

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

Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона

Кафедра Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

«На правах рукопису»
УДК 669.017.165.2

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ / *Ю.І. Богомол* /
« ____ » _____ 20 ____ р.

Магістерська
Дисертація на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 132 Матеріалознавство
на тему: «Формування фазового складу та структури сплаву ВК8 з підвищеними
механічними характеристиками»

Виконав (-ла):

студент (-ка) II курсу, групи ФН-21мн

Табачний Дмитро Олександрович _____

Керівник:

професор д.т.н.

Лобода П. І. _____

Консультант з розділу охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

зав. каф., д. т. н., професор

Арламов О. Ю _____

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ініціали _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент (- ка) _____

Спеціалізація Матеріалознавство
(назва)

«_____» _____ 20____
p.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Табачний Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Формування фазового складу та структури сплаву ВК8 з підвищеними механічними характеристиками», керівник роботи Лобода Петро Іванович , професор, д.т.н., затверджена наказом по університету від 25.03, 2024р. №1451-с
2. Строк подання дисертації 12.06.2024 р.
3. Об'єкт дослідження сплав ВК8 (вольфрам-карбідний сплав), який використовується у виготовленні інструментів для обробки матеріалів
4. Предмет дослідження формування фазового складу та структури сплаву ВК8 з метою підвищення його механічних характеристик.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити Провести огляд літератури щодо властивостей та методів покращення сплаву ВК8. Розробити технологію синтезу сплаву ВК8 з підвищеними механічними характеристиками. Виконати аналіз фазового складу сплаву за допомогою

рентгеноструктурного аналізу. Провести мікроструктурний аналіз зразків сплаву ВК8. Виміряти механічні характеристики зразків сплаву та порівняти їх з вихідними показниками.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
Характеристики дослідження , Актуальність дослідження, Технологічна схема, Аналіз структури сплаву ВК8, Розділ охорони праці, Висновки.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	зав. каф., д. т. н., професор Арламов О. Ю.	27.05.2024	03.06.2024

7. Дата видачі завдання 01.09.2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний та патентний пошук	20.01.2024 – 31.01.2024	
2	Змішування порошків та інжекційне формування сплавів ВК8	01.02.2024 – 20.02.2024	
3	Спикання в різних середовищах	21.02.2024 – 01.03.2024	
4	Мікроструктурний та рентгенофазний аналіз	02.03.2024 – 10.04.2024	
5	Оформлення розділу охорони праці	11.04.2024 – 30.04.2024	
6	Підготовка презентації	01.05.2024 – 10.06.2024	

Студент _____

Д.О. Табачний

Керівник роботи _____

П.І. Лобода

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: с., рисунок. 49, табл. 4, джерела 23

ІНЖЕКЦІЙНЕ ЛИТТЯ ПОРОШКІВ, СПІКАННЯ, СПЛАВ ВК8, СТРУКТУРА СПЛАВУ, МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ФОРМУВАННЯ ФАЗОВОГО СКЛАДУ .

Об'єкт дослідження — сплав ВК8 (вольфрам-карбідний сплав), який використовується у виготовленні інструментів для обробки матеріалів.

Метою роботи є дослідження та розробка методів формування фазового складу та структури вольфрам-карбідного сплаву ВК8 з метою покращення його механічних характеристик, таких як твердість, міцність та зносостійкість. Це включає вивчення впливу різних параметрів виробничого процесу на мікроструктуру сплаву, визначення оптимальних умов спікання, та обробки, а також розробку рекомендацій щодо удосконалення технологій виготовлення інструментів з цього сплаву для підвищення їх ефективності та довговічності.

Методи дослідження та апаратура: отримання порошків потрібних для формування сплаву ВК8, інжекційне формування та подальше спікання у вакуумній печі та у атмосфері азоту та водню. Використовуючи високоінформативні методи фізичного матеріалознавства, включаючи електронну мікроскопію, дослідили мікро- та макроструктуру отриманих зразків. Розглянули ключові характеристики, на які може вплинути неоднорідність зразків.

ABSTRACT

The work contains: pages, figures 49, tables 4, sources 23.

POWDER INJECTION MOLDING, SINTERING, VK8 ALLOYS, ALLOY STRUCTURE, MECHANICAL CHARACTERISTICS, PHASE COMPOSITION FORMATION.

Object of Study: The object of the study is the WC8 alloy (tungsten carbide alloy), which is used in the manufacturing of material processing tools.

Objective: The objective of this work is to investigate and develop methods for forming the phase composition and structure of the WC8 tungsten carbide alloy to improve its mechanical properties, such as hardness, strength, and wear resistance. This involves studying the influence of various production process parameters on the microstructure of the alloy, determining the optimal conditions for sintering and processing, and developing recommendations for improving the manufacturing technologies of tools made from this alloy to enhance their efficiency and durability.

Research Methods and Equipment: The research involves obtaining powders needed for forming the WC8 alloy, injection molding, and subsequent sintering in a vacuum furnace and in an atmosphere of nitrogen and hydrogen. Using highly informative physical materials science methods, including electron microscopy, the micro- and macrostructure of the obtained samples were examined. Key characteristics that may be affected by the heterogeneity of the samples were considered

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Металокерамічні сплави загальні відомості	9
1.2 Основні методи дослідження карбідів	18
1.3 Вплив хімічного складу та домішок на фізико-механічні властивості керамічних матеріалів	20
1.4 Фізико-механічні властивості керамічних та металокерамічних матеріалів	22
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
2.1 Вихідні матеріали	29
2.2 Інжекційне формування	29
2.3 Спікання	32
2.3.1 Загальні відомості про спікання	32
2.3.2 Спікання у вакуумі	32
2.3.3 Спікання в атмосфері водню	39
2.3.4 Спікання в середовищі суміші газів водню та азоту	43
2.3.5 Порівняння мікроструктури пресовок із твердого сплаву після спікання в різних умовах	46
2.4 Дослідження мікроструктури та хімічного складу	46
2.5 Рентгеноструктурний аналіз	53
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	58

3.1 Аналіз зміни тиску залишкових газів при спіканні пресовок із сплавів ВК20 та ВК8 у вакуумі	58
3.2 Металографічний аналіз мікроструктури та фазового складу пресовок із сплавів ВК20 та ВК8	59
3.3 Вплив газового середовища на процес відновлення оксидів та мікроструктуру пресовок із сплаву ВК8	60
3.4 Вплив середовища спікання на властивості твердого сплаву ВК8, сформованого за технологією інжекційного формування	61
3.5 Рентгенофазовий аналіз фазового складу твердого сплаву ВК8	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	65
4.1 Безпека технологічних процесів	65
4.2 Вимоги до виробничих приміщень	66
4.3 Вентиляція і її продуктивність	70
4.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	71
4.5 Висновки до розділу.....	73
ВИСНОВКИ.....	74
CONCLUSIONS	75
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76

ВСТУП

В теперішній час зростає попит в розробці нових матеріалів, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, динамічної ударної взаємодії, інтенсивної корозії. Металеві сплави вичерпали свої потенційні можливості щодо покращення характеристик міцності, твердості, жаро і корозійної стійкості. Найбільш перспективними на сьогоднішній день є керамічні матеріали виготовлені за технологією порошкової металургії із порошків тугоплавких сполук. Але кераміка крихка і маломіцна. Тому найбільш вагомі результати досягаються на металокерамічних матеріалах, які складаються із зерен твердих тугоплавких сполук зв'язаних металевою матрицею. Металева матриця забезпечує високі характеристики міцності, а зерна із тугоплавких сполук високу твердість. Саме таку будову мають тверді сплави типу ВК 8, що складаються із кобальтової матриці і зерен карбіду вольфраму, створення і виробництво яких здійснило науково-технічну революцію в продуктивності металообробного інструменту починаючи з 1920 року минулого століття. Саме тверді сплави дозволили створити техніку та реалізувати технології різання асфальту, бетону, буріння свердловин по видобуванню газу, нафти та інших корисних копалин. Механічні властивості твердих сплавів визначаються мікроструктурою і фазовим складом. Найвищою міцністю і відповідно твердістю володіють сплави ВК8, що містять тільки дві металеви із кобальту або нікелю та дрібних зерен із карбіду вольфраму. Під час виготовлення, а саме приготування сумішей порошків карбіду вольфраму та кобальту, пресування і особливо спікання може змінюватися хімічний склад, що призводить до утворення подвійного карбіду так званої ета фази, або утворення включень графіту,

що призводить до погіршення фізико-механічних властивостей готового сплаву.

Тверді сплави стали одними з найпопулярніших продуктів у порошковій металургії завдяки їхній винятковій комбінації зносостійкості та міцності порівняно з іншими матеріалами, такими як алмази або швидкорізальна сталь. Цей успіх пояснюється використанням композиту з надтвердого карбїду вольфраму та більш пластичного кобальту. Протягом останніх десятиліть активно проводяться дослідження з метою зменшення розміру зерна WC, що сприяє покращенню властивостей цих матеріалів. Серед інгібіторів росту зерна найчастіше використовуються Cr_3C_2 , але механізм взаємодії (W, Co)C_x на межі WC/Co ще потребує додаткового вивчення.

В останні роки в якості зв'язки для формування пресовок із суміші порошків карбїду вольфраму та кобальту по чали замість розчину каучуку в бензині застосовувати зв'язки із високомолекулярного етеленгліколя. Під час формування виробів за технологією інжекційного формування, вміст зв'язки що переважно містить етеленгліколь складає 35-40 % по об'єму. Видалення зв'язки відбувається в два етапи. Спочатку зв'язка розчиняється у парах азотної кислоти, а потім її залишок в кількості 2-3 %, який забезпечує збереження форми і міцність пресовки достатню для маніпулювання, видаляється в процесі спікання. Ступінь видалення зв'язки впливає на кількість вуглецю, що залишається в пресовці в порівнянні з вихідним порошком карбїду вольфраму, і залежить від середовища спікання (вакуум чи аргон, аргонно-воднева суміш). Тому метою роботи є вивчення впливу умов формування та спікання пресовок із твердого сплаву ВК8 виготовленого за технологією інжекційного формування.

1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Металокерамічні сплави загальні відомості

Велика група спечених твердих сплавів з урахуванням вольфраму та монокарбіди кобальту. Тверді сплави в основному використовуються для виготовлення металорізальних та деформуючих інструментів.[1] Основними експлуатаційними характеристиками, що визначають режим експлуатації твердосплавного інструменту, є зносостійкість та міцність на вигин.[3] Недостатньо висока міцність твердих сплавів обмежує режим різання та змушує виробників вибирати відповідний твердий сплав з відповідною міцністю кожної операції, навіть з допомогою можливого збільшення зносостійкості.[4] При розгляді механічних властивостей твердого сплаву слід знати насамперед його структуру, фазовий склад, пористість та характер розподілу фази кобальту.[5] Основними методами підвищення фізико-механічних властивостей твердосплавних пластин є подрібнення зерна, мікролегування та нанесення вакуумних іонно-плазмових покриттів складного складу, що дозволяє виробникам підвищити стійкість інструментів до 3 разів.[6]

Механічні властивості та стабільність розмірів цементованого карбіду WC-Co значною мірою залежать від вмісту вуглецю, що робить контроль над вуглецем ключовим аспектом виробничого процесу.

На вміст вуглецю в цементованому твердому сплаві WC-Co впливають різні фактори, включаючи атмосферу, що знімає зв'язування, під час процесу термічного видалення зв'язування. У своєму дослідженні дослідники досліджували вплив різних атмосфер, що руйнують зв'язування, на вміст вуглецю в зразках. Було помічено, що використання

атмосфери N_2 не повністю видалило зв'язувальний компонент, призвело до збільшення вмісту вуглецю в зразках, що роз'єдналися. З іншого боку, збільшення вмісту H_2 у суміші N_2/H_2 призвело до зменшення вмісту вуглецю.[2] Присутність H_2 спричинила декарбонізацію, що було видно з мікрофотографій спечених зразків, рисунок 1.1 .[2] Збалансований контроль вуглецю був досягнутий, коли видалення зв'язування проводилося в атмосфері 75% N_2 /25% H_2 , що мінімізувало ефекти декарбонізації.[2]

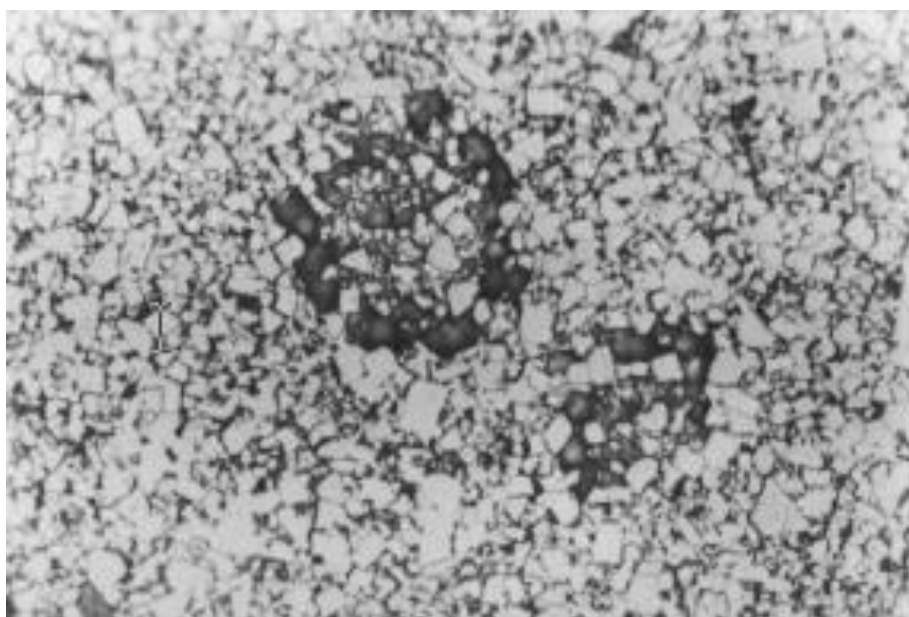


Рисунок 1.1 - Мікроструктура твердого сплаву на основі вольфраму WC–8%Co, отриманого методом інжекційного лиття порошкових матеріалів.[2]

Дослідники також досліджували двоетапний метод видалення зв'язування, який передбачав видалення зв'язування розчинником з подальшим термічним видаленням зв'язуючого компоненту . Було вивчено вплив часу витримки при $600^{\circ}C$ і атмосфери, що розв'язує, на вміст вуглецю. Було виявлено, що термічне роз'єднання при $600^{\circ}C$ протягом 1,5 годин ефективно видаляє зв'язувальний компонент , незалежно від того, чи були зразки роз'єднані в H_2 чи суміші 75% N_2 /25% H_2 . Короткий час витримки при високій температурі в двоетапному методі

видалення зв'язування запобігав надмірному зневуглецюванню, викликаному атмосферою H_2 , забезпечуючи таким чином більшу гнучкість у виборі атмосфери видалення зв'язування.

Досліджено фізичні властивості та мікроструктуру твердого сплаву WC-8%Co, виготовленого за методом. Щільність зразків наближалася до теоретичного значення, що свідчить про високий ступінь консолідації. Було виявлено, що коефіцієнт пористості становить менше 0,02%, що вказує на низький рівень пористості. Мікроструктура зразків була однорідною і не містила третьої фази. Міцність на поперечний розрив досягла 2500 МПа, а твердість також була в бажаному діапазоні. Ці результати демонструють придатність процесу для виробництва цементованого карбіду WC-8%Co з чудовими фізичними властивостями та бажаною мікроструктурою.

Таким чином, контроль вуглецю відіграє вирішальну роль у виробництві цементованого карбіду WC-Co. Вибір атмосфери для видалення зв'язування під час процесу термічного видалення зв'язку значно впливає на вміст вуглецю в зразках. Були досліджені як одноетапні, так і двоетапні методи видалення зв'язування, причому останній пропонує більшу гнучкість у контролі вмісту вуглецю. Крім того, фізичні властивості та мікроструктура зразків РІМ продемонстрували ефективність виробничого процесу у виробництві високоякісного цементованого карбіду WC-8%Co.

Таблиця 1.1 - Порівняння твердих сплавів на основі цементованого карбіду вольфраму, виготовлених за допомогою процесу інжекційного формування порошків та процесу пресування/спікання. [3]

Процес	Склад	TRS (МПа)	Твердіс ть (HRA)	Коерцитивні сть (КаМ-1)	Щіль ність (г/см ³)	Поро жнеч а (%)	Розмір зерна (мкм)
Технології порошково го лиття під тиском	WC– 8%Co	2500	90	8.95	14.72	<0.0 2	2
Пресування /спікання	WC– 8%Co	2500	89	6.53	14.72	<0.0 2	2
Пресування /спікання	WC– 12%Co	2200	88	—	14.80	—	—
Пресування /спікання	WC– 7.5%Co	2200	92	—	—	—	—

Загалом, результати цього дослідження сприяють розумінню контролю вуглецю у виробництві цементованого карбіду WC-Co та дають цінну інформацію для оптимізації параметрів процесу РІМ для досягнення бажаних механічних властивостей і стабільності розмірів. Подальші дослідження можуть бути зосереджені на вивченні інших факторів, які впливають на контроль над викидом вуглецю, і дослідженні впливу цих

факторів на продуктивність твердосплавних матеріалів WC-Co у конкретних застосуваннях.

Останні дослідження зосереджені на композитах на основі міді, зміцнених карбідами, боридами та нітридами перехідних металів. Ці керамічні елементи зміцнення демонструють металеве з'єднання з Cu та можуть покращити механічні властивості та зносостійкість композиту.

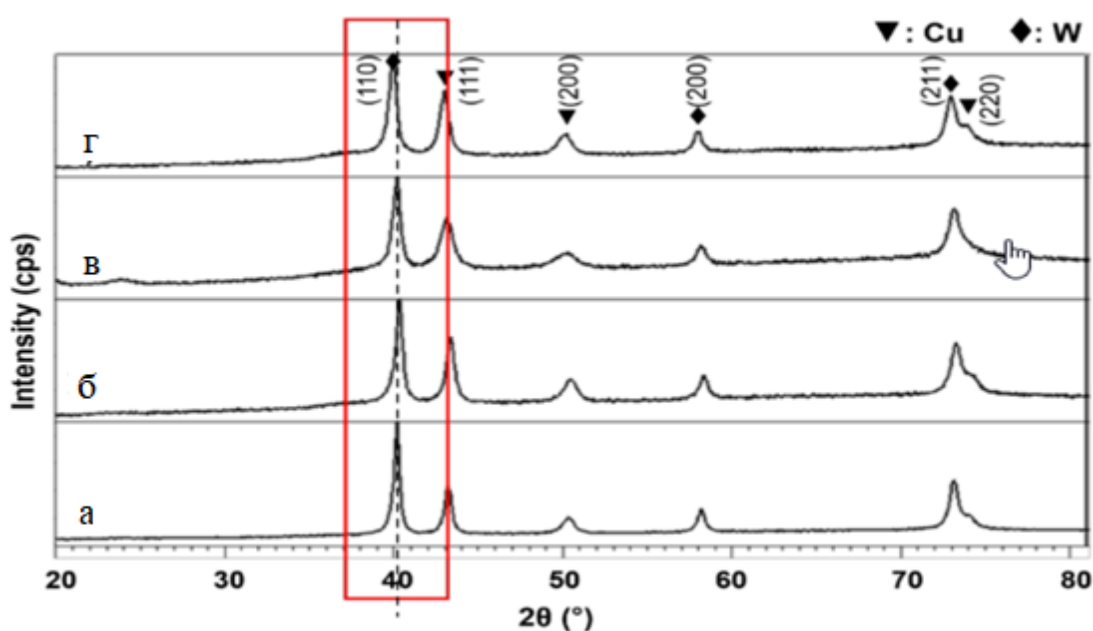
Карбід вольфраму (WC) є одним із таких армуючих матеріалів, який має унікальні властивості, включаючи високу температуру плавлення, надзвичайну твердість, в'язкість до руйнування, міцність на стиск, стійкість до корозії та термічну стабільність. Це ідеальний кандидат для армування м'якої міді для покращення її механічних властивостей.

