

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра високотемпературних матеріалів та
порошкової металургії

**БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА
НА ТЕМУ:**

**«ОТРИМАННЯ, СТРУКТУРА І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
УЛЬТРА-ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ КЕРАМІКИ»**

Виконав: Студент 4 -го курсу, групи ФК – 22

Ведель Дмитро Вікторович

Керівник роботи: проф. Степанчук А.М.

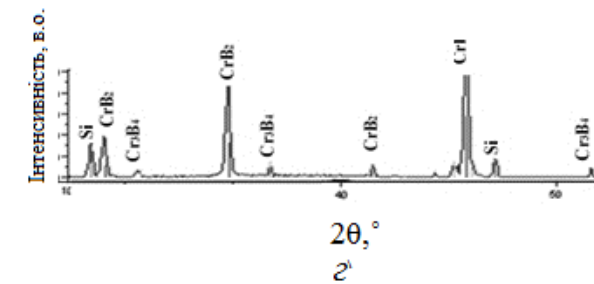
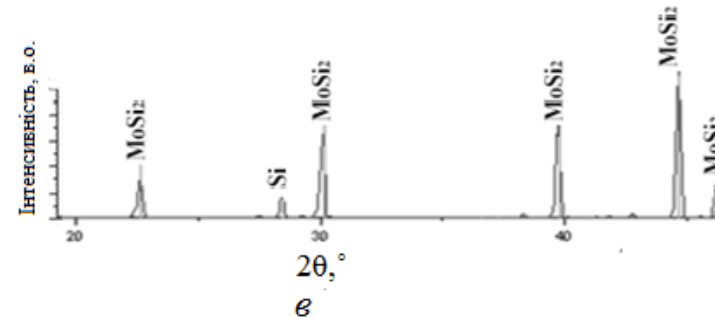
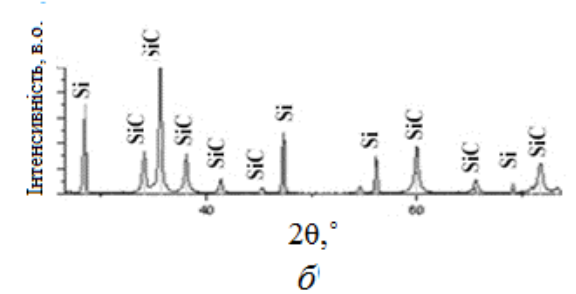
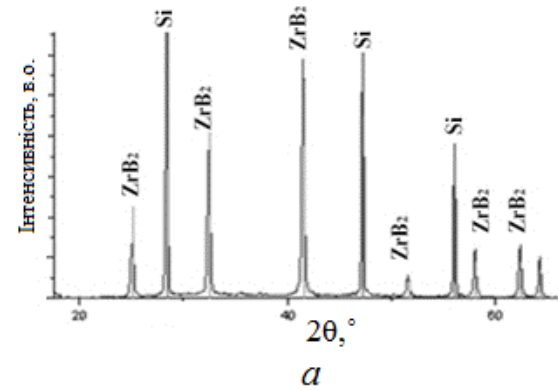
Консультант: к.т.н. Нешпор І. П.

Мета роботи

- Оптимізація складу та структурного стану кераміки на основі бориду цирконію з рівнем властивостей, який допускає її використання в вузлах і механізмах літальних гіперзвукових апаратів і в перспективних високотемпературних ГТД.

Характеристика вихідних компонентів

Назва матеріалу	Середній розмір частинок, мкм	C,%	O,%	N,%	Fe,%
ZrB ₂	1,0	0,49	1,0	0,3	-
CrB ₂	7,9	0,07	0,6	-	-
SiC	0,5	-	1,5	-	-
MoSi ₂	2,0	0,04	0,5	-	-
WSi ₂	5,9	-	0,5	-	0,2
W ₂ B ₅	6,8	0,1	0,4	-	0,1
ZrSi ₂	6,3	-	0,6	-	0,1



а – диборид цирконію; б – карбід кремнію; в – дисиліцид молібдену;
г – борид хрому

