Боднарук Н.И., Грабчук Б.Л. Карбид бора. Киев: Наукова думка, 1988. 216 с.
8. Thevenot F. Boron Carbide – A Comprehensive Review / F. Thevenot // Journal of the European Ceramic Society. – 1990. – Vol. 6. – P. 205-225.
9. 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.
10. Perry Dale L. Handbook of inorganic compounds / L. Perry Dale // Boca Raton: Taylor & Francis, - 2011. – 553p.
11. Самсонов Г.В. Тугоплавкие соединения / Самсонов Г.В., Веницкий И.М.. – Москва: Металлургия, 1976. – 560 с.

12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Muranaka T., Kikuchi Y., Yoshizawa T., Shirakawa N., Akimitsu J. Superconductivity in carrier-doped silicon carbide. *Sci. Technol. Adv. Mater.* 2008. 9. P. 1-8. DOI: 10.1088/1468-6996/9/4/044204
16. Wang H., Le S.-H., Feng L. HfB₂-SiC composite prepared by reactive spark plasma. *Ceram. Int.* 2014. Vol. 40. P. 11009–11013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.03.107>
17. Harris Gary Lynn. Properties of silicon carbide / Gary Lynn Harris // *Materials science Research Center of Excellence Howard University*. – 1995. – No. 13. – P. 19, 170-180. – ISBN 0852968701.
18. Карбид кремния: технология, свойства, применение / Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С. и другие. – Харьков: «ИСМА», 2010. – 532 с.
19. 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.
20. Joseph R. O'Connor Silicon Carbide, A High Temperature Semiconductor/ Joseph R. O'Connor, J. Smiltens // Pergamon, New York – 1960 – P. 136 -145.
21. 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

22. Itaru Gunjishima Characterization of Directionally Solidified B_4C -SiC Composites Prepared by a Floating Zone Method / Gunjishima Itaru // Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan -2002. – p. 7.
23. Microstructure and properties of B_4C -SiC composites prepared by polycarbosilane-coating/ B_4C powder route / Xianwu Du, Zhixiao Zhang, Weimin Wang [etc.] // Journal of the European Ceramic Society. – 2014. – Vol.34. – P. 1123–1129.
24. A dense and tough (B_4C - TiB_2)- B_4C ‘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.
25. Xiaohong Zhang. Synthesis, densification, and mechanical properties of TaB_2 / Xiaohong Zhang, Gregory E. Hilmas, Williamas G. Fahrenholtz. // Materials Letters. – 2008. – Vol.62. – P. 4251–4253.
26. Demirskyi D. Consolidation of B_4C - TaB_2 Eutectic Composites by Spark Plasma Sintering / D. Demirskyi, Y. Sakka, O. Vasylykiv // J. Asian Ceram. Soc. – 2015. – Vol. 3. – P. 369-72.
27. Thevenot, F. Boron carbide—a comprehensive review / F. Thevenot // J. Eur. Ceram. – 1990. - Vol. 6, - P. 205–225.
28. Орданьян С.С. О строении систем SiC- B_4C - MeB_2 и перспективах создания композиционных керамических материалов на их основе / С.С. Орданьян. // Неорганические материалы. – 1993. – №5. – С. 15–17.
29. Орданьян С. С. Закономерности взаимодействия в системах SiC— $MeIV$ - VIB_2 / С. С. Орданьян. // 66. – 1993. – №66. – С. 2439–2444.
30. Sintering and densification mechanisms of ultra-high temperature ceramics/ D. Sciti and others // Materials for Extreme Environment Applications. – 2014. - P. 112–143.
31. Llorca J. Directionally Solidified Eutectic Ceramic Oxides / J. Llorca, V. Orera // Prog. Mater Sci. – 2006. – Vol. 51, Issue 6. – P. 711-809.
32. Microstructure and Hardness Scaling in Laser-Processed B_4C - TiB_2 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.

33. 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.
34. 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.
35. 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
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. 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.
40. Эллиот Р. Управление эвтектическим затвердеванием: Пер. с англ. / Под ред. Л. С. Швиндлермана // Р. Эллиот – М. : Металлургия, 1987. – 352 с.
41. 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.
42. Горелик С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. – М. : Изд-во «Металлургия», 1970. – 366 с.

43. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
44. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
45. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (діє в Україні по 01.01.2022 р.)
46. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
47. Местные вытяжные устройства к оборудованию для сварки и резки металлов: Методические указания по проектированию. - Л.: ВНИИОТ. – 1980. – 52 с.
48. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.