Автори пропонують використовувати механічне легування для приготування металевих матричних композитів шляхом піддавання порошку суміші елементів високоенергетичному помелу. Механічне легування є потужною технікою для синтезу різних матеріалів, включаючи незмішувані та змішувані системи.[2] Це дозволяє диспергувати дрібні зміцнені частинки в міді, що забезпечує кращий контроль мікроструктури. Енергія, накопичена вздовж меж зерен під час механічного легування, сприяє утворенню метастабільних або стабільних фаз при нижчих температурах.

Найстабільнішою формою карбіду вольфраму є WC, але наявність напівкарбіду (W_2C) робить практично неможливим синтез лише WC у мідному композиті. Дослідники досліджували мікроструктуру та структурну еволюцію утворення фази карбіду вольфраму в мідних матрицях, синтезованих легуванням та методом порошкової металургії. Проте все ще існує потреба досліджувати утворення та розподіл карбіду вольфраму, утвореного в наноструктурованих композитах на основі міді.

Порошки міді, вольфраму та графіту піддавали сухому помелу за допомогою планетарного кульового млину. Співвідношення кульки до

порошку та тривалість помелу контролювали для отримання бажаного композиту. Розмелений порошок потім ущільнювали холодним способом і спікали в певних умовах. Фазову ідентифікацію та характеристику композиту виконували за допомогою таких методів, як рентгенівська дифракція, скануюча електронна мікроскопія і рентгенівська фотоелектронна спектроскопія. Ці методи дозволили визначити розмір кристалітів, внутрішню деформацію, параметри решітки та хімічний аналіз поверхні.

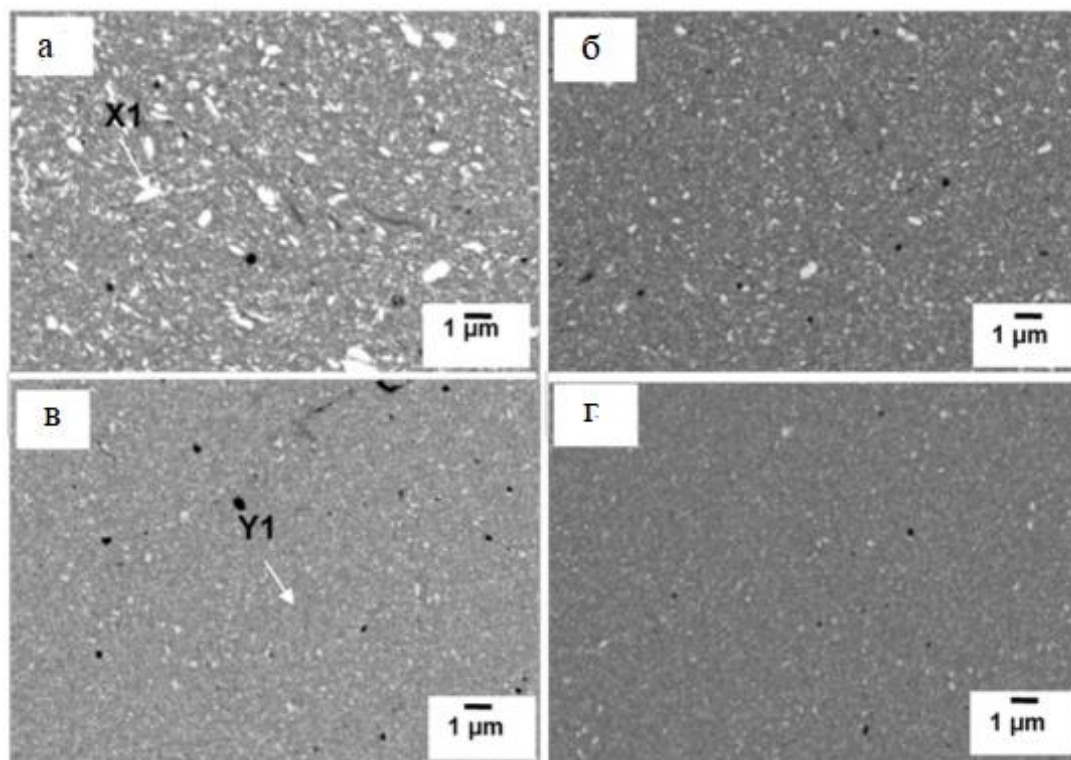


а – подрібнений за 10 год; б - подрібнений за 20 год; в - подрібнений за 40 год г - подрібнений за 60 год.

Рисунок 1.2 Рентгенограми композиту [2]

Рентгенограми розмелених порошків із різним часом помелу показано на рисунку 1.2 . Картини вказують на наявність двох кристалічних фаз без ознак аморфної фази. Розмір кристалітів і внутрішня деформація міді були визначені за допомогою методу Вільямсона - Холла, і було виявлено, що вони зменшуються зі збільшенням часу розмелу.

Активність розчинності в суміші Cu-W-C описували змінами параметра решітки міді. Параметр решітки збільшувався з часом розмелу, вказуючи на утворення розчину Cu(C) і суміші Cu-W. У композиті спостерігалось утворення та розподіл фаз карбіду вольфраму (WC та W₂C).[2]

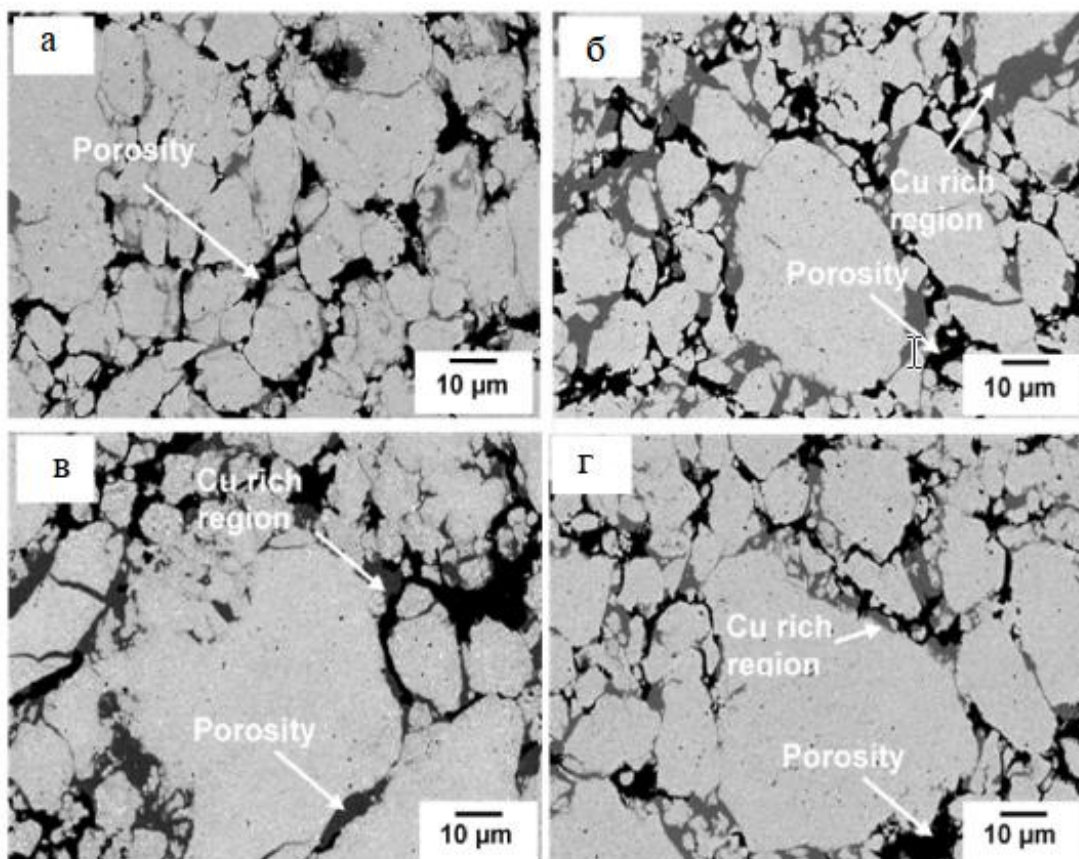


а – подрібнений за 10 год; б - подрібнений за 20 год; в - подрібнений за 40 год г - подрібнений за 60 год.

Рисунок 1.3 - Мікроструктура порошку Cu-W-C [2]

Зображення скануючої електронної мікроскопії (рис. 1.3) розмеленої суміші Cu-W-C показали рівномірний розподіл частинок з малим розміром і формою. Частинки ставали дрібнішими та більш сферичними зі збільшенням часу помелу.

Дослідження продемонстрували утворення та розподіл фаз карбіду вольфраму (WC та W₂C) у мідній матриці. Результати показали, що час помелу істотно вплинув на мікроструктуру, фазовий склад і механічні властивості композиту.



а – подрібнений за 10 год; б - подрібнений за 20 год; в - подрібнений за 40 год г - подрібнений за 60 год.

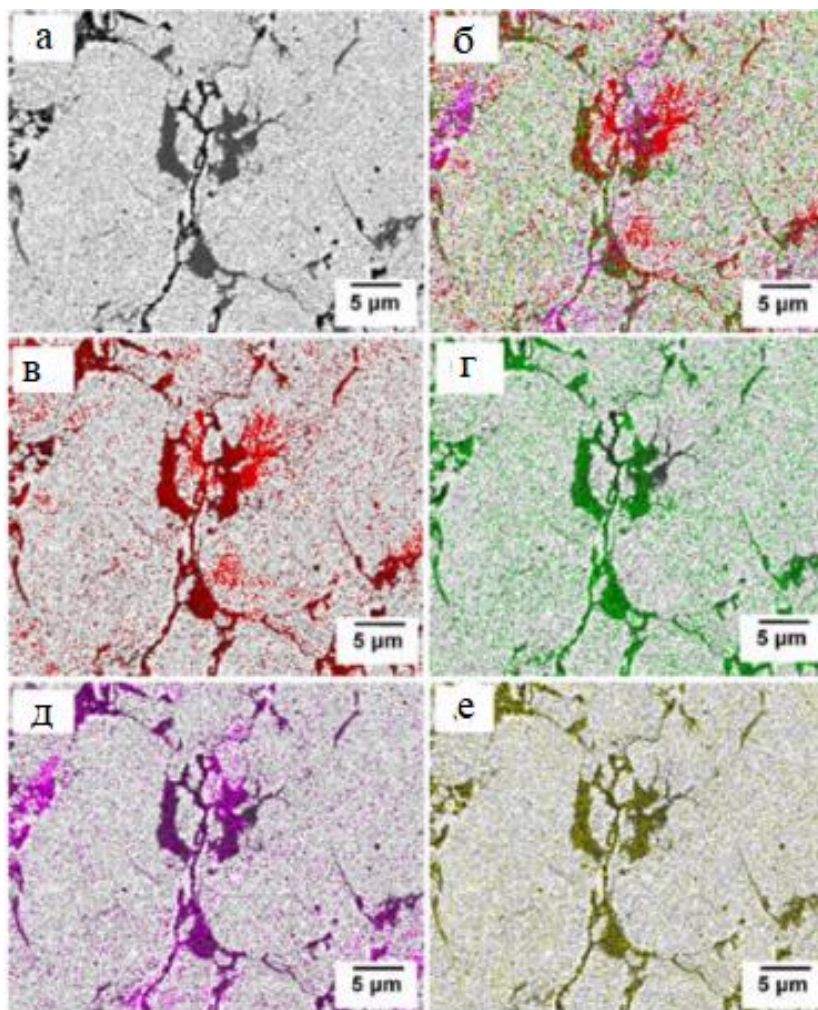
Рисунок 1.4 - Мікроструктура спеченого композиту Cu-WC [2]

На рисунку 1.4 показано зображення скануючої електронної мікроскопії спеченого композиту за різного часу помелу. Зображення демонструють три чіткі області протягом усіх часів помелу, що вказує на деяку нерівномірність мікроструктури.

Чорна область відповідає пористості різного розміру та форми, розмір якої зменшується зі збільшенням часу подрібнення. Це явище можна віднести до холодного ущільнення, де пористість і порожнечі можуть виникнути після спікання через відсутність пластичної деформації під час консолідації.

Сіра зона складається з вищої концентрації міді (Cu) і розчину Cu(C), що підтверджено елементним аналізом, показаним на рисунку 1.5 .

Карбід вольфраму (WC) швидше розчиняється в Cu за більшого часу помелу. Присутність частинок WC уповільнює шлях дифузії частинок Cu, що призводить до більш тривалого часу, необхідного для руйнування та розподілу в матриці Cu. Области, визначені на рисунку 1.5 як такі, що мають більше накопичення Cu, контрастують з іншими областями, що складаються з елементів Cu, W, Fe, O та C.



а - зображення та елементне відображення на відповідній області; б - усіх елементів; в - Cu червоний; г - W зелений; д - Fe індиго; е - C жовтий в спеченому пресі, подрібненому протягом 40 годин і спеченому при 900 °C.

Рисунок 1.5 - Мікроструктура спеченого композиту Cu-WC [2]

Під час спікання відбувається міжчасткова дифузія, в результаті чого підвищується однорідність мікроструктури. Це видно з присутності ділянок різного кольору, вбудованих у червону область (Cu) на малюнку 1.5 . Це вказує на покращене змішування та розподіл елементів у композиті.

Крім того, немає чіткої морфологічної різниці між карбідом вольфраму (WC) і карбідом вольфраму (W_2C), оскільки WC утворюється шляхом перетворення W_2C . Таким чином, мікроструктура між цими двома фазами повинна виглядати ідентичною.

Загалом, зображення скануючої електронної мікроскопії та елементний аналіз дають змогу зрозуміти мікроструктуру та розподіл елементів у спеченому композиті за різних часів помелу. Спостереження допомагають зрозуміти еволюцію мікроструктури композиту та вплив процесів фрезерування та спікання на його властивості.

1.2 Основні методи дослідження карбідів

Моллард і Флемінгс [2] розробили рівняння, що визначає критерії для плоско-фронтального росту евтектик, тобто відсутність концентраційного переохолодження в подвійних систем що містять евтектику:

$$\frac{G}{R} = - \frac{m(C_E - C_0)}{D} \quad (1.1)$$

де m - це нахил ліквідусу;

C_E - евтектичний склад;

C_0 - Початковий склад розплаву;

D - коефіцієнт дифузії домішки в розплаві.

Рівняння (1.1) можна також виразити:

$$\frac{G}{R} = k \Delta T$$

(1.2)

де k - це константа;

ΔT - Це різниця температур між ліквідусом і солідусом, область кристалізації сплаву C_0 .

Робота Молларда і Флемінгса [3] показала, що на практиці спрямовано закристалізовані евтектичні матеріали не обмежені точним евтектичним складом. При виконанні певних критеріїв, плоско-фронтальні умови росту можуть бути досягнуті для матеріалів зі складом далеким від евтектичного. Цими критеріями є: високий температурний градієнт, низька швидкість росту і відсутність конвекції. [4]

Зміна швидкості кристалізації при значеннях вищих критичного співвідношення G/R також дозволяє регулювати розміри армувальних включень, а також відстань між ними, що впливає на їх фізико-механічні властивості. При підвищенні швидкості кристалізації, час, потрібний для дифузії в зоні розплаву зменшується. Це забезпечується коротшим шляхом дифузії, який приводить до зменшення відстані між пластинами або волокнами при цьому більшість ефективних систем підкоряється закону:

$$\lambda^2 R = K \quad 1.3$$

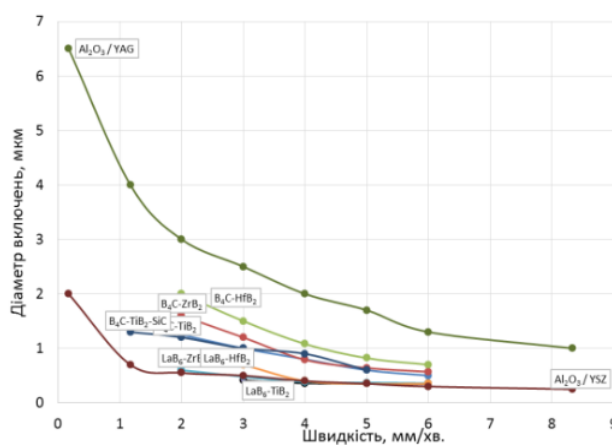
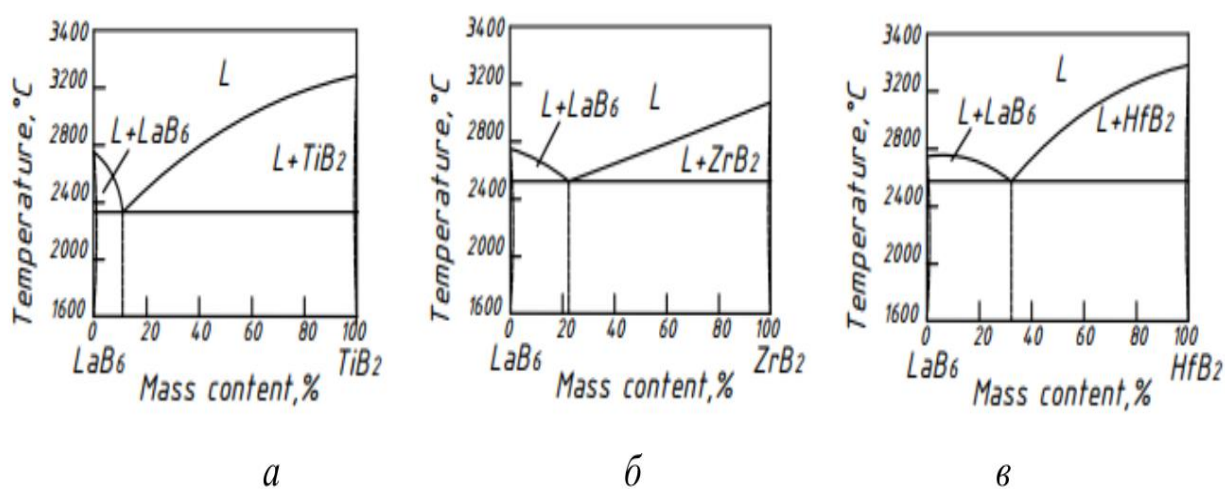


Рисунок 1.6 - Вплив швидкості кристалізації на розмір армувальних

включень у керамічних спрямовано закристалізованих евтектичних сплавах [4]