Рентгенофазовий аналіз вихідних матеріалів на кремнієвому еталоні

Умови отримання

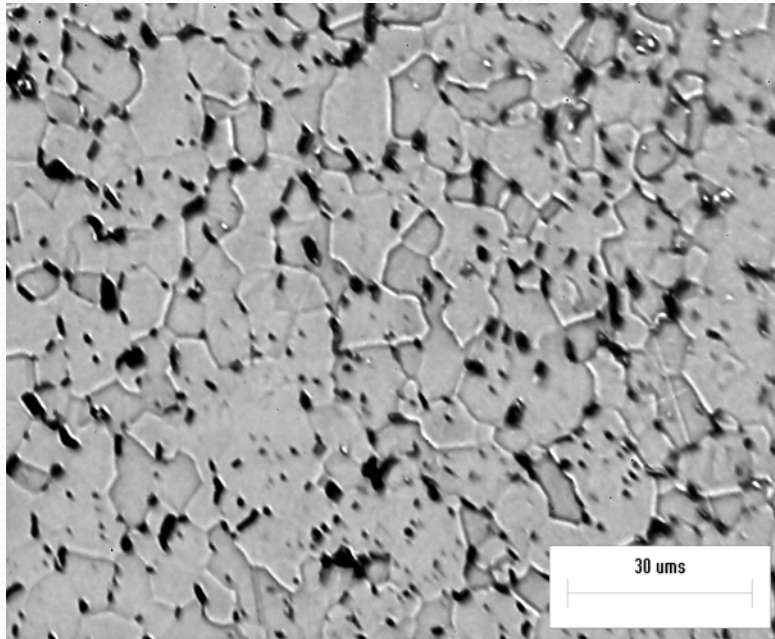
Вакуумне гаряче пресування

Матеріал	Умови отримання °C, хв, МПа	Відносна щільність, %
ZrB ₂ +15 об.%MoSi ₂	2075,9,48	86,8
ZrB ₂ +15об.%SiC	2075,15,48	99,9
ZrB ₂	2350,30,48	93,7
ZrB ₂ +4об.%W ₂ B ₅ +2об.%ZSi ₂	2075,80,48	99
ZrB ₂ +2%WSi ₂	2075,20,48	99
ZrB ₂ +2об.%WSi ₂ +2об.%W ₂ B ₅	2075,70,48	99

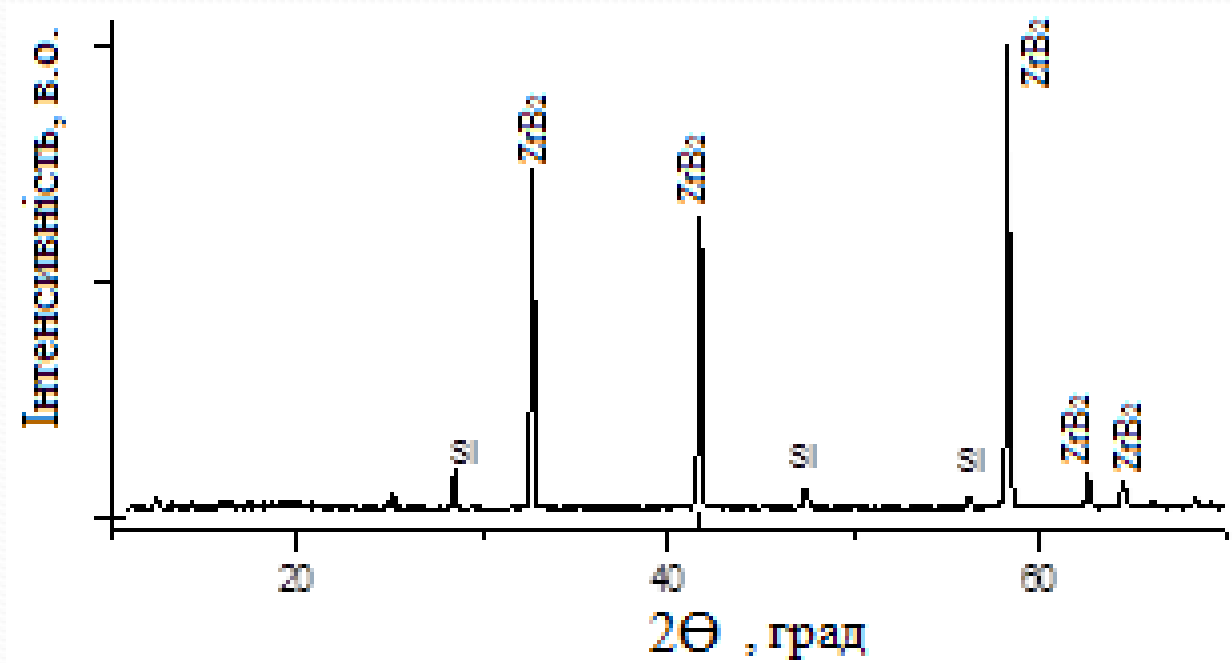
Гаряче пресування в атмосфері CO/CO₂

Матеріал	Умови отримання °C, хв, МПа	Відносна щільність, %
ZrB ₂ +15об.%MoSi ₂	1850,10,48	89,3
ZrB ₂ +15об.%SiC	1850,15,48	96,0
ZrB ₂ +20об.%CrB ₂	1850,10,48	95,8
ZrB ₂ +2об.%W ₂ B ₅	1850,45,48	94
ZrB ₂ +4об.%W ₂ B ₅	1850,25,48	96
ZrB ₂ +2об.%WSi ₂	1850,20,48	95