Як зазначено в дисертаційні роботи Соловійові [4] на регулярність структури боридних композитів впливають відхилення від евтектичного складу, що призводить до виділення первинної боридної фази MeB_2 або матриці LaB_6 і зменшують вміст електричної складової зображено на рисунку 1.7.[4]



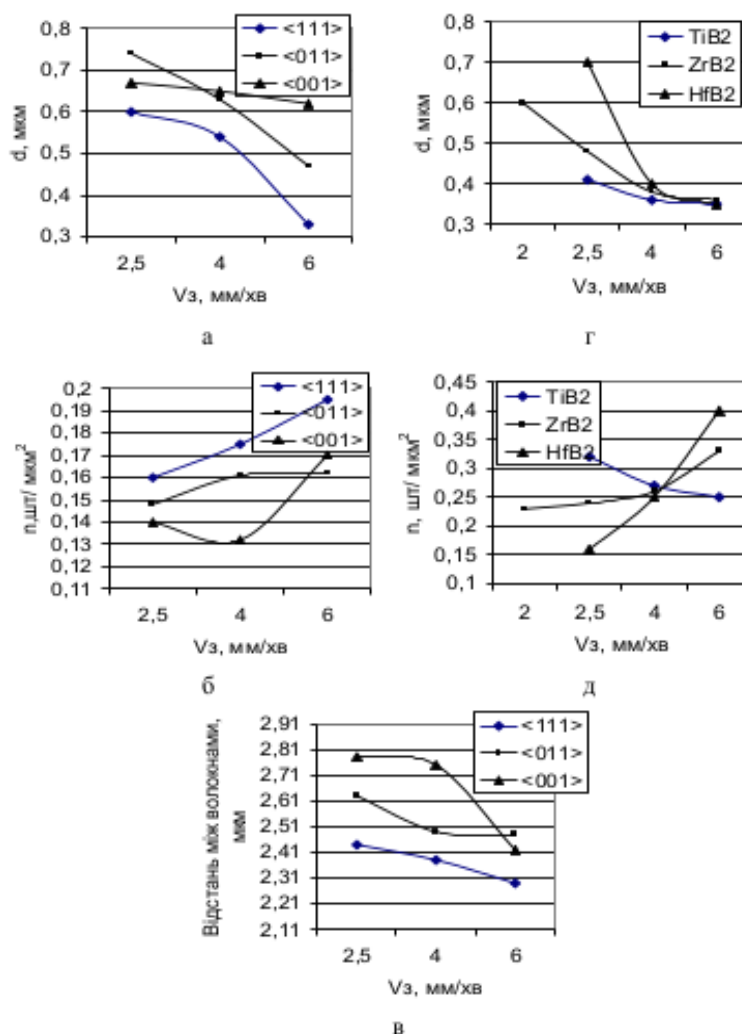
а - LaB_6 - TiB_2 ; б - LaB_6 - ZrB_2 ; в - LaB_6 - HfB_2

Рисунок 1.7 - Діаграми стану боридних композитів [3]

1.3 Вплив хімічного складу та домішок на фізико-механічні властивості керамічних матеріалів

На фізико-механічні властивості керамічних матеріалів впливає перш за все їхній хімічний склад, домішки будуть погано впливати на механічні властивості цих матеріалів. Наявність домішок призведе до зниження ефективності використання їх в балістичних умовах Хотілося б зазначити встановлено що з підвищенням швидкості кристалізації розплаву кількість включень у поперечному напрямку збільшується [2]. Також хотілося б зазначити що важливою характеристикою даного процесу також становить

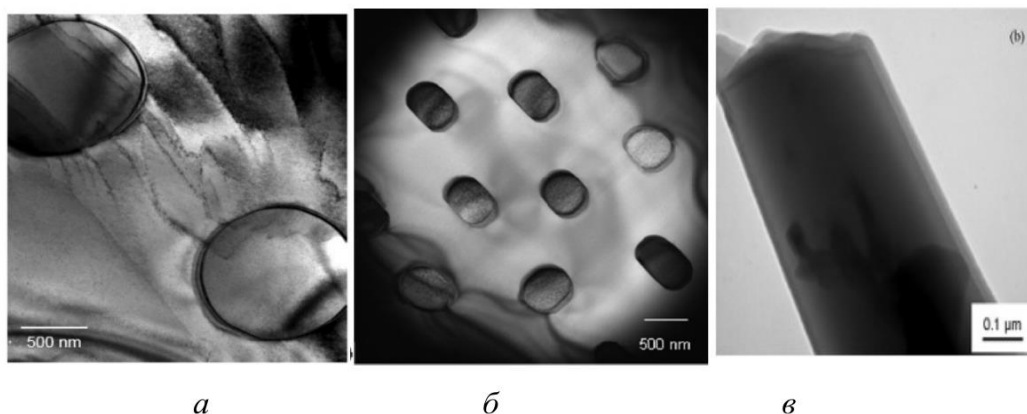
вирощування матричної фази. При збільшенні швидкості вирощування матричної фази зменшується діаметр до рідних включені збільшується і кількість що зображено на рисунку 1.7 [2]. На розмір включень впливає криптографічна орієнтація матричної фази, мінімальні розміри включень спостерігається при рості матриці в напрямку $\langle 111 \rangle$ [3].



а - залежність від середнього діаметра, системи LaB₆ -HfB₂ , $V_{об.}=3$ об./хв; б - залежність від кількості диборидних волокон, системи LaB₆ -HfB₂ , $V_{об.}=3$ об./хв; в - залежність від відстані між волокнами, системи LaB₆ -HfB₂ , $V_{об.}=3$ об./хв; г - залежність від середнього діаметра, системи LaB₆ -Me^{iy} B₂ , $V_{об.}=0$ об./хв. д - залежність від кількості диборидних волокон, системи LaB₆ -Me^{iy} B₂ , $V_{об.}=0$ об./хв.

Рисунок 1.8 - Вплив швидкості кристалізації, кристалографічної орієнтації матричної фази та хімічного складу евтектики [3]

В дисертаційній роботі Тетяни Олександрівни Соловйової зазначено основними типами дефектів кристалах LaB_6 вирощених із заготовок стехіометричного складу є дислокації ТАС обраниці утворені в порядковим розподілом дислокацій пори вакансії та включення тетраборат одної фази, в роботі Петра Івановича Лободи та Богомола Юрія Івановича за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії встановлено що волокна є без дефективними зображено на рисунку 1.8.



а - LaB_6 - ZrB_2 з дефектами; б - LaB_6 - ZrB_2 без дефектів; в - LaB_6 - TiB_2 після спрямованої кристалізації без дефектів

Рисунок 1.9 - ТЕМ зображення композитів

1.4 Фізико-механічні властивості керамічних та металокерамічних матеріалів

Для покращення фізико-механічних властивостей металокерамічних матеріалів їх армують частинками кераміки: боридами, оксидами, карбідами, що дозволяє покращити їх експлуатаційні властивості. Основні

фізико-хімічні властивості таких матеріалів алюмоматричних композитів представлені в таблиці 1.2. [5]

Таблиця 1.2 - Фізико-механічні властивості алюмоматричних композитів [2]

Al ₂ O ₃ - Al		Властивості			
Розмір зміцнюючої фази, мкм	Вміст зміцнюючої фази	Мікротвердість, ГПа	Модуль пружності, ГПа	Міцність на розтяг, МПа	Межа текучості, МПа
25	20 мас.%	44,6	82,8	145	114
50	20 мас.%	44,6	82,4	138,5	107
25	40 мас.%	62,4	110,15	156,5	131
50	40 мас.%	59,1	102,85	141,5	125
Al-TiB ₂					
25	5 об.%	-	73	-	80
25	10 об.%	-	99.2	-	87
25	15 об.%	-	97.2	-	95
25	20 об.%	-	107.6	-	115
Al-TiC					
0,5	3 мас.%	32,92	-	-	123
0,5	5 мас.%	37,83	-	-	142

Додавання боридів, таких як борид алюмінію (AlB), до металокерамічних матеріалів може покращити їх міцність і зносостійкість. Оксиди, такі як оксид алюмінію (Al₂O₃), можуть сприяти збільшенню

твердості та стійкості до високих температур. Карбіди, наприклад, карбід кремнію (SiC), можуть забезпечити високу міцність та стійкість до корозії.

Армування металокерамічних матеріалів частинками кераміки відкриває широкі можливості для вдосконалення їх властивостей і розширення області їх застосування в різних галузях промисловості. Такі композити здатні витримувати високі температури, механічні навантаження та агресивні середовища, що робить їх відмінними кандидатами для виробництва деталей, які вимагають високої міцності та стійкості.

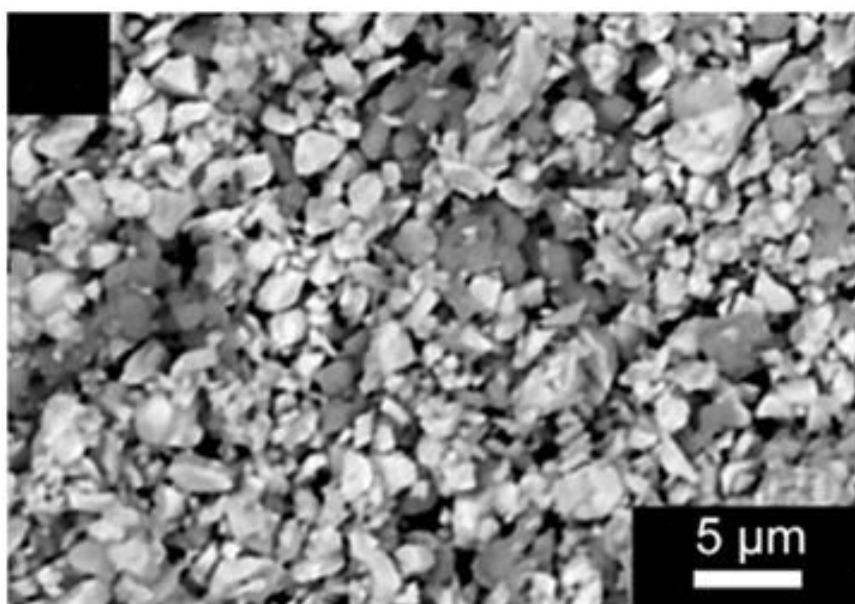
Порошок вторинного карбіду вольфраму, кобальт технічний (98 мас.% С), як вихідні матеріалів використовували порошок ВК (99 мас.% ВК). Склади експериментальних твердих сплавів: WC-8Co (мас.%) та WC-8Co-0,3VC (мас.%). Ці склади відповідають вітчизняним маркам твердих сплавів «ВК8» та «ВК8М», які широко застосовуються для різання у важких умовах. Для отримання однорідних сумішей вихідні порошкоподібні композиції окремо подрібнювали в млині з кульками цементованого карбіду діаметром 12 мм з використанням етилового спирту в якості середовища подрібнення протягом 40 годин. Після подрібнення сушили порошки. Для забезпечення гарної формуваності сировини порошкову композицію змішували із пластифікатором. Як формоутворювач використовували 5% розчин синтетичного каучуку в бензині з розрахунку 0,15 л розчину на 1 кг суміші. Оптимальне співвідношення формоутворювача та порошку було обрано згідно з технологічною інструкцією.

Після одновісного пресування сталеві матриці під тиском 70 МПа зразки сушили при температурі 120 °C протягом 24 годин. Зелені тіла складу WC-8Co-0,3VC були поділені на дві групи. Згодом один із них був поміщений в еластичну форму та ущільнений при тиску 200 МПа. Цей процес здійснювався на мультиплікаційному обладнанні високого тиску.

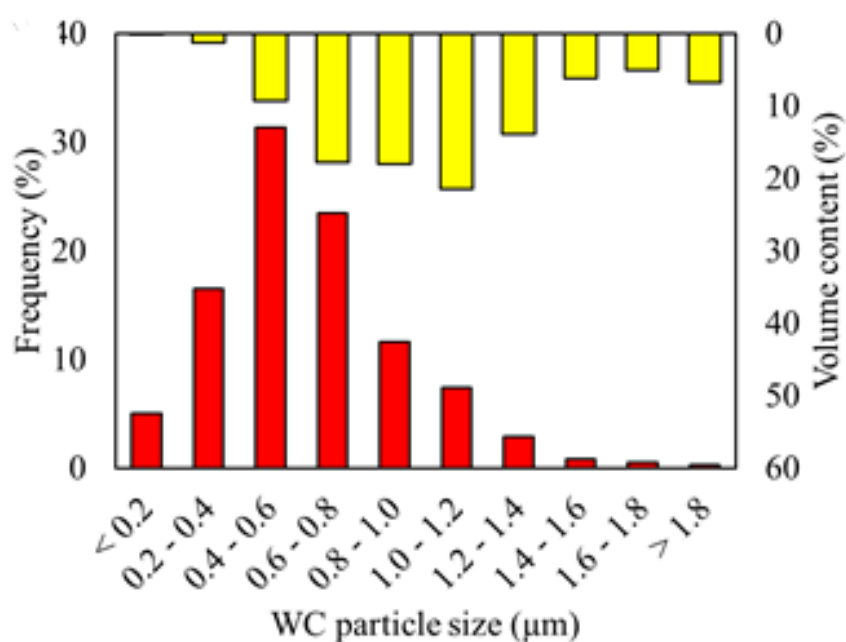
Спiкання всiх зразкiв проводилося у промисловiй вакуумнiй печi при температурi 1440 °C. Зразки готували для мiкроструктурного аналізу та вимiрювання механiчних властивостей шляхом шлiфування та полiрування.

Об'ємну густину спечених сплавiв вимiрювали за принципом Архімеда. Коерцитивну силу вимiрювали за допомогою коерцитивного вимiрювача Кобальт-1. Мiцнiсть на згин вимiрювали за допомогою випробування на триточковий вигин вiдповiдно до стандарту зi швидкiстю навантаження 2 мм/хв. Для визначення розмiру частинок WC використовували електронний скануючий мiкроскоп . Середнiй розмiр зерна WC спечених зразкiв вимiрювали шляхом аналізу зображень за допомогою програмного забезпечення. Для забезпечення статистичної репрезентативностi не менше 600 зерен WC були вимiрянi напiвавтоматичним методом [14] на основi СЕМ-зображень були використанi для отримання розподiлу за розмiрами та середнього розмiру зерен WC. Твердiсть зразкiв вимiрювали твердомiр Роквелла типу А з використанням iндентора з навантаженням 60 кг. Визначали шляхом вимiрювання трiщин вiд вiдбитка Вiккерса з використанням навантаження 50 кг i подальшого розрахунку рiвняння Палмквiста.

На рисунку 1.5 а зображено вихiдний склад порошку WC-8Co, а на рисунку 1.5 б показано статистичний розподiл частинок WC за розмiром. Середнiй розмiр частинок розмеленого порошку WC, який використовувався в цiй роботi, становив 0,63 мкм.



а



б

а- зображення морфології і статистичного розподілу частинок WC за розміром ; б - початкового складу порошку.

Рисунок 1.10 – Характеристика сплавів BK8

Отже, дослідження хімічних характеристик твердих сплавів відкриває нові можливості використання цих матеріалів у промисловості. В зв'язку з актуальністю світових досліджень та постійним покращенням твердості

матеріалів, потребуємо також розширення наукової інформації про тверді сплави типу ВК8 .

Отож потрібно дослідити хімічний вплив, вплив легувальних добавок на сплави типу ВК8 та на їх механічні характеристики.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основні дослідження базуються на порівнянні відповідних характеристик матеріалів типу ВК8 при інжекційному формуванні та наступному спіканні в вакуумі водні, та азотоводневій сіміші. Схема варіантів технологічного процесу процесу інжекційного формування та наступному спіканню наведена (рис. 2.1).

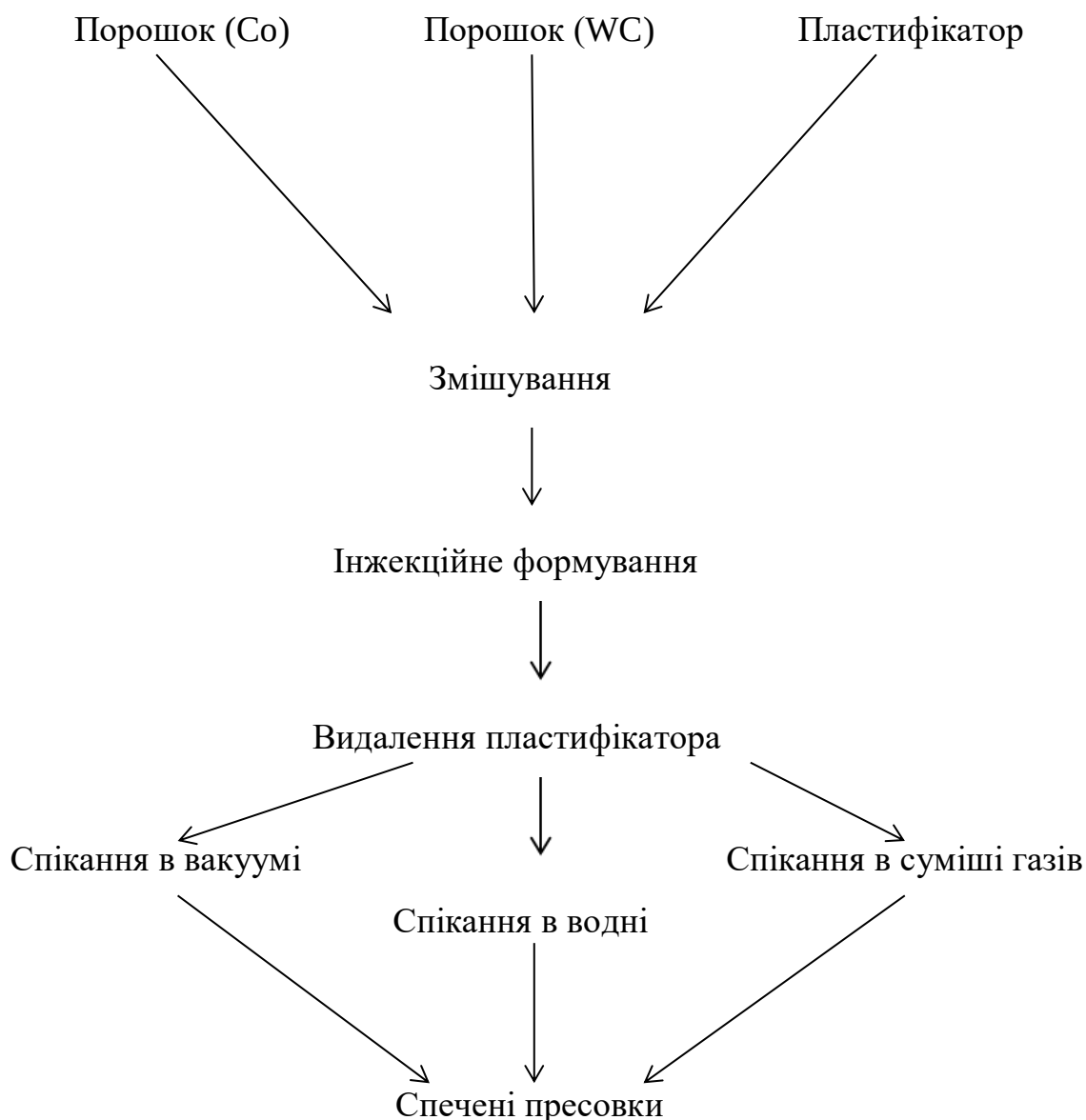


Рисунок 2.1 - Технологічна схема виготовлення зразків твердого сплаву

2.1 Вихідні матеріали

Для відпрацювання технології інжекційного формування виробів із твердого сплаву типу ВК8 в якості вихідних застосовували фістоки що представляють собою суміш порошків порошків кобальту (Co), карбіду вольфраму (WC), з 35 об.%. Розмір частинок порошку карбіду вольфраму складав близько 1 мкм. За даними мікроскопічного аналізу пресовок із сумішшю ВК8 та ВК20 після видалення зв'язки під час попереднього спікання в вакуумі за температури 1000 °С.

2.2 Інклекційне формування

Технологія лиття під тиском з використанням металевого порошку є складним процесом, який охоплює різні аспекти, такі як формування пластмас, полімерна хімія, порошкова металургія, обробка металів та інші наукові галузі. Ця методика дозволяє застосовувати спеціальні прес-форми для створення високоточних, складних тривимірних структур з високою щільністю шляхом спікання. Інклекційна технологія по продуктивності перевищує технологію литва із розплавів металів та сплавів.

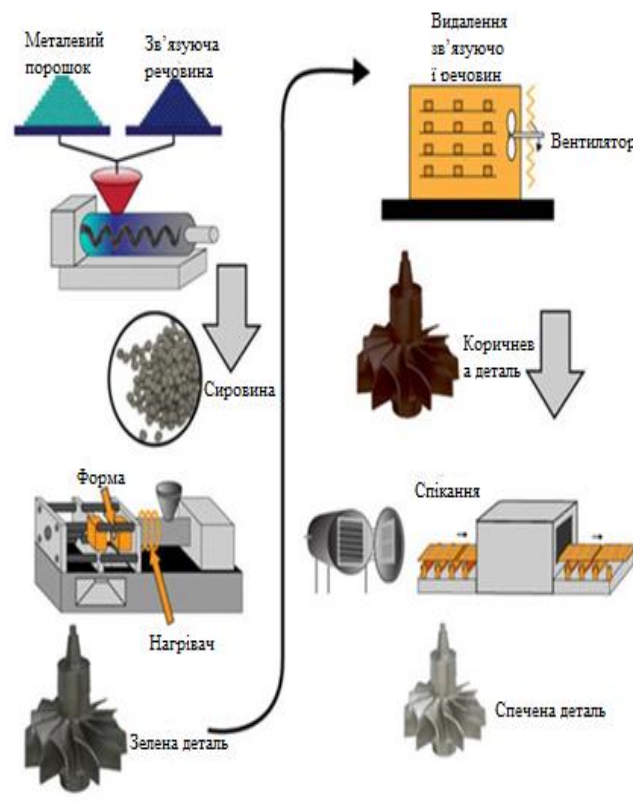


Рисунок 2.2 - Процес лиття під тиском з використанням порошку

Ця технологія дозволяє швидко та ефективно впроваджувати дизайнерські концепції у виробництво деталей із заданими структурними та функціональними характеристиками. На відміну від традиційної порошкової металургії, яка досягає щільності лише 80-90% від теоретичної, ця технологія дозволяє отримати щільність до 95-100%, що забезпечує міцність, аналогічну кованим матеріалам. Вона також забезпечує високу точність допусків і зменшує витрати при виготовленні невеликих складних деталей великими серіями.

В технології порошкової металургії використовується невелика кількість зв'язуючої речовини (пластифікатора, зв'язки), що покращує реологічні властивості матеріалу та покращує його здатність набувати форму сприяє його кращому формуванню. Процес видалення зв'язки проходить без найменшої реакційної взаємодії з порошками кобальту та карбиду вольфраму, що забезпечує незмінність хімічного складу та

структури композиції. Видалення зв'язки повинно проходити без залишків продуктів деструкції та слідів нагару.

У процесі порошкової металургії ретельно змішують металевий порошок з органічною зв'язуючою речовиною для створення однорідної суміші, що використовується у литті під тиском. Однорідність суміші є критично важливою, оскільки впливає на ущільнення матеріалу і, як наслідок, на якість і параметри кінцевого продукту, такі як щільність, пористість, механічна міцність.

Метод лиття під тиском схожий на традиційне лиття пластмас, з аналогічними умовами налаштування обладнання. Під час лиття суміш порошку заліза та 35% зв'язуючої речовини нагрівається до пластичного стану, забезпечуючи потрібні реологічні властивості, і впорскується під тиском у форму для створення заготовки. Важливо, щоб мікроструктура отриманої заготовки була однорідною, забезпечуючи рівномірну усадку під час спікання.

Видалення зв'язуючої речовини повинно проходити поступово, через мікроканали між частинками, не знижуючи міцність заготовки. Цей процес регулюється законами дифузії. Після екстракції пориста заготовка може бути додатково пресована або спечена для формування кінцевого продукту із заданою структурою та властивостями. Хоча процес перед спіканням впливає на багато аспектів кінцевих характеристик продукту, сам процес спікання є ключовим і може значно вплинути на мікроструктуру та властивості кінцевого продукту.

Ця технологія має значні переваги порівняно з традиційними методами. Вона знижує або усуває потребу в механічній обробці, що призводить до економічних переваг. Вона також вирішує проблеми, які часто виникають у традиційних виробках порошкової металургії, такі як нерівномірна щільність, низькі механічні властивості та труднощі у формуванні тонкостінних і складних конструкцій. Це робить її ідеальною

для масового виробництва малогабаритних деталей складної форми з високими вимогами до якості. Для дослідження впливу технології інжекційного формування на формування мікроструктури, фазового складу та властивостей спечених твердих сплавів формувались циліндричні пресовки із сплаву ВК8 та ВК20. Після хімічного видалення основної маси звязки (98%) в парах азотної кислоти пресовки піддавалися спіканню.

2.3 Спікання

Спікання пресовок виготовлених інжекційним формуванням проводив в вакуумі та в атмосфері водню, азоту і в суміші газів водню з азотом.

2.3.1 Загальні відомості про спікання

Спікання є важливим етапом у виготовленні матеріалів методами порошкової металургії. Цей процес включає нагрівання попередньо сформованих зразків до температур, достатніх для об'єднання частинок порошку в суцільну масу, але не до точки плавлення основного матеріалу. Спікання здійснюється для покращення механічних властивостей, підвищення щільності, міцності та однорідності матеріалу.

2.3.2 Спікання у вакуумі

Спікання у вакуумі є одним з найбільш ефективних методів для зменшення оксидних включень та запобігання реакцій між матеріалом і газами, присутніми в робочому об'ємі печі. Вакуумне спікання забезпечує чистоту пресовки, оскільки у вакуумі видаляються більшість газоподібних забруднювачів, які можуть викликати окислення чи інші небажані хімічні реакції.

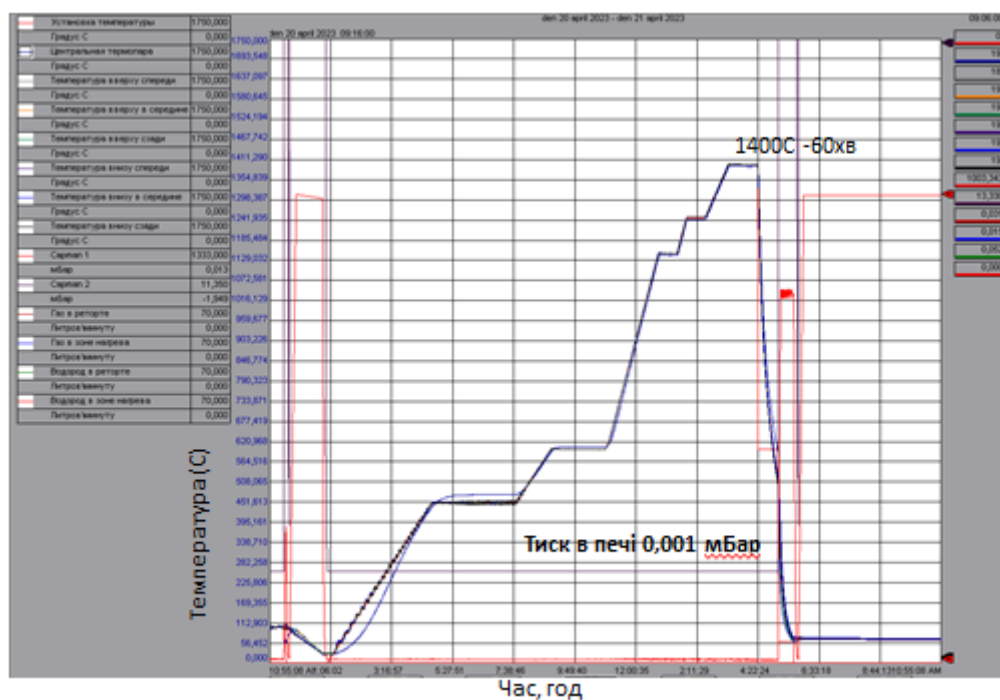


Рисунок 2.4 - Зміна температури та глибини вакууму в робочому об'ємі печі під час спікання пресовки із твердого сплаву ВК20 у вакуумі

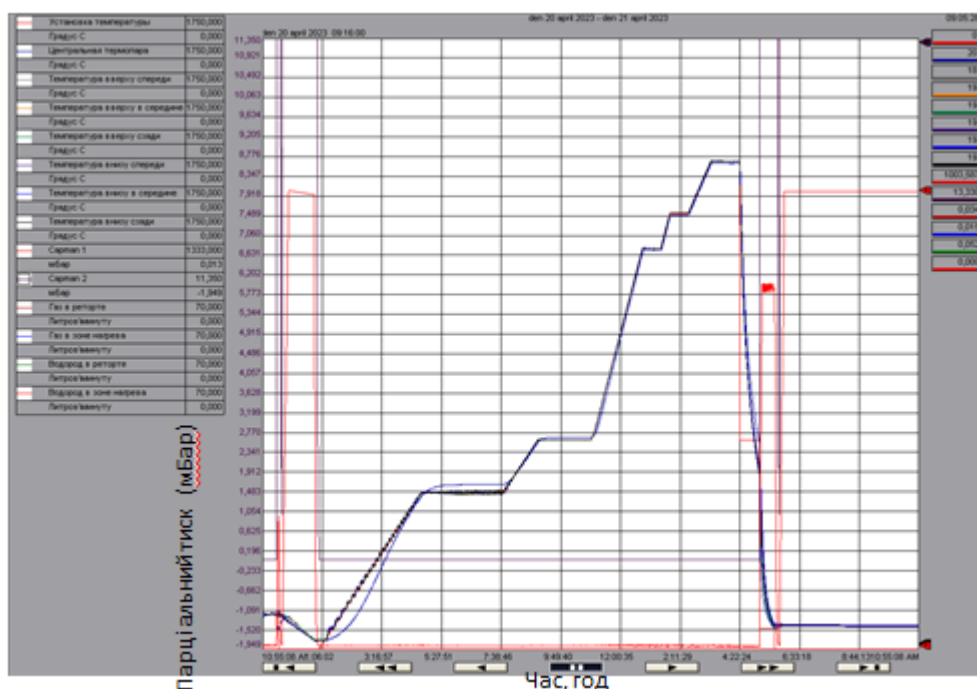
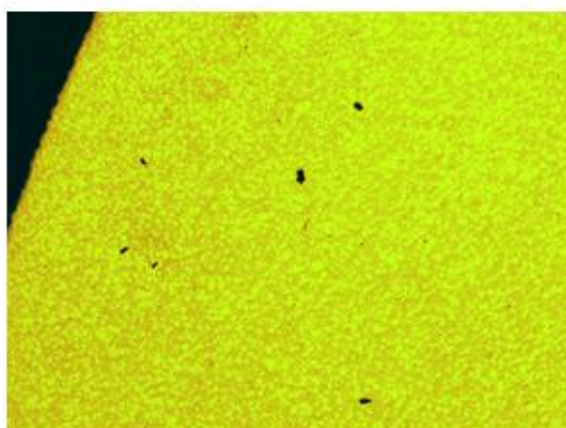
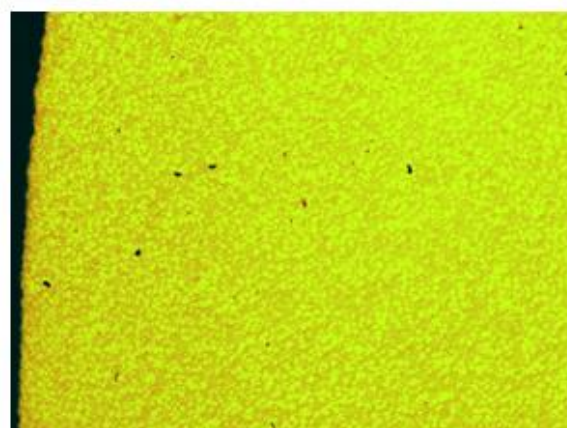


Рисунок 2.5- Зміна глибини вакууму під час спікання твёрдосплавного сплаву ВК8



x2,5

а

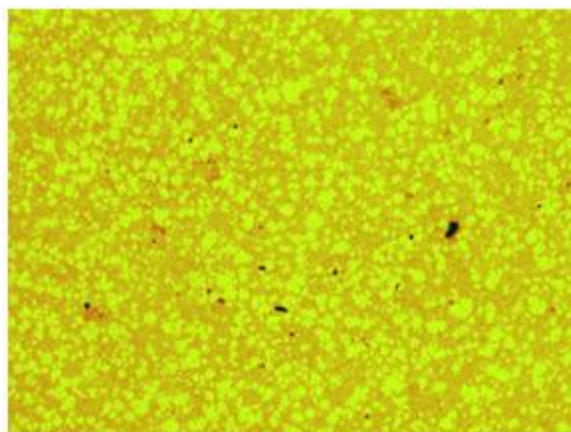


x2,5

б

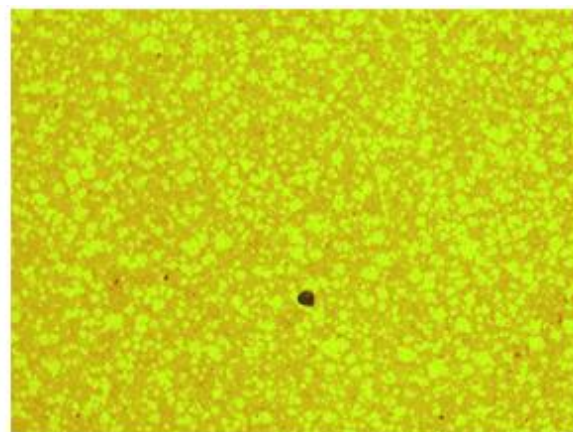
а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.10 - мікроструктури пресовки із ВК20 після спікання в вакуумі при збільшенні в 2,5 разів



x5

а

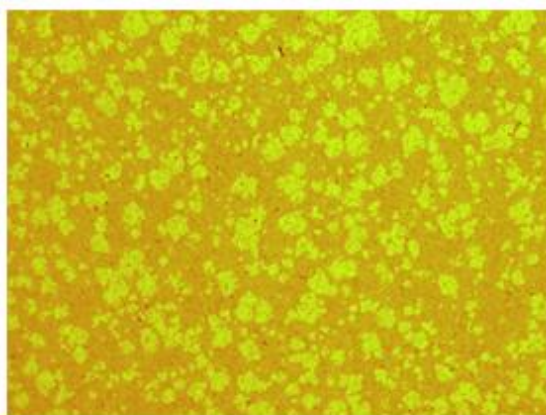


x5

б

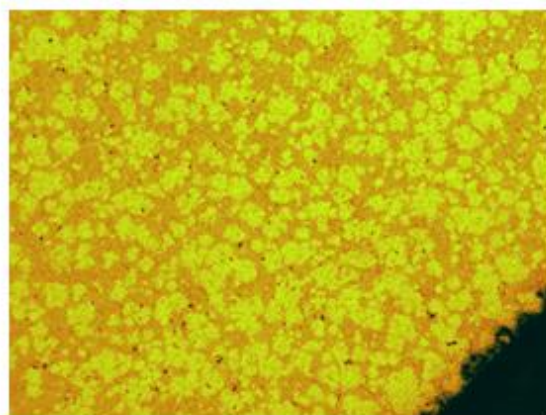
а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.11 - мікроструктури пресовки із ВК20 після спікання в вакуумі при збільшенні в 5 разів



x10

а

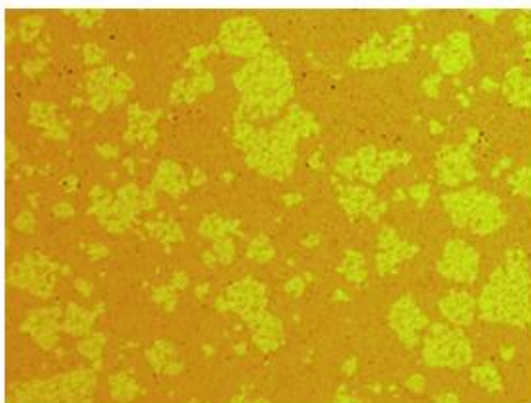


x10

б

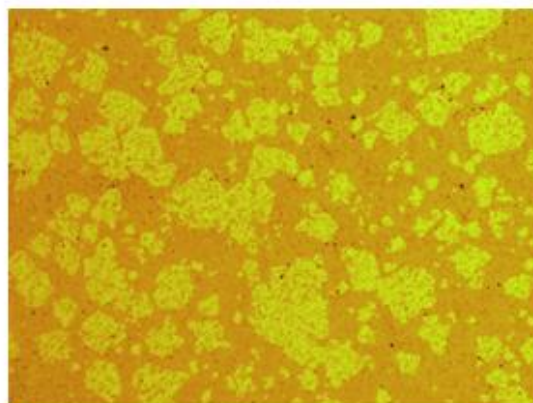
а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.12 - мікроструктури пресовки із ВК20 після спікання в вакуумі при збільшенні в 10 разів



x20

а

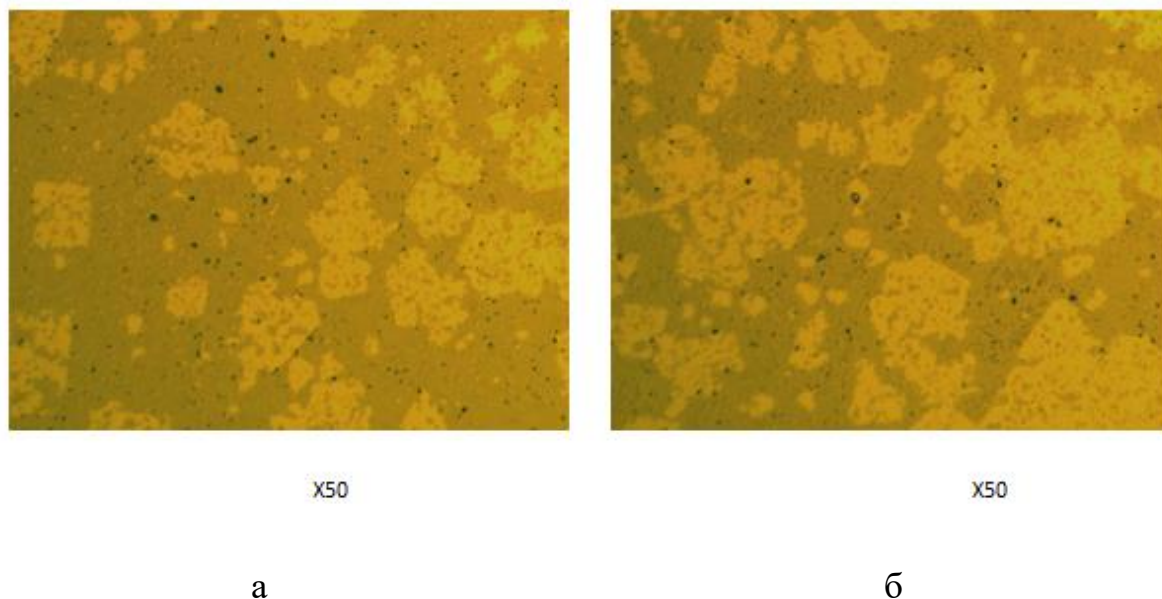


x20

б

а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.13 - мікроструктури пресовки із ВК20 після спікання в вакуумі при збільшенні в 20 разів