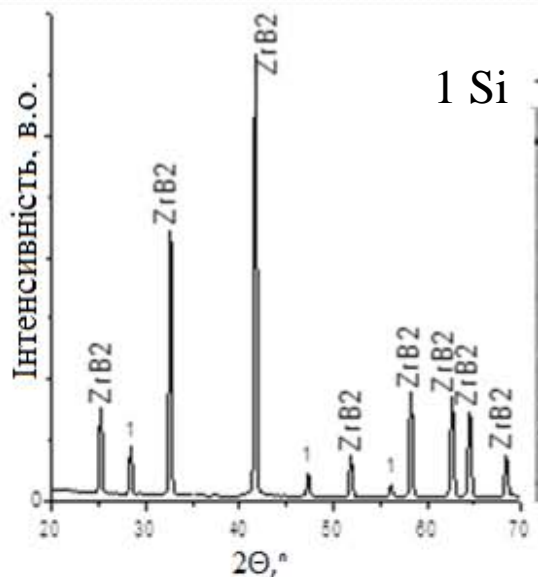
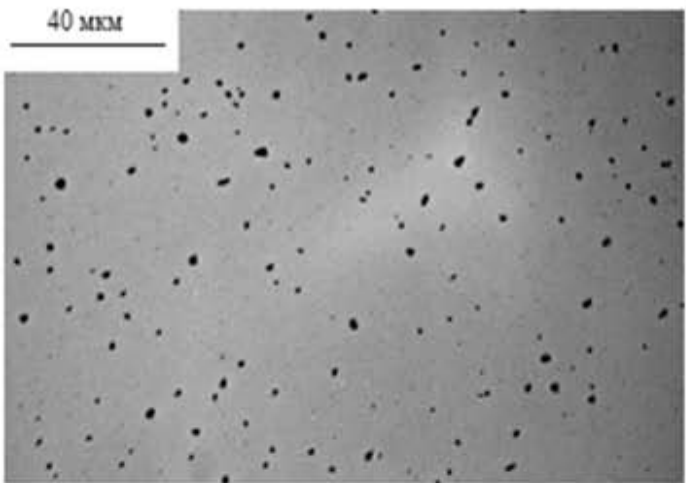
Структура та фазовий склад чистого дибориду цирконію



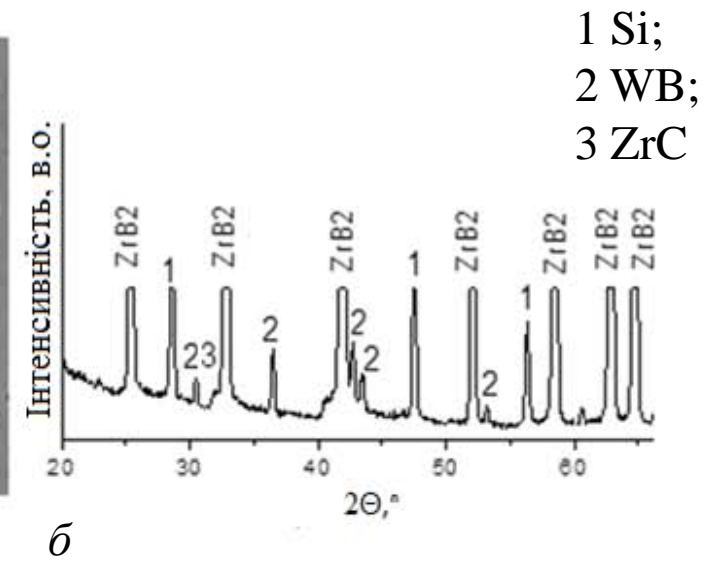
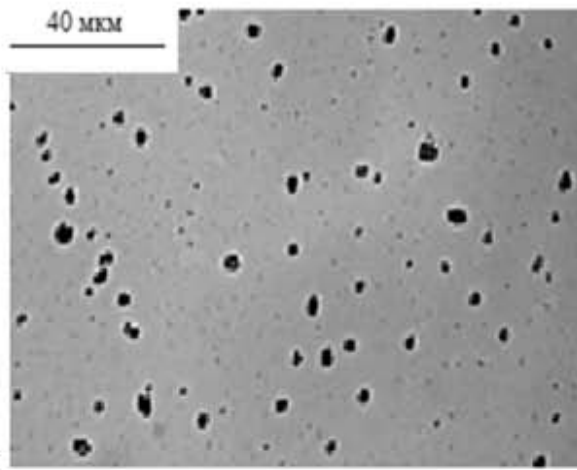
Структура дибориду цирконію



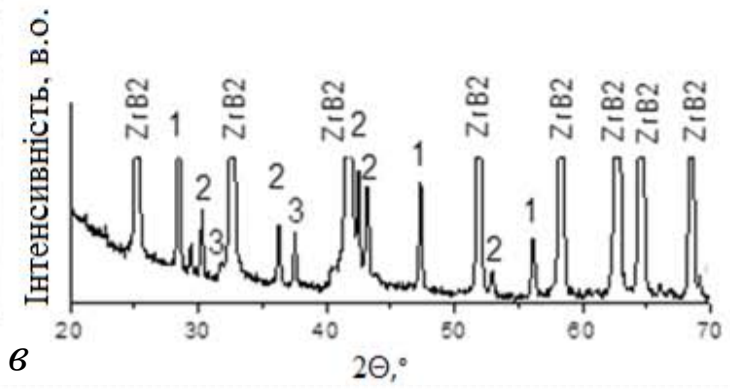
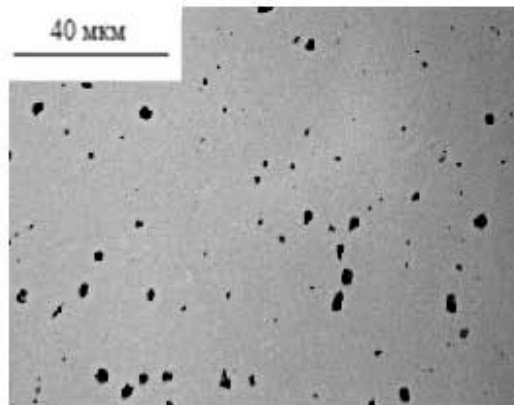
Рентгенограма дибориду цирконію на кремнієвому еталоні