а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.14 - мікроструктури пресовки із ВК20 після спікання в вакуумі при збільшенні в 50 разів

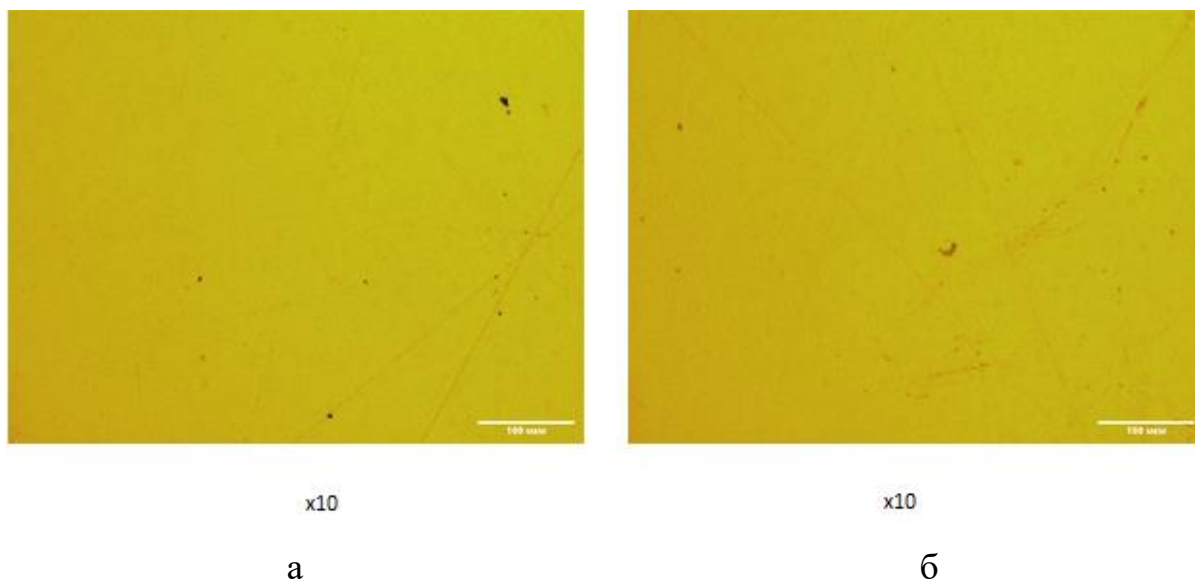
Таблиця 2.1 – геометричні розміри пресовок до спікання та після спікання у вакуумі

Пресовані штабіки матеріал ВК8								
До спікання				Після спікання			Коеф. Усадки	
№	Вага, г	Діаметр, мм	Висота, мм	Вага, г	Діаметр, мм	Висота, мм	По діаметру	По висоті
1	7,168	10,1	12,7	6,886	7,87	9,8	1,283	1,296
2	7,123	10,15	12,34	6,84	7,9	9,67	1,285	1,276
3	7,123	10,13	12,58	6,865	7,85	9,82	1,290	1,281

Пресовані матриці ВК15								
До спікання				Після спікання			Коеф. Усадки	
№	Вага, г	Діаметр, мм	Висота, мм	Вага, г	Діаметр, мм	Висота, мм	По діаметру	По висоті
1	48,904	28,24	17,87		20,31	12,92	1,390	1,383
2	49,134	28,25	16,18	46,058	21,05	12,2	1,342	1,326
3	49,977	28,25	18,41	47,022	20,28	13,33	1,393	1,381
4	44,677	28,24	15,9	41,778	20,5	11,75	1,378	1,353

2.3.3 Спікання в атмосфері водню

Водень є відновлювальним газом, що активно використовується для спікання порошків. Водень сприяє видаленню оксидів з поверхні частинок порошку, що покращує їхню здатність до дифузії та спікання.



а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.15 - мікроструктури пресовки ВК8 після спікання в суміші газів азоту та водню

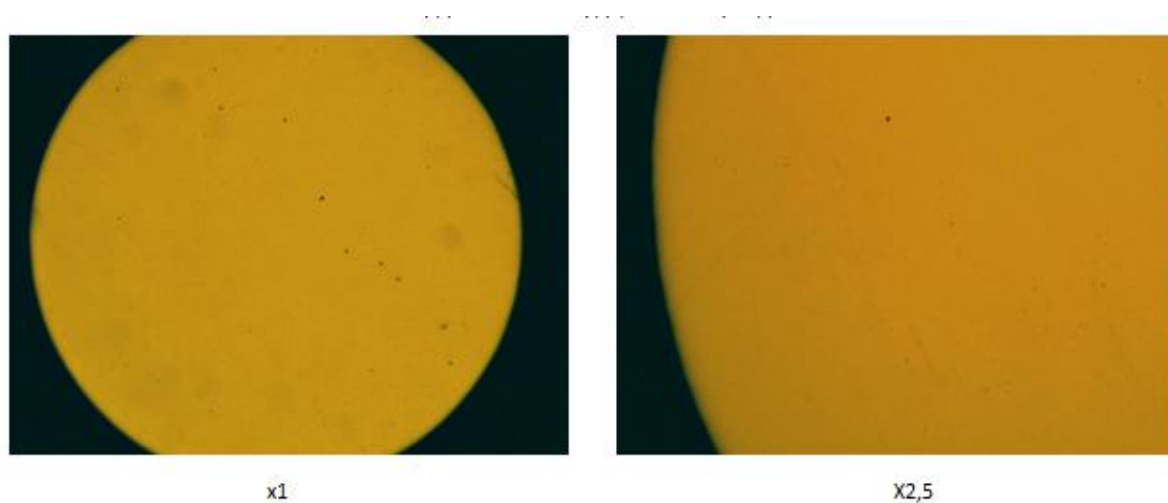


Рисунок 2.16 - Мікроструктури пресовки ВК8 після спікання в водні



x5

а

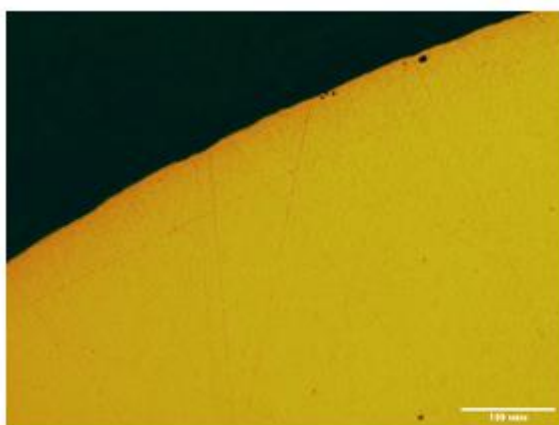


x5

б

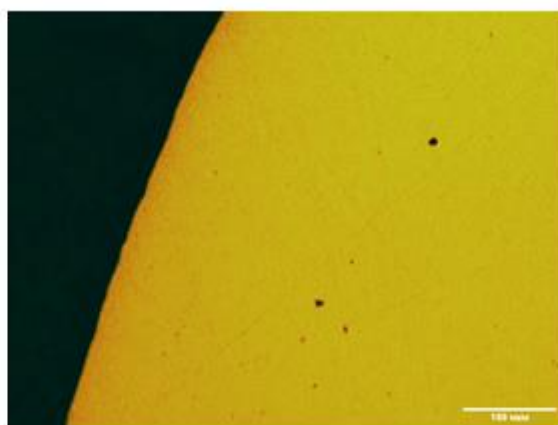
а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.17 - Мікроструктури пресовки із ВК8 після спікання в водні при збільшенні в 5 разів



x10

а



x10

б

а – центр пресовки; б – край пресовки

Рисунок 2.18 - Мікроструктури пресовки із ВК8 після спікання в водні при збільшенні в 10 разів

утримується протягом певного часу для забезпечення повного відновлення оксидів і зв'язування частинок порошку. Після завершення процесу спікання зразки охолоджуються в атмосфері водню або інертного газу.

Переваги спікання в атмосфері водню включають зниження оксидних включень та поліпшення властивостей матеріалу за рахунок відновлювальної дії водню.

2.3.4 Спікання в середовищі суміші газів водню та азоту

Суміш водню та азоту використовується для спікання зразків, коли необхідно контролювати атмосферу з меншою відновлювальною здатністю порівняно з чистим воднем. Азот в суміші служить інертним газом, що знижує активність водню та запобігає надмірному відновленню, яке може призвести до небажаних змін у структурі матеріалу.

Процес спікання в атмосфері суміші водню та азоту включає завантаження зразків у піч з контрольованою атмосферою. Потім до печі подається суміш водню та азоту у необхідних пропорціях. Після цього зразки поступово нагріваються до температури спікання в атмосфері суміші газів. Температура утримується протягом певного часу для забезпечення необхідної дифузії та зв'язування частинок порошку. Після завершення процесу спікання зразки охолоджуються в атмосфері суміші газів або інертного газу.

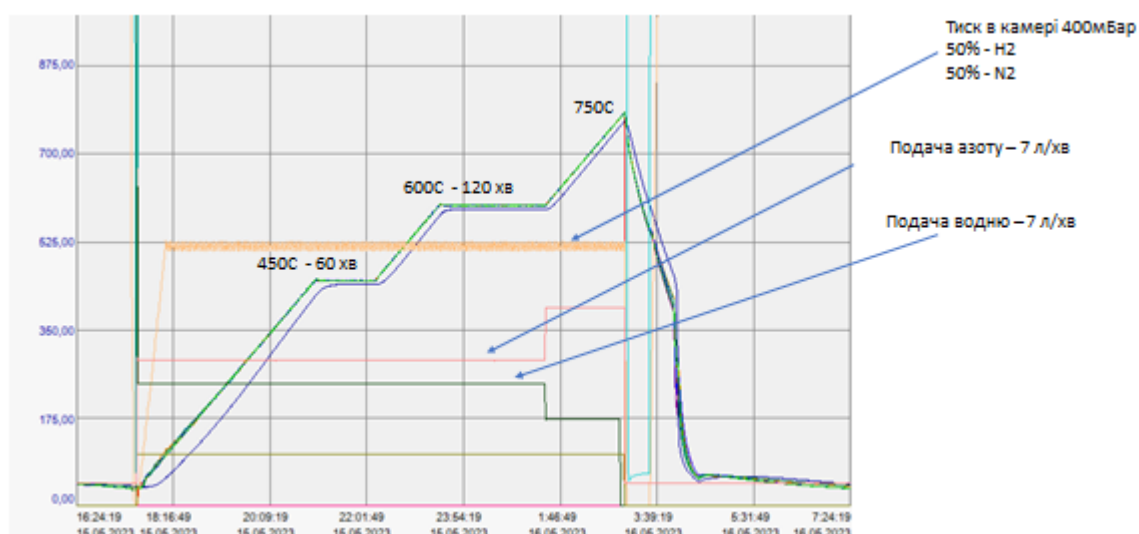


Рисунок 2.21 – Зміна температури та тиску суміші газів азоту та водню в робочій камері пічі під час спікання пресовок із сплаву ВК8

Переваги спікання в атмосфері суміші водню та азоту включають можливість тонкого налаштування відновлювальних умов та запобігання надмірному відновленню.

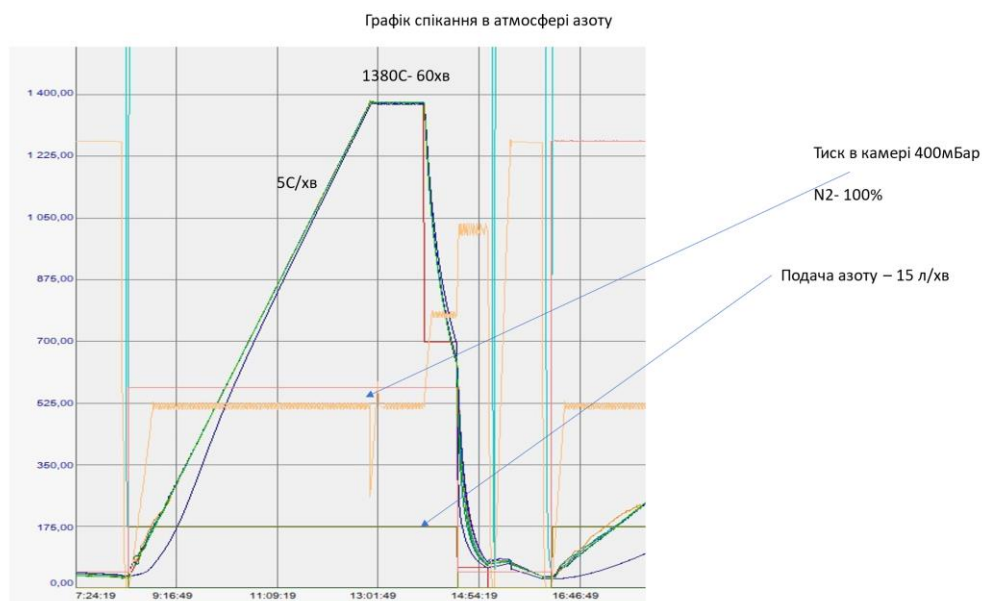


Рисунок 2.22 - Зміна температури та тиску газу азоту в робочій камері печі під час пікання сплаву ВК8 середовищі азоту

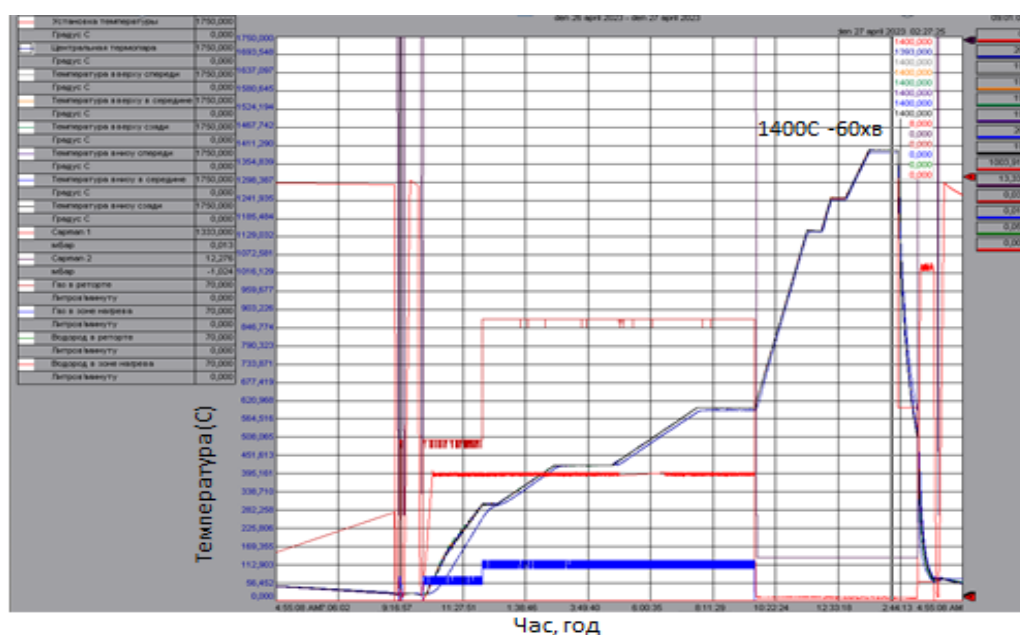


Рисунок 2.23 - Зміна температури спікання пересовок в середовищі азоту та водню

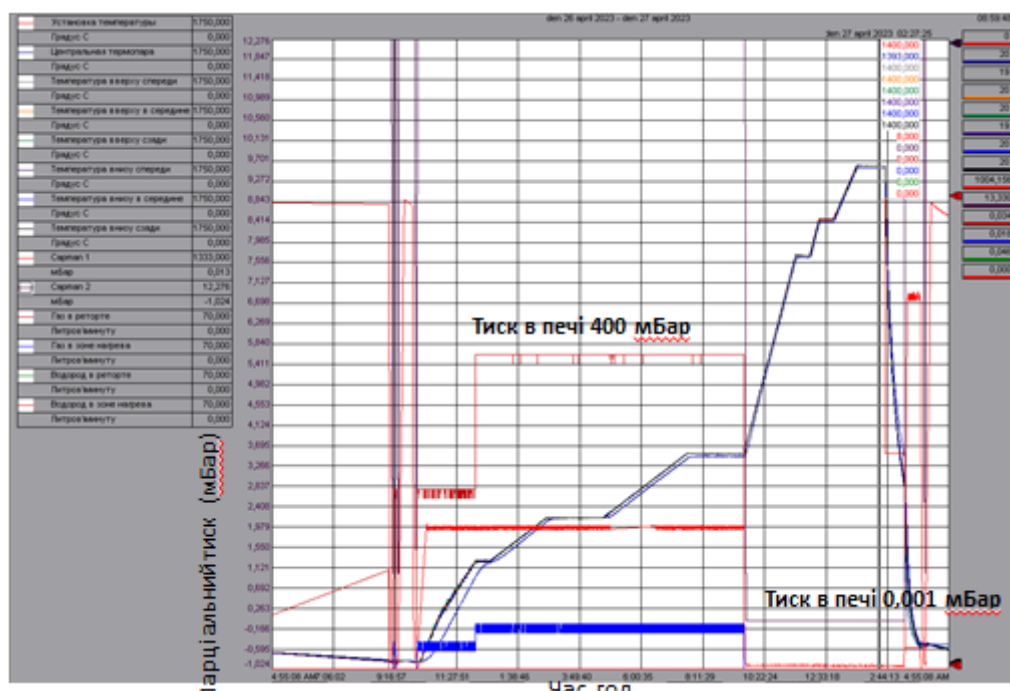


Рисунок 2.24 - Зміна температури спікання пресовок із сплаву ВК8 в середовищі азоту та водню

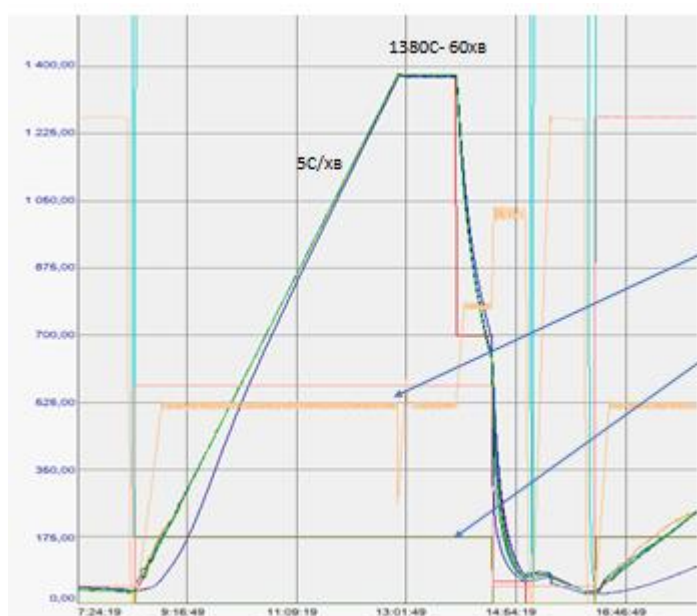


Рисунок 2.25 - Зміна температури та тиску суміші газів азоту та водню під час спікання пресовок із сплаву ВК8

2.3.5 Порівняння мікроструктури пресовок із твердого сплаву після спікання в різних умовах

Результати спікання у вакуумі, атмосфері водню та суміші водню з азотом можуть значно відрізнятися. Основні параметри, які слід враховувати при оцінці результатів, включають щільність, механічні властивості, наявність оксидних включень та однорідність матеріалу. Спікання у вакуумі зазвичай забезпечує найвищу чистоту матеріалу, тоді як спікання в атмосфері водню та суміші водню з азотом дозволяє краще контролювати відновлювальні умови і може бути економічно вигіднішим.

2.4 Дослідження мікроструктури та хімічного складу

Металографічна мікроскопія рисунок 2,1 , також відома як оптична мікроскопія, є наріжним методом у сфері аналізу матеріалів, включаючи дослідження сплавів ВК8. Її здатність надавати детальне розуміння мікроструктури матеріалів робить її незамінним інструментом для дослідників та інженерів. Використовуючи принципи світлової мікроскопії, металографічна мікроскопія дозволяє досліджувати метали, керамічні, полімерні та композитні матеріали з винятковою чіткістю та роздільною здатністю. В основі металографічної мікроскопії лежить взаємодія між світлом і речовиною..



Рисунок 2.26 – Оптичний металографічний мікроскоп

Коли світло проходить через прозорий або напівпрозорий матеріал, воно зазнає різних взаємодій, включаючи поглинання, відбиття, заломлення та розсіювання. На ці взаємодії впливають оптичні властивості матеріалу, такі як показник заломлення, коефіцієнт поглинання та поведінка розсіювання. Ретельно контролюючи освітлення та умови спостереження, металографічні мікроскопи можуть виявити складні деталі мікроструктури матеріалів.

Металографічні мікроскопи складаються з кількох ключових компонентів, які працюють у тандемі для створення високоякісних зображень мікроструктур матеріалу. Джерелом світла зазвичай служить галогенна лампа або світлодіод, які забезпечують освітлення зразка. Конденсор фокусує та спрямовує світло на зразок, забезпечуючи рівномірне освітлення. Лінза об'єктива збирає світло, що проходить через зразок або відбивається від нього, утворюючи збільшене зображення.

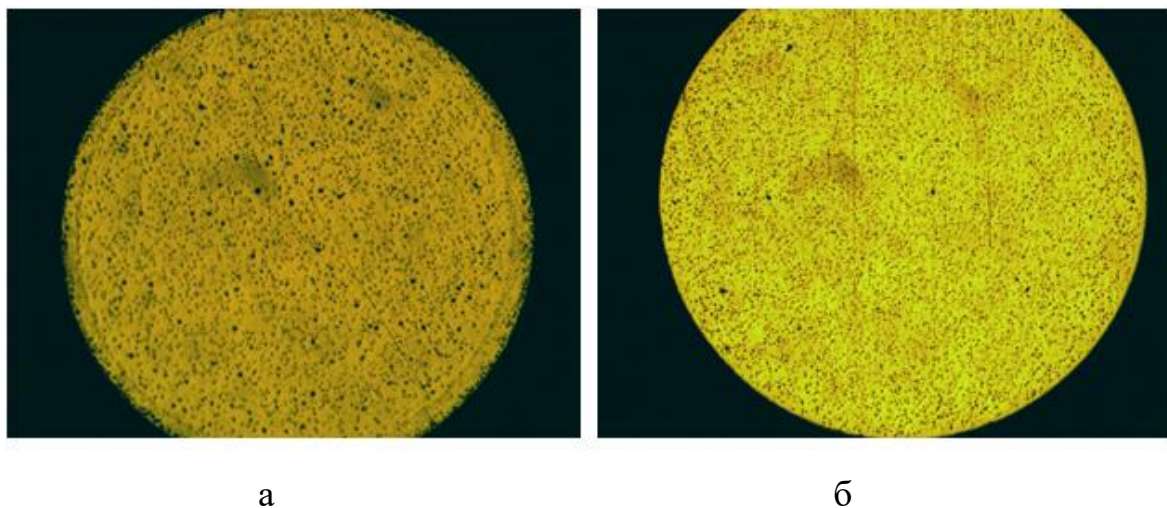
Окуляр додатково збільшує зображення, дозволяючи візуальне спостереження або захоплення зображення. Столик утримує зразок на місці та дозволяє точно позиціонувати та маніпулювати ним під час дослідження. Механізм фокусування дозволяє точно налаштувати фокальну площину, забезпечуючи чіткі зображення.

Металографічна мікроскопія знаходить широке застосування в різних галузях промисловості та наукових областях, зокрема для дослідження сплавів ВК8. У металургії її використовують для характеристики металевих сплавів, зварних швів, виливків і термічно оброблених матеріалів для оцінки розміру зерен, розподілу фаз і морфології дефектів. У матеріалознавстві аналізують кераміку, полімери та композити для вивчення мікроструктурних особливостей, таких як дисперсія частинок, морфологія фаз і міжфазний зв'язок. У контролі якості перевіряють поверхні матеріалу на наявність дефектів, тріщин, включень і оцінюють якість поверхні для забезпечення надійності та продуктивності продукту. В аналізі матеріалів досліджують руйнування і механізми деградації для виявлення основних причин і впровадження коригувальних заходів. У дослідженнях та розробках нових матеріалів, технологій виготовлення та параметрів обробки адаптують властивості матеріалів для конкретних застосувань.

Металографічна мікроскопія зазнала значних успіхів завдяки інноваціям в оптичних приладах, технології обробки зображень і програмному забезпеченні для аналізу зображень. Ці досягнення призвели до покращення роздільної здатності, контрастності, глибини різкості та автоматизації, покращивши можливості та ефективність аналізу матеріалу.

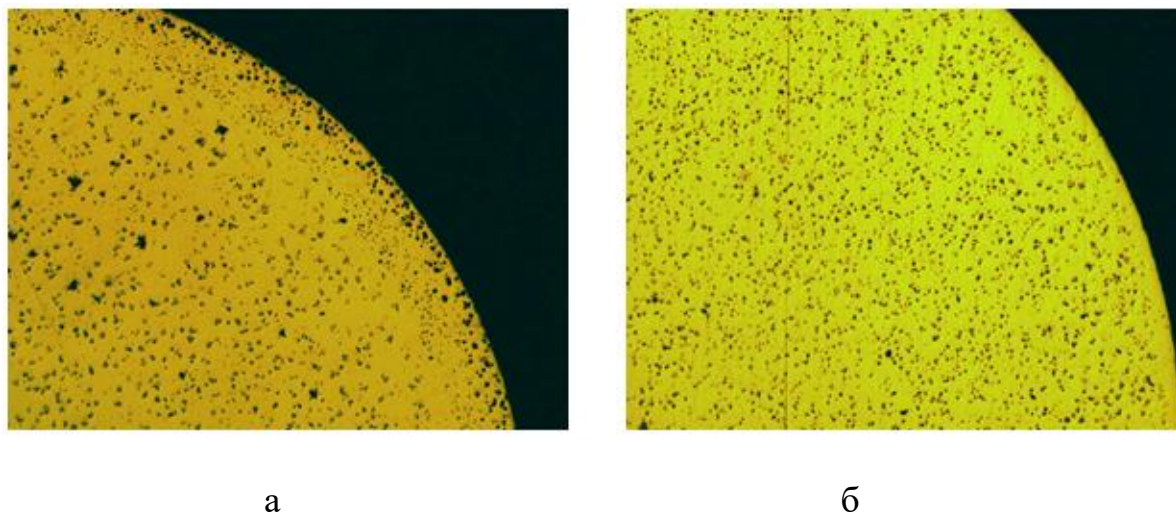
Для вивчення структури сплавів ВК8 використовують методи мікроскопії та рентгенівського спектрального аналізу. Один із таких методів — растровий електронний мікроскоп рисунок 2.2 (РЕМ-106И), який дозволяє отримати детальні зображення структури матеріалу з

високою роздільною здатністю. У процесі підготовки зразків для дослідження їх структури застосовують мікрошліфування. Ця технологія включає вирівнювання поверхні грубим шліфуванням, тонке шліфування та полірування. Після цього мікрошліфи промивають водою та висушують теплим повітрям або за допомогою фільтрувального паперу.



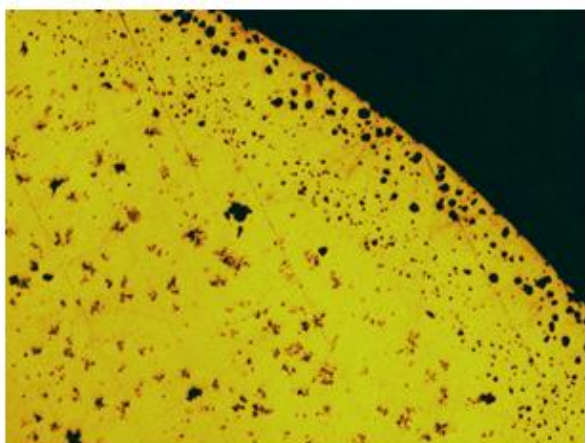
а – у вакуумі; б – в середовищі азоту з воднем

Рисунок 2.27 – Мікроструктури пресовок із ВК8 після спікання при збільшенні в 1 разів

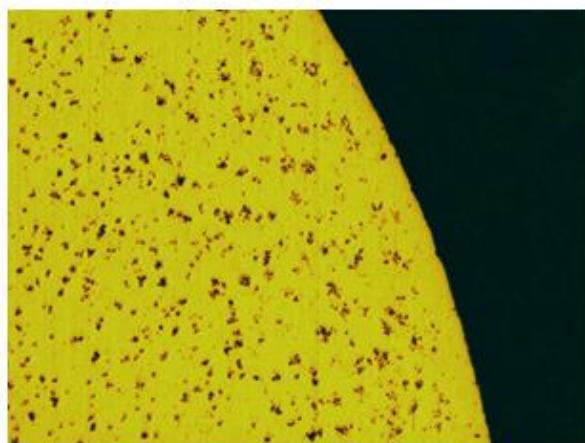


а – у вакуумі; б – в середовищі азоту з воднем

Рисунок 2.28 – Мікроструктури пресовок із ВК8 після спікання при збільшенні в 2,5 разів



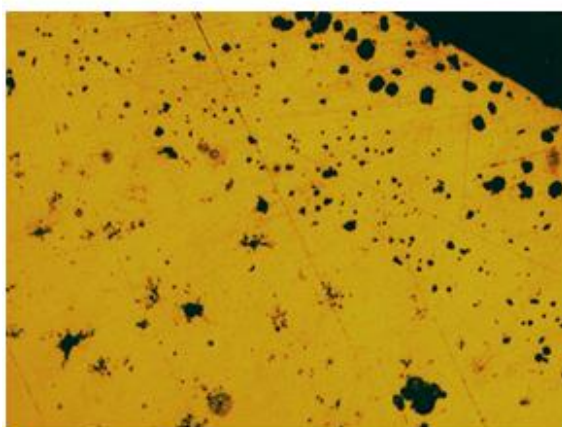
а



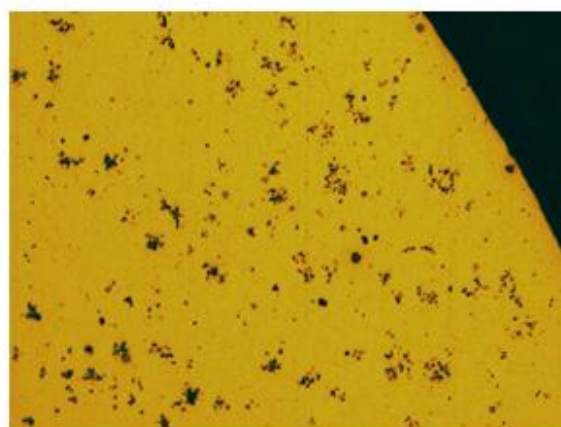
б

а – у вакуумі; б – в середовищі азоту з воднем

Рисунок 2.29 – Мікроструктури пресовок із ВК8 після спікання при збільшенні в 5 разів



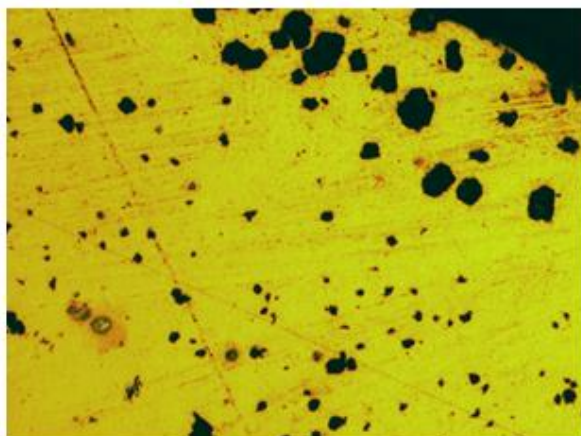
а



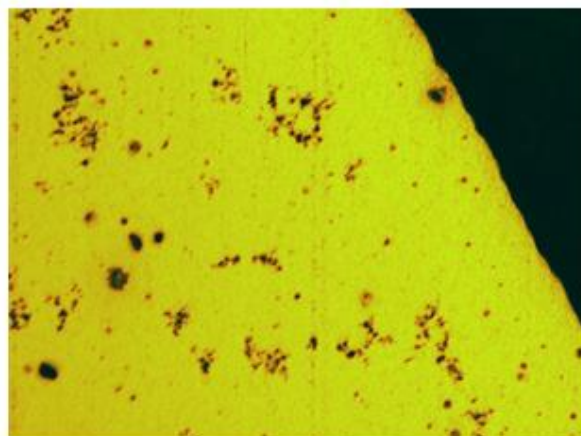
б

а – у вакуумі; б – в середовищі азоту з воднем

Рисунок 2.30 – Мікроструктури пресовок із ВК8 після спікання при збільшенні в 10 разів



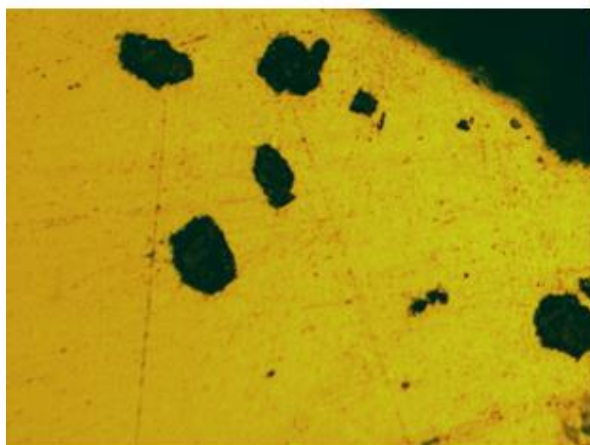
а



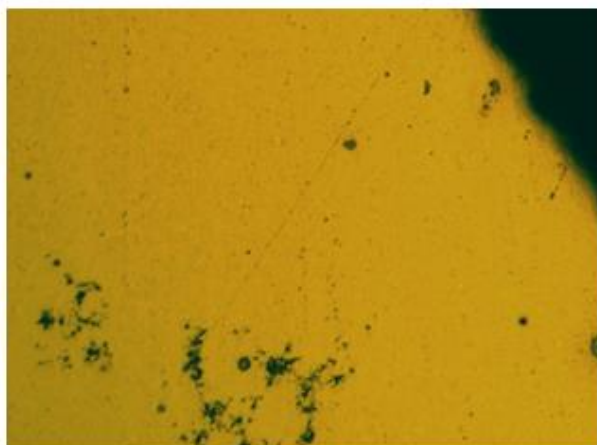
б

а – у вакуумі; б – в середовищі азоту з воднем

Рисунок 2.31 – Мікроструктури пресовок із ВК8 після спікання при збільшенні в 20 разів



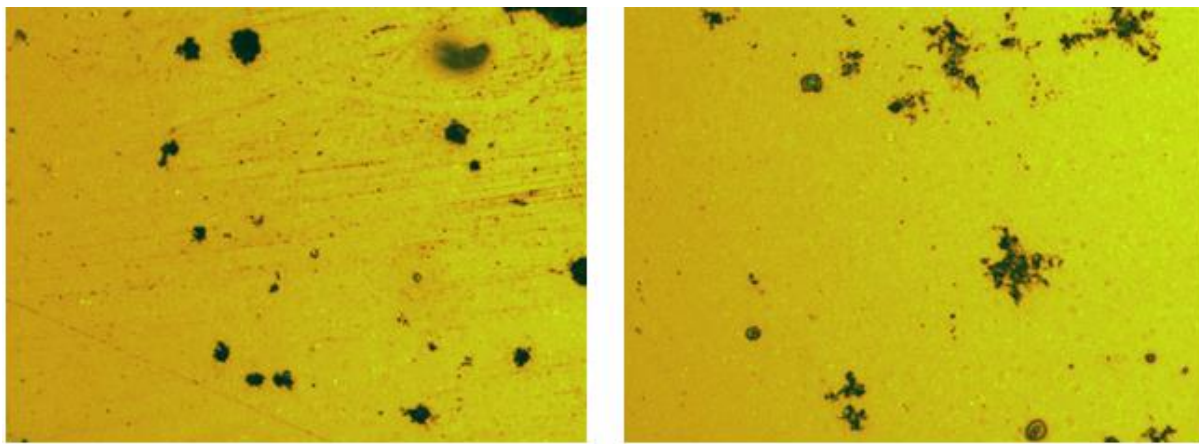
а



б

а – у вакуумі; б – в середовищі азоту з воднем

Рисунок 2.32 – Мікроструктури пресовок із ВК8 після спікання при збільшенні в 50 разів



а – у вакуумі; б – в середовищі азоту з воднем

Рисунок 2.33 – Мікроструктури пресовок із ВК8 після спікання при збільшенні в 50 разів

Растровий електронний мікроскоп працює у високовакуумній камері, де створюється низький тиск (10^{-3} Па). З використанням спеціальних електромагнітних лінз електрони, вибиті з катоду та прискорені високою напругою між катодом і анодом, фокусуються на зразку. Взаємодія первинного випромінювання (електронів) зі зразком призводить до утворення різних типів сигналів. Для отримання зображення використовуються вторинні електрони та відбиті електрони. Зображення з вторинних електронів дозволяють оцінити топографію поверхні зразка. Для аналізу хімічного складу використовують рентгенівські спектрометри з енергетичним або хвильовим дисперсивним детектором. Ці методи дозволяють провести аналіз хімічного складу матеріалу в мікрометричному масштабі.