1 Si

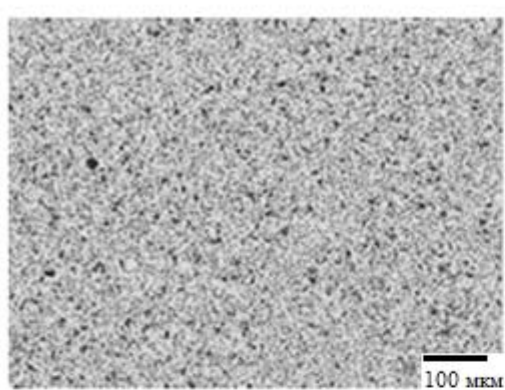


1 Si;
2 WB;
3 ZrC

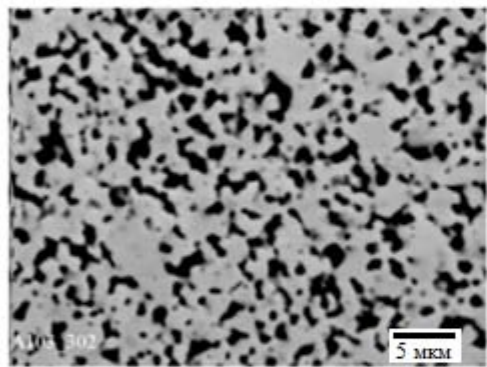
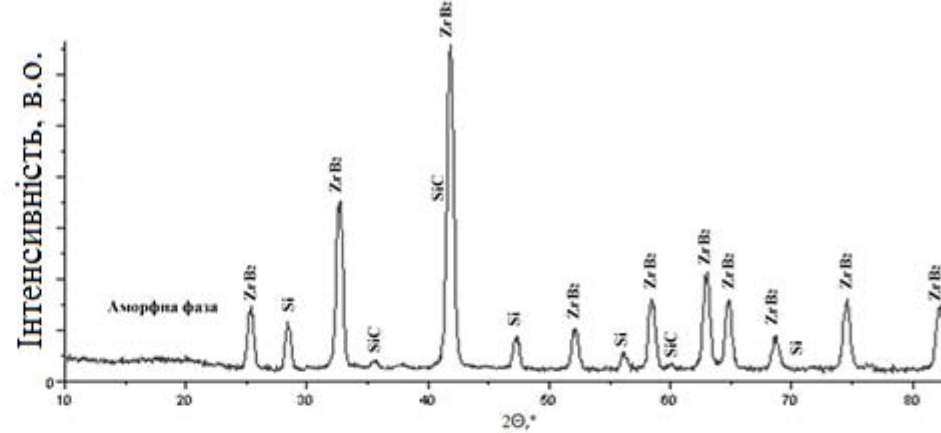


1 Si;
2 WB;
3 ZrC.

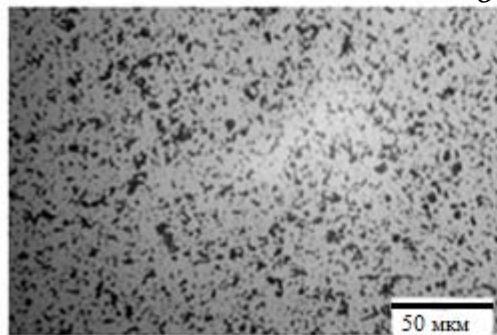
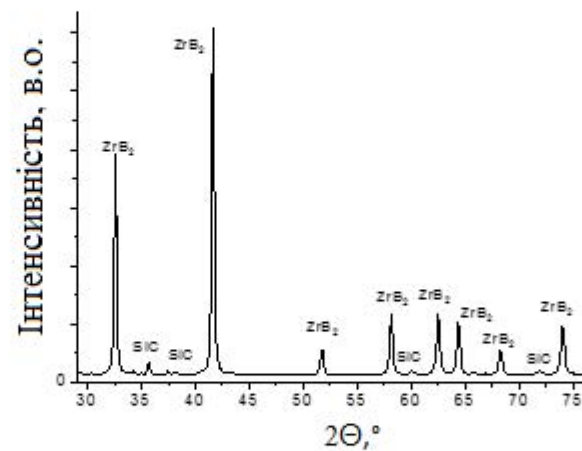
Структура та фазовий склад диборид цирконію з добавками, які активують процес спікання
a - ZrB_2 – 2 об. % WSi_2 ; *б* – ZrB_2 – 2 об% W_2B_5 ; *в* – ZrB_2 – 4 об.% W_2B_5



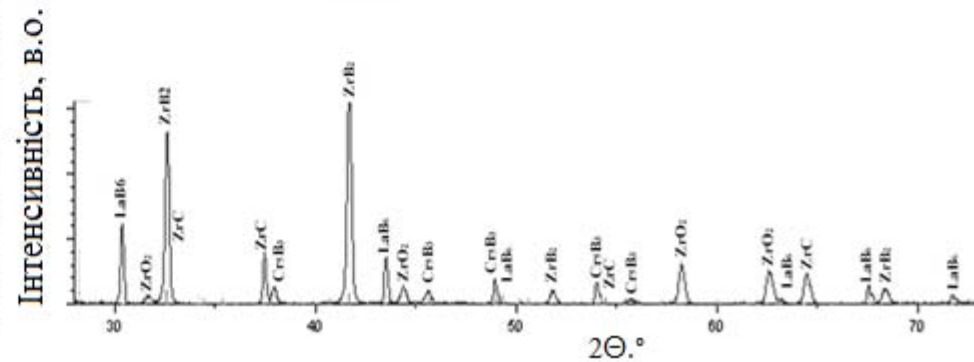
a



б



в



Структура та фазовий склад кераміки на основі дибориду цирконію з добавками, які підвищують службові характеристики

a – ZrB₂-15 об. % MoSi₂; *б*- ZrB₂-15 об. % SiC; *в* – ZrB₂-20 % об. CrB₂

Оцінка механічних характеристик

При високому навантаженні опір впровадженню (макротвердсть) в крихких матеріалах визначається, головним чином, процесами їх руйнування, в процесі експерименту індентуванням можна виміряти такі характеристики, як:

Міцність на одноосний стиск (Y);

Міцність на одноосний розтяг σ_f ;

Зернограничну міцність S ;

Тріщиностійкість;

Мікроструктурна міцність ($S_{ms}=Y\sigma_f/(Y-\sigma_f)$) – це характеристика міцності крихких матеріалів, в мікрооб'ємі, і визначається, наприклад для кераміки, зернограничною міцністю.

Значення контактної міцності при стисненні визначаються значеннями напруг у фронті руйнування під індентором з утворенням напів-сферичного ядра фрагментованого матеріалу.

Контактна міцність при розтягуванні визначається значенням розтягуючих напруг у верхній частині радіальних тріщин, що утворені відбитками.

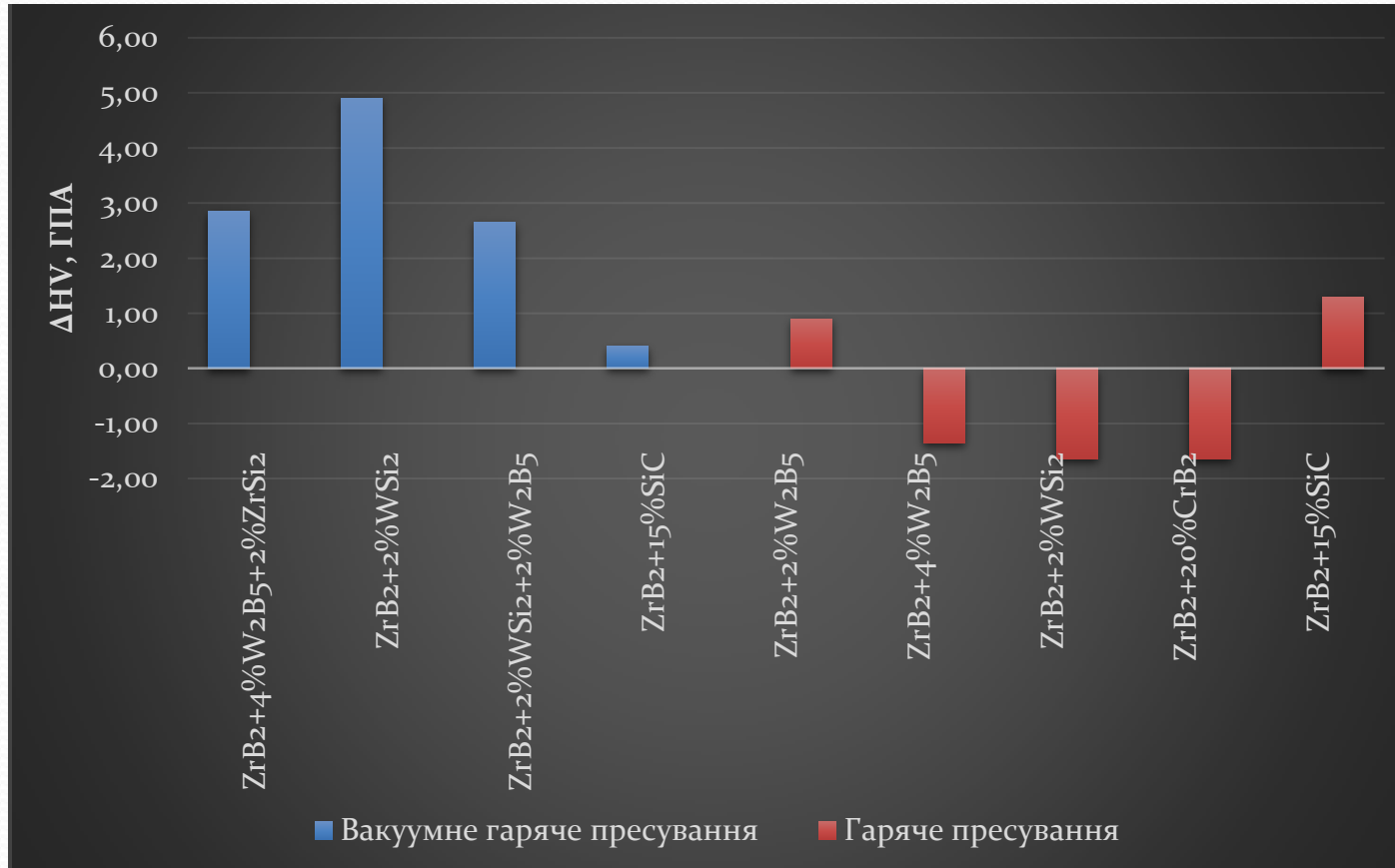
Тріщиностійкість вимірюється методом індентування (IF) і визначається з використанням контактної міцності при розтягуванні (σ_f). Методика практично зводиться до рівняння Лоуна з визначенням коефіцієнту β . Метод дозволяє отримати значення тріщиностійкості, що не залежать від навантаження на індентор, значення близькі до значень, отриманих методом SENVB, але нижчі, ніж за допомогою інших методів IF.