Застосування растрового електронного мікроскопа дозволяє отримати докладні візуальні та хімічні дані про структуру та склад матеріалу. Це важливий крок у розумінні взаємозв'язку між мікроструктурою, хімічним складом та властивостями сплаву ВК8.



Рисунок 2.34 – Растровий електронний мікроскоп РЕМ 104

2.5 Рентгеноструктурний аналіз

Для сплаву ВК8 рентгеноструктурний аналіз є одним з основних методів дослідження кристалічних структур і використовується для отримання детальної інформації про атомну або молекулярну структуру матеріалу. У Центрі рентгеноструктурного аналізу Rigaku застосовується методика рентгенівської дифракції, заснована на принципі Вульфа-Брегга.

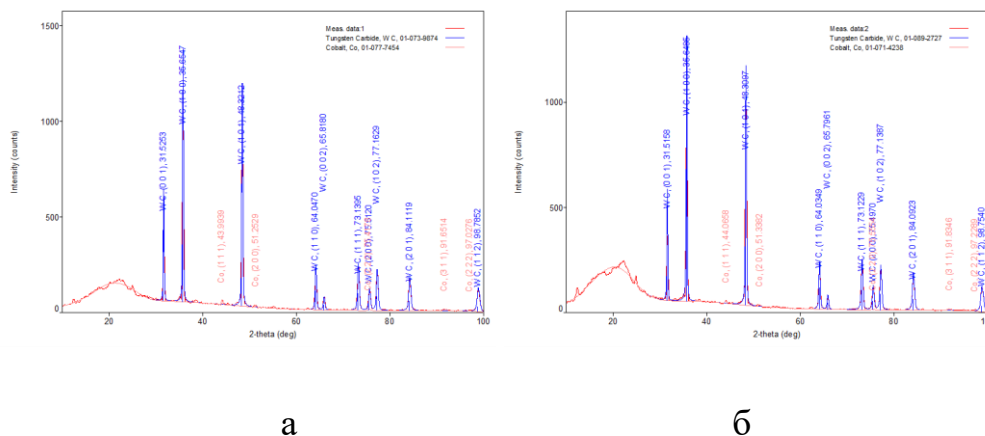
Принцип Вульфа-Брегга стверджує, що коли монохроматичне рентгенівське випромінювання падає на кристал, воно взаємодіє з атомами у кристалі і відбивається (дифрагується). Цей процес дифракції відбувається за певних умов, коли кут падіння рентгенівських променів на площину кристалу дорівнює куту дифракції. Для сплаву ВК8 ця методика дозволяє отримати детальні дані про його кристалічну структуру, що є важливим для розуміння властивостей і поведінки матеріалу в різних умовах.

У дифрактометрі Ultima IV, використаному в Центрі рентгеноструктурного аналізу Rigaku, рентгенівське випромінювання генерується рентгенівським генератором з використанням мідного анода. Це випромінювання фокусується на зразок за допомогою оптики та падає на нього під певним кутом. При взаємодії з атомами у кристалі сплаву ВК8, рентгенівське випромінювання дифрагується і розсіюється під певними кутами.

Сцинтиляційний лічильник вимірює інтенсивність розсіяного випромінювання при різних кутах дифракції, і з цих даних можна отримати дифрактограму. Дифрактограма представляє собою графік, який показує залежність інтенсивності від кута дифракції. Аналізуючи цю дифрактограму, можна визначити фазовий склад, структурні характеристики, параметри кристалічної решітки, дефекти кристалічної будови та інші важливі параметри матеріалу сплаву ВК8.

Операційна система дифрактометра Ultima IV підтримує різні програми та алгоритми для обробки дифрактограм та аналізу отриманих даних. Вона дозволяє проводити якісний та кількісний фазовий аналіз, аналіз кристалічності, аналіз Рітвельду, визначення залишкового аустеніту, залишкових напружень, побудову прямих та обернених полюсних фігур, функцію розподілу орієнтувань та інші методики для отримання повної інформації про структуру досліджуваного сплаву ВК8.

Дослідження тета-фази у виробках із твердих сплавів ВК8 є критичним аспектом характеристики матеріалів через її вплив на властивості та продуктивність сплаву. Тета-фаза, також відома як θ -фаза, — це окрема кристалічна структура, яка утворюється всередині матриці сплаву за певних умов обробки або складу сплаву.



а - зразок спечений в азоті; б - зразок спечений в вакуумі

Рисунок 2.35 – Дифрактограма отримана від поверхні пресовк із твердого сплаву ВК8 спеченого

Щоб дослідити наявність і характеристики тета-фази у сплаві ВК8, можна використовувати різні аналітичні методи, включаючи методи мікроскопії, дифракції та спектроскопії. Мікроскопічний аналіз, такий як скануюча електронна мікроскопія або трансмісійна електронна мікроскопія, дозволяє безпосередньо спостерігати мікроструктурні особливості, включаючи морфологію та розподіл тета-фази в матриці сплаву.

Методи дифракції, такі як рентгенівська дифракція, дають інформацію про кристалографічну структуру та фазовий склад сплаву. Аналізуючи дифракційні картини, дослідники можуть визначити наявність тета-фази та визначити її концентрацію відносно інших фаз, присутніх у сплаві.

Спектроскопічні методи дозволяють зрозуміти хімічний склад тета-фази та навколишньої її матриці. Ці методи можуть допомогти з'ясувати елементний склад, стехіометрію та характеристики зв'язку тета-фази, допомагаючи зрозуміти механізми її формування та стабільність.

Вивчення тета-фази має важливе значення для оптимізації параметрів обробки та складу сплавів для контролю її утворення та розподілу в продуктах із твердих сплавів ВК8. Розуміння ролі тета-фази у

впливі на механічні, термічні та хімічні властивості дає змогу розробляти спеціалізовані склади сплавів для конкретних застосувань, таких як ріжучі інструменти, зносостійкі компоненти та застосування при високих температурах.

Підсумовуючи, детальне дослідження тета-фази у виробках із твердого сплаву ВК8 дає цінну інформацію про мікроструктуру, фазовий склад і властивості сплаву. Застосовуючи комбінацію передових аналітичних методів, дослідники можуть поглибити своє розуміння поведінки тета-фази та її впливу на продуктивність виробів із твердих сплавів ВК8.



Рисунок 2.36 - Дифрактометр Ultima IV

Дослідження структури сплаву ВК8 вимагає застосування методів мікроскопії та рентгенівського спектрального аналізу, зокрема скануючої електронної мікроскопії та рентгеноструктурного аналізу. Ці методи надають можливість отримати детальну інформацію про мікроструктуру

та хімічний склад матеріалу, що сприяє розумінню його властивостей та взаємозв'язків між структурою та властивостями.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Аналіз зміни тиску залишкових газів при спіканні пресовок із сплавів ВК20 та ВК8 у вакуумі

Під час спікання у вакуумі пресовок із сплаву ВК20 тиск залишкових газів, що виділяються в результаті деструкції 2,5 мас.% зв'язки в робочому об'ємі печі складав 0,001 мбар. і практично не змінювався по мірі збільшення температури від 292 °С до температури ізотермічної витримки 1400 °С протягом 60 хв. (рис. 2.4). Процес нагрівання від кімнатної температури до температури спікання, як показано на рис.2.4 починається після відкачування камери печі до 0,001 мбар. Підвищення температури до 250 °С спричиняє ріст тиску залишкових газів, що свідчить про початок процесу випаровування етиленгліколі та газоподібних продуктів його деструкції. При цьому видаляються також адсорбовані на поверхні частинок порошку домішки кисню, азоту, оксиду та діоксиду вуглецю, які завжди присутні в дисперсних матеріалах. Саме одночасне видалення адсорбованих домішок та виділення газоподібних продуктів випаровування та деструкції може призводити до збільшення залишкового тиску і, відповідно, зменшення глибини вакууму в робочому просторі печі. Згідно з графіком зміни тиску і температури процес виділення супроводжується зменшенням температури печі, зростанням тиску залишкових газів і після витримки тривалістю 1 година тиск в робочій камері печі встановлюється на рівні 0,001 мБар і залишається постійним до кінця ізотермічної витримки. Аналогічна закономірність зміни тиску залишкових газів в робочій камері печі в цілому спостерігається під час спікання пресовок із сплаву ВК8 (рис.2.5). відмінністю є тільки те, що на кривій зміни тиску спостерігається більше виділення газів із пресовки в робочий об'єм печі за температур 450 °С та 650 °С (рис.2.7, 2.8). Температура 450 °С для

органічних зв'язок являється характерною щодо початку процесу окислення і вигорання обумовленою взаємодією адсорбованих молекул кисню з атомами вуглецю органічної зв'язки. Аналогічно збільшення температури до 650 °С супроводжується ростом тиску пов'язану з виділенням хемосорбованого кисню та відновленням оксидів, що в карбідах перехідних металів завжди присутні в прошарках 4-10 нм. Тому під час нагрівання за температур 450 °С робилася витримка протягом 60 хв. Оскільки хемсорбованих домішок, як правило менше по кількості в порівнянні з адсорбованими, то витримка за температури 650 °С була в два рази меншою та складала 30 хв. В подальшому нагрівання пресовок із сплаву ВК8 відбувалось до температури 1400 °С з постійною швидкістю (рис.2.6, 2.7, 2.8)

3.2 Металографічний аналіз мікроструктури та фазового складу пресовок із сплавів ВК20 та ВК8

Для контролю впливу глибини вакууму на формування структури та фазового складу пресовок із твердих сплавів виготовлених за технологією інжекційного формування готували шліфи та піддавали їх металографічному аналізу. Мікроструктура спечених пресовок із сплаву ВК20 наведена на рис.2.9-2.14. Встановлено, що пресовки ущільнюються до практично без пористого стану. На мікроструктурах спостерігаються включення сферичної форми, та пори в кількості 1-3%, що є свідченням спікання за наявності рідинної фази і виділенням в пори деякої кількості адсорбованих газів та продуктів деструкції зв'язки. Окрім того мікроструктура сплаву представляє собою матрицю із металевого кобальту сірого кольору, більш темного кольору і світлих агрегованих в крупні полікристалічні скупчення зерен карбиду вольфраму. Більш світлі за кольором частинки конгломерованих включень вірогідно представляють собою потрійну $(\text{CoW})_3\text{C}$, так звану крихку і маломіцну ета фазу, яка витравлюється хімічним способом. Мікроструктура і величина та

кількість включень практично однакові в центрі і поблизу поверхні пресовки. Усадка пресовок складає 38-39% (табл.2.1). Менші значення усадки 29-27% для пресовок із ВК8 обумовлено меншою кількістю кобальту в сплаві і відповідно меншою кількістю рідинної фази під час спікання. Зменшення кількості рідинної фази уповільнює процес ущільнення пресовок за механізмом перегрупування. Темні включення можуть бути областями виділення вільного вуглецю. Що утворюється як внаслідок розпаду карбіду вольфраму так і в результаті деструкції зв'язки.

3.3 Вплив газового середовища на процес відновлення оксидів та мікроструктуру пресовок із сплаву ВК8

Оскільки по поверхні частинок порошку карбіду вольфраму і кобальту завжди формується прошарок із хемсорбованого кисню, тобто формується прошарок оксиду вольфраму, то для спікання застосовували водень як середовище в якому за температур більше 600 °С відбувається відновлення оксидів до вольфраму. Процеси відновлення досить докладно розглянуті в роботах Меєрсона та Зейлікмана. Доведено, що відновлення може відбуватися і у вакуумі, тільки на відновлювання витрачається вуглець, що міститься у складі карбіду вольфраму і дефіцит вуглецю спричиняє утворення крихкої ета фази. Окрім того, водень досить дорогий газ і це призводить до збільшення собівартості продукції підприємства. Том спочатку для спікання застосовували газ азот. Режим нагрівання представлений на рис.2.17. Швидкість подачі газу азоту складала 15 л/хв. Тиск в робочій камері печі підтримувався за такої швидкості подачі чистого азоту 400 мБар, що на 6 порядків більше ніж під час спікання у вакуумі. Оскільки видалення зв'язки і відновлення оксидів супроводжується утворенням газів, то передбачалось, що прокачування газу азоту сприятиме збільшенню швидкості видалення продуктів деструкції зв'язки та зменшить кількість вільного вуглецю в твердому сплаві. Контроль кількості вільного вуглецю відбувався металографічним

способом . Готувались шліфи із спечених у вакуумі та в середовищі азоту пресовок із сплаву ВК8. Результати мікроскопічного аналізу структури наведені на рисунках 2.15 – 2.20.

3.4 Вплив середовища спікання на властивості твердого сплаву ВК8, сформованого за технологією інжекційного формування

Мікроскопічний аналіз структури сплаву ВК8 спеченого в середовищі азоту та вакууму наведені на рис.2.26-2.32. Характерним є те, що структура сплаву мало змінюється від середовища в якому спікалися пресовки із сплаву ВК8 сформовані за технологією інжекційного формування і представляє собою матрицю із сплаву ВК8 (суміші зерен карбиду вольфраму зв'язаних кобальтом) та включень чорного кольору, які відповідають включенням вільного графіту за стандартами на тверді сплави. У вакуумі спостерігається формування на поверхні прошарку, в якому кількість і розмір включень графіту змінюється від центральної частини до вільної поверхні спеченої пресовки (рис.2.26 а) Найбільш добре видно різницю в розмірах та неоднорідності розподілу включень графіту в прошарку по мірі зростання величини збільшення оптичного зображення мікроструктури (рис.2.27а, 2.28 а, 2,29а, 2.39а, 2.31а) При збільшеннях в п'ять разів (рис.2.28а) виявляється дві характерних ділянки в прошарку, що прилягає до циліндричної поверхні пресовки. Майже однаковий по товщині зовнішній до поверхні прошарок має крупні включення графіту. З боку ж об'єму пресовки формується прошарок із більш дрібних включень графіту рис.2.28.. Включення в обох характерних ділянках мають округлу форму (рис.2.29а-2.31 а). разом з тим при вищих збільшеннях проглядається деяке огранення включень графіту рис.2-31а). Така зміна концентрації включень вуглецю свідчить про видалення продуктів деструкції з надлишковим вмістом вуглецю в порівнянні з концентрацією його в твердому сплаві. Також про видалення у вигляді

атомів вуглецю свідчить і мікроструктура та морфологія включень графіту у вигляді зростків кристалів правильної форми (рис.2.28а, 2.29а). навколо включень вуглецю правильної форми спостерігається зміна кольору матричної фази із твердого сплаву, що свідчить про хімічну взаємодію під час спікання та охолодження пресовок із твердого сплаву та формування перехідних областей із відмінною в порівнянні зі стандартним твердим сплавом хімічною неоднорідністю. Мікроструктура зразків в спечених в азоті відрізняється тим, що відсутня відмінність в формі і розмірах включень вуглецю по поперечному перетину спеченої пресовки (рис.2.26б-2.31б). Окрім того, на поверхні пресовки формується прошарок в якому практично відсутні включення вуглецю, що свідчить про більш інтенсивне відведення продуктів деструкції зв'язки та відновлення оксидів, десорбованих газів, під час омивання газом поверхні пресовки. Більш дрібні включення в об'ємі пресовки можуть бути пов'язані з більшим тиском газу в об'ємі пор за рахунок заповнення їх азотом. В результаті зменшується парціальний тиск продуктів деструкції, тобто концентрація вуглецю в газоподібному стані, що зменшує швидкість доставки вуглецю до поверхні росту кристалів вуглецю із газової фази. Такий процес дифузії в газовому середовищі азоту уповільнює швидкість росту включень і зменшує їх розміри.

Включення вуглецю різко зменшують механічні властивості твердого сплаву (навести твердість із презентацій) . Тому в подальшому вивчали вплив водню на процес формування фазового складу. Структури та властивостей твердого сплаву ВК8. Оскільки використання водню у виробничих технологічних процесах спікання є дорогим і супроводжується небезпекою вибуху у випадку формування гримучої суміші з киснем повітря, то проводили експерименти по впливу концентрації водню в суміші газу азоту з воднем. Тиск суміші газів підтримували на тому ж рівні що тиск газу азоту під час спікання в

середовищі чистого азоту (рис.2.24). Причому застосовували попереднє спікання до температури 750 °С та в два рази довшою витримкою за температури 600 °С., з метою видалення залишкового вуглецю внаслідок протікання реакції парів вуглецю утворених в результаті деструкції зв'язки та водню. По суті відбувається синтез газоподібних вуглеводнів, які видаляються та виносять із пресовки твердого сплаву надлишок вуглецю. В якості газового середовища використовували суміш газів азоту та водню, які подавали зі швидкістю 7 л/хв. Після змішування суміш газів попадала в робоче середовище печі для спікання. Як і у випадку спікання в середовищі чистого азоту підтримували тиск газу в робочій камері печі 400 мБар. Після охолодження до кімнатної температури другий етап спікання проводився за режимом нагрівання в середовищі суміші газів азоту та водню. Швидкість нагрівання до температури ізотермічної витримки складала 5 град/хв. Після спікання та приготування шліфів металографічними дослідженнями мікроструктури показано, що включення вуглецю в складі твердосплавних спечених пресовок відсутні (рис. 2.17-2.21). Відсутня неоднорідність хімічного складу та структури по поперечному перетину пресовки. Фазовий склад та мікротвердість відповідають значенням стандартного ВК8, що свідчить про відпрацювання технології виготовлення твердосплавних виробів, сформованих методом інжекційного формування.

3.5 Рентгенофазовий аналіз фазового складу твердого сплаву ВК8

Для ідентифікації фазового складу проводили кількісний рентгенофазовий аналіз, результати якого наведені на (рис.2.35 а.) Нажаль, навіть включень графіту виявлено не було, що може бути пов'язано з великою швидкістю запису дифрактограми. Хоча піки на малих кутах відбиття можуть бути пов'язані з графітом в твердих сплавах, який відрізняється за традиційні тим, що утворюється із газової фази і може

мати монокристалічні включення, інтенсивність яких значно менша ніж полікристалічних в традиційних твердих сплавах. Слід також зазначити, що аналогічний вигляд дифрактограми з аналогічними фазовим складом виявлено і на зразках спечених в азоті (рис.2.35б).

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дисципліна охорони праці є необхідною частиною організації праці та виробництва взагалі. Основною метою охорони праці є забезпечення створення та збереження умов праці, що відповідають вимогам безпеки для працівників, а також забезпечення якості робочого процесу та безпеки життя персоналу, шляхом контролю небезпечних факторів, що можуть впливати на них.