Навантаження на індентор при випробуваннях було 2 і 200 Н. Похибка при вимірюванні механічних властивостей складала 5-10%.

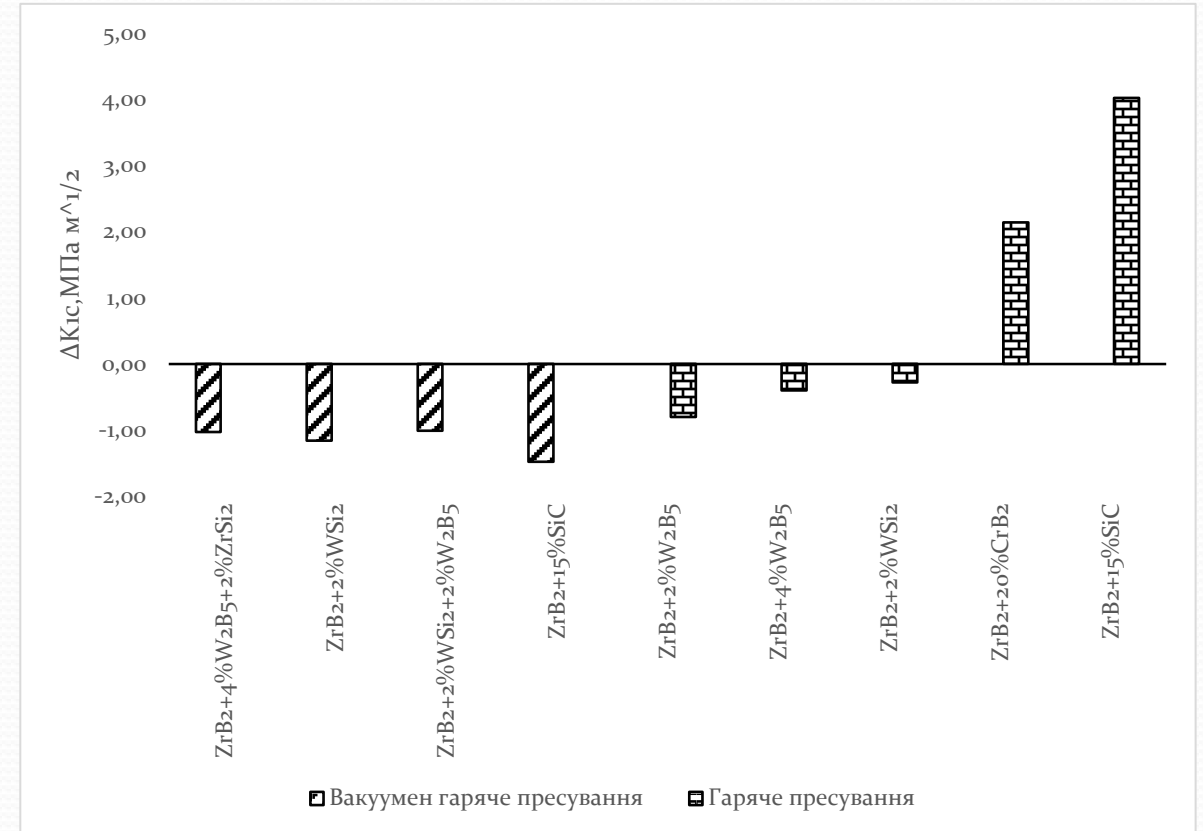
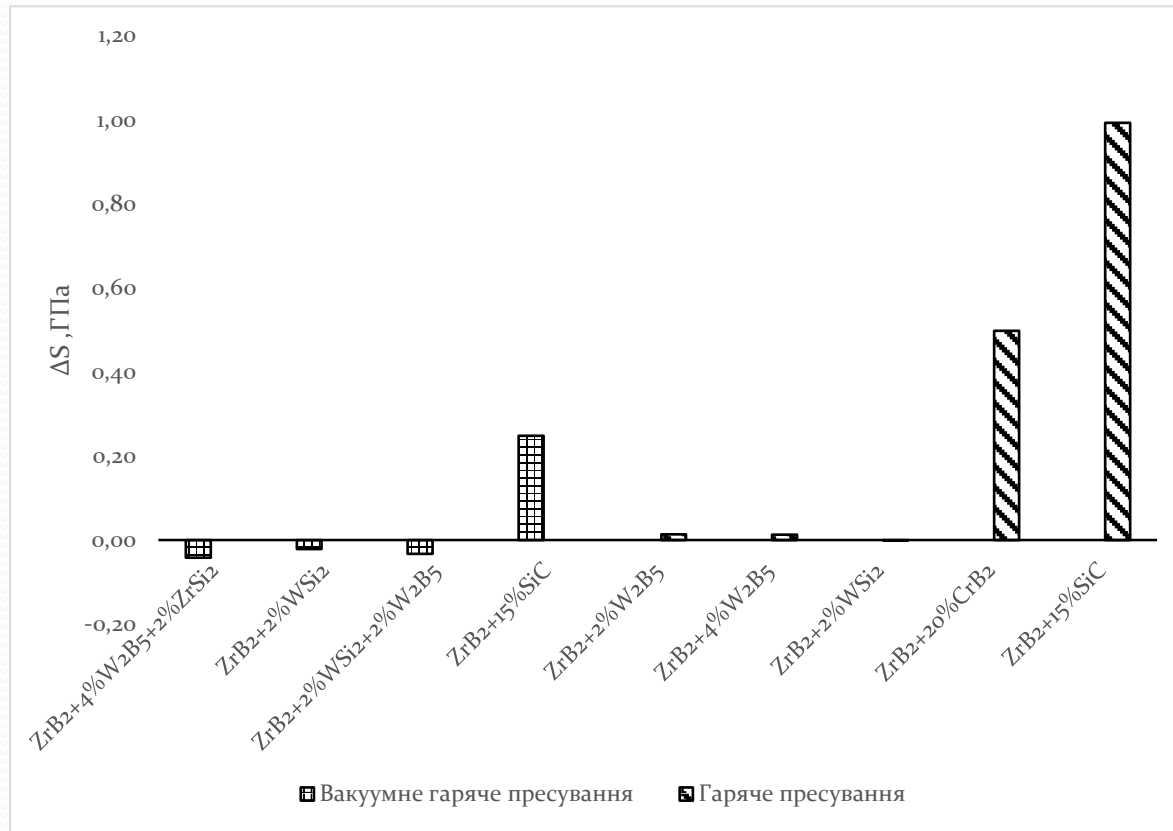
Механічні характеристики кераміки на основі дибориду цирконію

Матеріал	Метод отримання	Мікротвердість, ГПа	Тріщиностійкість, МПа м ^{1/2}	Межа міцності на одноосний розтяг, МПа	Межа міцності на одноосний стиск, ГПа	Зерногранична міцність, МПа
ZrB ₂	ВГП	12,4±0,2	3,6±0,15	196±9	1,67±0,01	222±2
ZrB ₂ +4 об.%W ₂ B ₅ +2 об. %ZrSi ₂	ВГП	15,25±0,3	2,57±0,2	168±12	2,4±0,02	180±14
ZrB ₂ +2 об.% WSi ₂	ВГП	17,3±0,4	2,44±0,3	186±15	2,92±0,03	201±19
ZrB ₂ +2 об.%WSi ₂ +2 об. %W ₂ B ₅	ВГП	15,05±0,5	2,59±0,4	175±18	2,35±0,04	189±20
ZrB ₂ +15 об.% MoSi ₂	ВГП	14,2±0,3	3,4±0,3	362±13	2,18±0,02	434±16
ZrB ₂ +15 об.% SiC	ВГП	12,8±0,4	2,12±0,3	370±18	1,83±0,03	470±20
ZrB ₂ +2 об.%W ₂ B ₅	ГП	13,3±0,2	2,8±0,2	210±17	1,9±0,03	236±19
ZrB ₂ +4 об.%W ₂ B ₅	ГП	11,05±0,1	3,2±0,1	200±19	1,33±0,02	235±21
ZrB ₂ +2 об.% WSi ₂	ГП	10,76±0,4	3,32±0,2	158±11	1,25±0,03	221±13
ZrB ₂ +20 об.%CrB ₂	ГП	10,76±0,2	5,74±0,2	460±32	1,24±0,04	720±30
ZrB ₂ +15 об.%MoSi ₂	ГП	13,2±0,1	3,6±0,1	368±15	1,95±0,02	454±20
ZrB ₂ +15 об.%SiC	ГП	13,7±0,2	7,62±0,1	727±50	1,81±0,02	1215±101

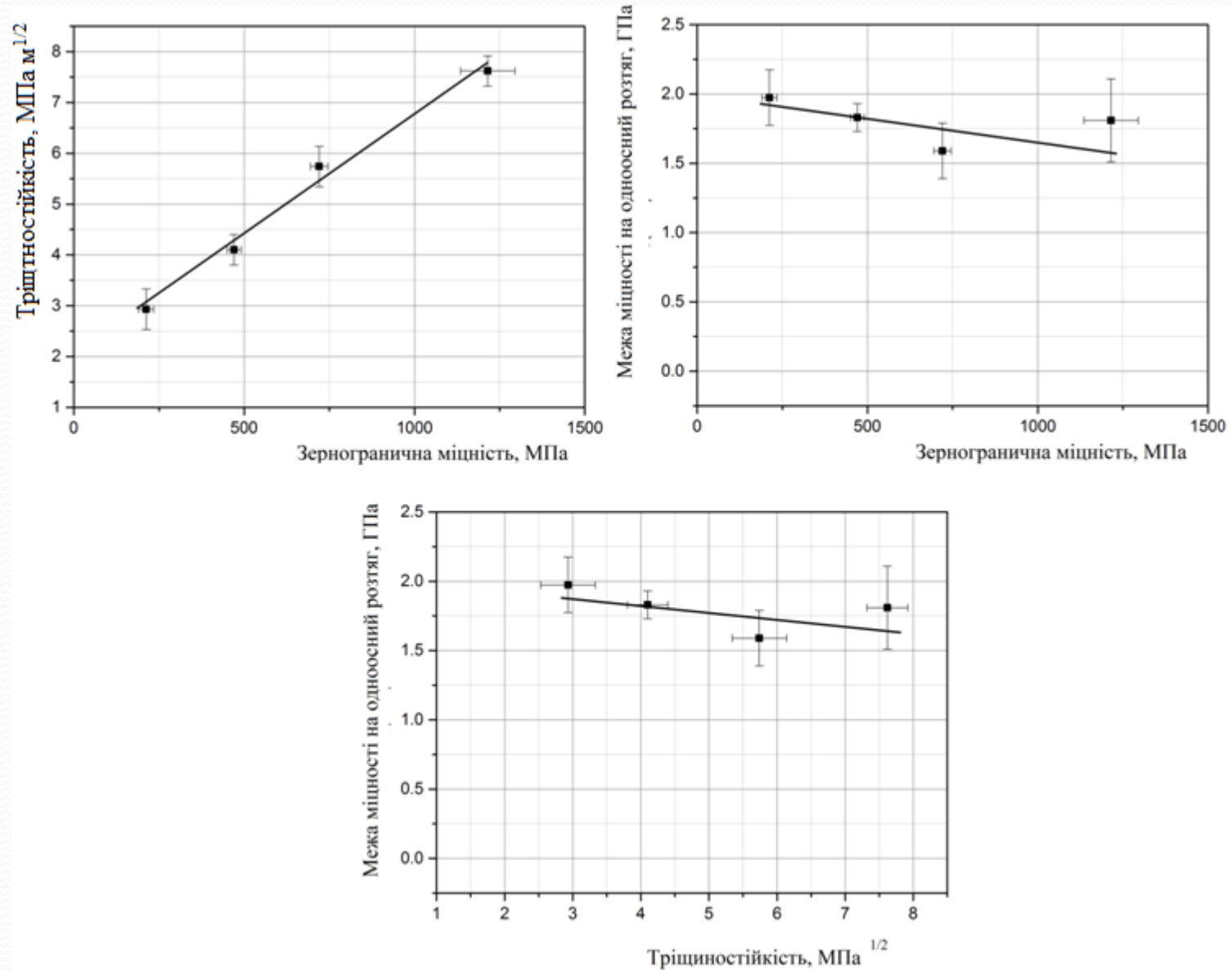
Порівняння механічних характеристик чистого дибориду цирконію, між композиційними матеріалами на його основі



Порівняння механічних характеристик чистого дибориду цирконію, між композиційними матеріалами на його основі



Взаємозв'язок між механічними характеристиками кераміки



ВИСНОВКИ

1. Процес усадки дибориду цирконію, без добавок супроводжується структурним перегрупуванням матеріалу, який спікається в умовах рекристалізації, з утворенням азимутальної структури. В той же час, ці процеси не розвиваються в кераміці з добавками, проте спікання відбувається в умовах інтенсивної зернограничної взаємодії;
2. Формування міцних зернограничних станів, супроводжується збільшенням тріщиностійкості;
3. В умовах контактного навантаження міцність при стиску визначається напруженнями подрібнення в ядрі руйнування, тобто деформацією і роботою на ущільнення фрагментів ядра. При високій зернограничній міцності кераміки, ці процеси практично виключені, і проникнення індентора відбувається в умовах утворення тільки радіальних та латеральних тріщин, із низьким загальним опором проникненню;
4. Середовище отримання, і особливо технологія безпосередньо впливає на процес зернограничної взаємодії і, тим самим величину зернограничної міцності, а відповідно, і інші характеристики кераміки;
5. Найбільший рівень твердості мають композити, отримані ВГП, проте найбільшу зернограничну міцність мають композити з добавками SiC, CrB₂, отримані ГП без захисної атмосфери.



ПУБЛІКАЦІЇ ЗА РОБОТОЮ

- 1. *А. М. Степанчук, О. С. Богатов, Д. В. Ведель*, Про механізм дисперсного зміцнення міді при її легуванні чавунами //Металознавство та термообробка. – 2016.– №1.– С.44-49
- 2. *Ведель Д.В., Степанчук А.М.* Термодинамічні засади створення конструкційної кераміки на основі сполук деяких перехідних металів //Нові матеріали і технології в машинобудуванні: матеріали науково-технічної конференції. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016, 167 с. (С. 27-28)



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