У даному розділі проводиться аналіз впливу небезпечних факторів, що виникають під час роботи з сумішами порошків. Тому під час проведення експерименту обов'язково дотримуватись вимог та правил безпеки, оскільки проведення експерименту вносить багатогранні ризики. На кожному етапі експерименту існують окремі фактори ризику, такі як подразнення слизових оболонок носа та горла, захворювання легеневих тканин, можливість ураження електричним струмом у випадку відсутності заземлення при роботі з печами, можливість опіків шкіри при контакті зі спеченими матеріалами та інші.

На даний час діє наказ від 28.12.2017 № 2072 Про затвердження Вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками [8].

Метою розділу є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які існують під час виготовлення зразків, видалення пластифікатора та спікання, а також розробка заходів і засобів для їх усунення.

4.1 Безпека технологічних процесів

У цьому дослідженні використовувалися кілька ключових процесів, які несуть у собі певні ризики. По-перше, це лиття сумішей порошків, яке

вимагає певної обережності через високі температури. Важливо мати на увазі ризик опіків і використовувати відповідний захисний одяг.

Другий процес - видалення пластифікатора за допомогою азотної кислоти. Це потенційно небезпечний процес, оскільки кислота може викликати серйозні ушкодження шкіри та респіраторних шляхів. Тут також важливо використовувати захисне обладнання для запобігання контакту з кислотою.

Нарешті, процес спікання, який вимагає особливої уваги до безпеки. Перед початком цього процесу необхідно перевірити справність обладнання і вжити заходів для захисту від потенційних небезпек, таких як ураження електричним струмом та теплові удари.

4.2 Вимоги до виробничих приміщень

Експеримент проводився в 9-му корпусі в лабораторії №22.

У лабораторії 022-9 використовується струм напругою 220 В для живлення сушильної шафи та струм напругою 380 В для живлення установок печей для спікання.

Параметри лабораторії наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри науково-дослідницької лабораторії №22

Довжина, м	9
Ширина, м	6
Висота, м	4,5
Площа, м. кв.	54
Об'єм, м. куб.	243

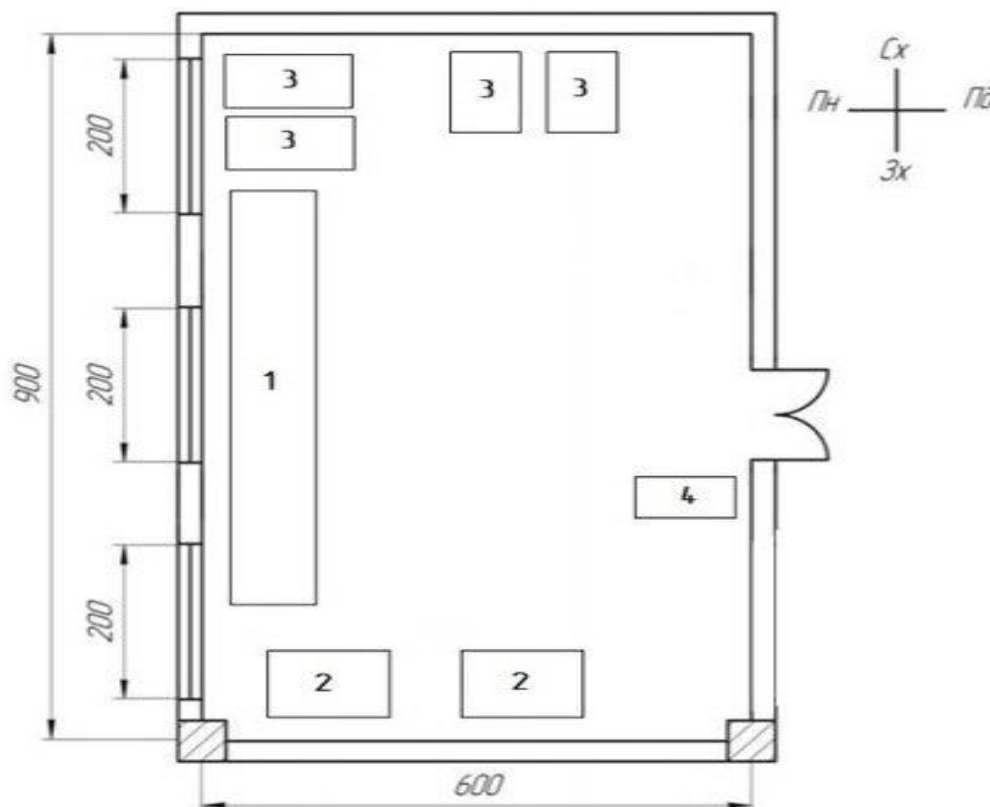
Вимоги до будівель в яких розміщуються виробничі приміщення вимагають 4,5 м² та 15 м³ простору на кожного робітника, за висоти приміщення 3,2 м [9].

Площа даного приміщення складає $S = 9 \cdot 6 = 54 \text{ м}^2$. Об'єм даного приміщення складає $V = 9 \cdot 6 \cdot 4,5 = 243 \text{ м}^3$. Під час досліджень в

лабораторії працює 4 чоловіки, звідки отримуємо, що площа на одного чоловіка складає $S_{\text{ч}} = 54/4 = 13,5 \text{ м}^2/\text{чол.}$ Об'єм на одного чоловіка складає $V_{\text{ч}} = 243/4 = 60,75 \text{ м}^3/\text{чол.}$

Приміщення за геометричними параметрами відповідає основним вимогам до будівель виробничого призначення.

План-схему лабораторії представлено на рисунку 4.1.



1 – робочий стіл; 2 – гідравлічний прес; 3 – піч спікання; 4 – сушильна шафа

Рисунок 4.1 – План-схема дослідної лабораторії

Можливі випадки ураження електричним струмом у даній лабораторії включають у себе ураження під час пошкодження ізоляції і заземлення печей та електричного обладнання або пошкодження розетки.

У разі потрапляння людини під дію струму може відбутися прямий та непрямий дотик, що призводить до таких травм:

- а) термічної дії, коли тканини нагріваються, спричиняючи опіки;
- б) електролітичного впливу, що призводить до розкладу органічних рідин, включаючи кров, змінюючи їх властивості;
- в) біологічної дії, яка подразнює та збурює живі тканини організму, порушуючи внутрішні процеси [10].

Струмопровідні частини електроустановки недоступні для випадкового прямого дотику, але відкриті і сторонні провідні частини безпечні як за нормальних умов, так і за умов одиничного пошкодження.

Основна ізоляція, яка покриває струмопровідні частини, повинна витримувати різні впливи, а усунення її має бути можливим лише шляхом руйнування.

Категорія важкості виконуваних робіт може бути визначена як Легка, 1б, яка включає легкі фізичні роботи, що супроводжуються фізичною напругою і виконуються у сидячому, стоячому або ходьбовому положенні [8].

Мікроклімат приміщення також є важливим аспектом. При аналізі середньодобових температур виявлено, що у теплий період року температура становить $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ та вище, а у холодний період року вона не перевищує $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У разі недостатньої температури у приміщенні рекомендується використовувати додаткове опалення або обігрівачі [11].

Відповідно до класифікації приміщень за вибухо- та пожежною небезпекою, лабораторія відноситься до категорії Г, де застосовуються негорючі речовини та матеріали у гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла та іскор. У такому середовищі пожежа може виникнути через:

- а) несправний електродвигун у форвакуумному насосі, що може призвести до короткого замикання;

б) потрапляння розплавленого матеріалу на поверхню з температурою запалювання нижчою за температуру розплаву;

в) пошкодження обшивки печі, що може призвести до виникнення відкритого полум'я у приміщенні.

Для попередження таких ситуацій важливо регулярно перевіряти обладнання, що використовується під час експериментів, дотримуватися правил пожежної безпеки та виконувати роботи у відповідності з встановленими процедурами.

У лабораторії встановлено протипожежну систему ИП-105.1, яка автоматично реагує на підвищену температуру ($70 \pm 5^\circ\text{C}$). Датчики розташовані на стелі у кількості 4 штук. Також у коридорі розміщений пожежний кран з приєднаним пожежним рукавом. Для гасіння малих загорянь застосовується вогнегасник ОУ – 2.[12], [13], [14].

У лабораторії знаходяться сушильні шафи та печі для спікання, які є джерелами теплового (інфрачервоного) випромінювання. Нагрівальний елемент обох апаратів виступає джерелом електромагнітного випромінювання. Вплив інфрачервоного випромінювання на людину залежить від довжини хвилі, що впливає на глибину проникнення. Якщо людина знаходиться тривалий час під дією теплового випромінювання, то в її організмі починаються наступні зміни: підвищується обмін речовин, відбувається поляризація шкіри, зменшується число лейкоцитів, підвищується серцебиття та дихання, посилюється потовиділення. Також теплове випромінювання впливає на слезову оболонку очей та кришталик і може спричинити помутніння рогівки та інших офтальмологічних проблем. Допустима тривалість безперервного інфрачервоного опромінення людини для даної лабораторії складає 7-12 хв, після чого необхідно зробити невелику перерву на 10-15 хвилин. [15].

У лабораторії використовується суміщений тип освітлення – бокове природне та верхнє штучне. Бокове природне освітлення здійснюється

через три вікна, що орієнтовані на північ.

Нормативні вимоги до природного, штучного та комбінованого освітлення у цій лабораторії встановлені згідно з ДБН-В.2.5-28-2006[16]. Оскільки точність зорової роботи має високе значення для виконання роботи, освітленість повинна становити не менше 400 лк. Суміщене освітлення забезпечується з використанням природного та штучного світла, з коефіцієнтом природної освітленості на рівні 3,0%. Штучне освітлення, що складається з 6 люмінісцентних ламп, розташованих у два ряди на стелі, застосовується для підсвічування областей, які не отримують природного світла. Результати технічних операцій підтверджують відповідність всіх норм безпеки та законодавства. Обладнання обладнане захисними елементами, забезпечуючи безпеку працівників. Усі аспекти, такі як освітлення, мікроклімат, електро- та пожежна безпека, а також випромінення, перевірені та відповідають основним вимогам безпеки, не створюючи загрози для здоров'я працівників.

4.3 Вентиляція і її продуктивність

Вентиляція є важливим компонентом системи охорони праці на будь-якому виробничому об'єкті. Вона забезпечує постійний обмін повітря, що сприяє підтриманню комфортних умов праці, знижує концентрацію шкідливих речовин та запобігає розвитку професійних захворювань. В цьому підрозділі буде розглянуто принципи організації вентиляційних систем та проведено розрахунок їх продуктивності для конкретного виробничого приміщення.

Продуктивність вентиляційної системи розраховується за формулою:

$$L = n \times V$$

де: L — продуктивність вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$;

n — кратність повітрообміну, раз/год;

V — об'єм приміщення, м^3 .

Підставимо значення

$$L = 10 \times 243 = 2430 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для лабораторії (рис 4.2) з об'ємом 243 м^3 необхідна продуктивність вентиляційної системи становить $2430 \text{ м}^3/\text{год}$. Це забезпечить достатній повітрообмін для підтримання безпечних умов праці та ефективного видалення шкідливих речовин з повітря.

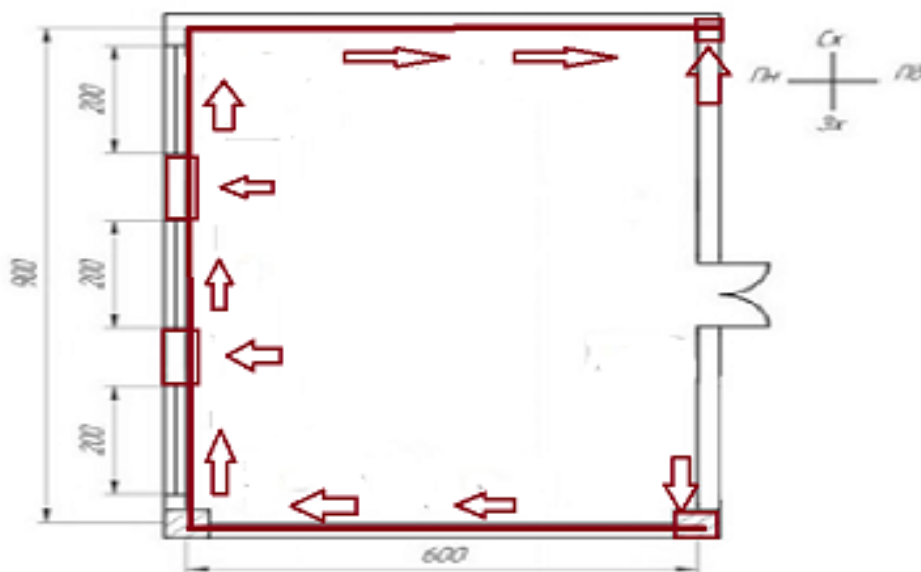


Рисунок 4.2 – Зображення плану вентиляції

4.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть виникнути під час виготовлення виробів з твердих сплавів типу ВК, належать: пожежа, вибухи (всередині обладнання, будівлях або в навколишньому середовищі), розрив або руйнування обладнання, що може призвести до ураження електричним струмом та інших небезпек.

Оскільки в роботі використовуються негорючі речовини та матеріали, основною загрозою є електричні установки. Для запобігання та ліквідації можливих пожеж у лабораторії встановлені вогнегасники типу ОУ-5 та пожежні стенди. Для евакуації персоналу під час пожежі передбачено план евакуації, який наведено на рисунку 4.3.

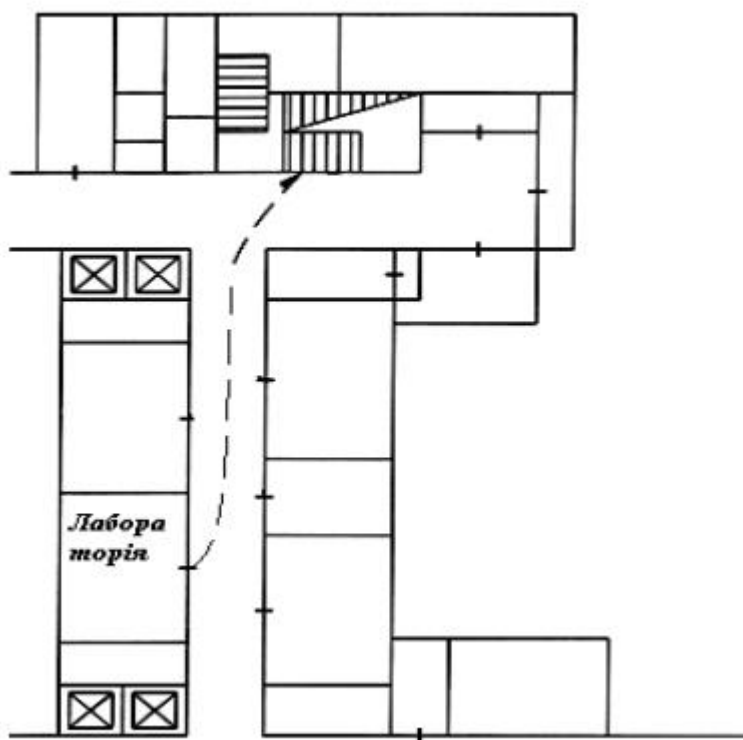


Рисунок 4.3 – План евакуації з приміщення

У разі виникнення пожежі на установці СВ-112 першочергово вимкніть рубильник, щоб відключити установку від електромережі. Після відключення живлення приступіть до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника, призначеного для таких випадків. Кожен працівник або службовець, який виявив пожежу або загоряння, зобов'язаний негайно повідомити про це пожежну охорону, зателефонувавши за номером 101. Викличте відповідальну за лабораторію людину для координації дій з ліквідації пожежі. Якщо хтось отримав травму, негайно зателефонуйте в швидку допомогу за номером 103. Надання першої допомоги включає штучне дихання, якщо це необхідно.

Якщо на корпус установки відбувся пробій електричної напруги, негайно відключіть рубильник, щоб припинити подачу електричного струму на установку. Якщо хтось потрапив під напругу, терміново відключіть установку від мережі. Покладіть постраждалого на дерев'яну підставку або настил, щоб запобігти подальшому контакту з електричним

струмом. Підкладіть під голову ватник або інший ізолюючий матеріал. Викличте лікаря за номером 103 для надання медичної допомоги постраждалому. Якщо постраждалий не дихає, надайте йому штучне дихання до прибуття медичних працівників.

Для забезпечення безпеки в лабораторії необхідно проводити регулярні інструктажі для працівників щодо дій у разі пожежі та інших надзвичайних ситуацій. Регулярно перевіряйте електричні установки на наявність пошкоджень та проводьте своєчасний ремонт. Переконайтеся, що в лабораторії є достатня кількість вогнегасників, які регулярно перевіряються та обслуговуються. Кожен працівник повинен бути ознайомлений з планом евакуації та вміти користуватися ним у разі потреби. Ці заходи допоможуть мінімізувати ризики та забезпечити безпеку персоналу під час роботи з твердими сплавами та іншими матеріалами.

4.5 Висновки до розділу

Після проведення ретельного аналізу усіх технічних процесів, які відбуваються під час експерименту, з урахуванням вимог безпеки та охорони праці, можна однозначно стверджувати, що всі технологічні дії відповідають встановленим законодавством нормам. Кожні пристрої мають вбудовані захисні механізми, такі як міцний сталевий корпус, ефективна система звукових сигналів та інші. Після аналізу різних факторів, притаманних лабораторії №22, зокрема освітлення, мікроклімат, електробезпека, протипожежний захист та випромінювання, можна з упевненістю заявити, що це приміщення відповідає всім основним вимогам безпеки та не призводить до загрози для здоров'я працівників.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено основи процесу спікання пресовок із твердого сплаву ВК8 сформованих за технологією інжекційного пресування, що представляють собою матрицю із полімерної звязки в кількості 35 об.% і суміші порошків карбіду вольфраму та кобальту.

2. Досліджено вплив середовища спікання на кількість вільного вуглецю та мікроструктуру твердого сплаву. Встановлено, що під час спікання в середовищі вакууму процес деструкції звязки, що починається за температур 450 °С, призводить до формування виділень із вуглецю ограненої форми.

3. Встановлено, що застосування в якості середовища азоту для спікання твердих сплавів ВК8 не забезпечує видалення продуктів деструкції зв'язки і призводить до формування включень вільного вуглецю по всьому поперечному перетину пресовки.

4. Експериментально, на прикладі сплаву ВК20 доведено, що спікання в атмосфері чистого водню не тільки забезпечує видалення надлишкового вуглецю, а і сприяє обезвуглецюванню та утворенню фази $(WCo)_3C$, яка негативно впливає на механічні властивості всіх марок твердих сплавів.

5. Вперше встановлено що для пресовок діаметром 7 мм спікання протягом 1 год. За температури ізотермічної витримки 1380 °С в середовищі суміші газів 50% азоту+50% водню забезпечує збереження фазового складу твердого сплаву ВК8, який відповідає стандартному.

CONCLUSIONS

1. The basics of the process of sintering VK8 hard alloy pressings formed by injection molding technology, which are a matrix of polymer bond in the amount of 35 vol.% and a mixture of tungsten carbide and cobalt powders, have been developed.

2. The influence of the sintering environment on the amount of free carbon and the microstructure of the hard alloy was studied. It was established that during sintering in a vacuum environment, the bond destruction process, which begins at a temperature of 450 °C, leads to the formation of carbon deposits of a faceted shape.

3. It was established that the use of nitrogen as a medium for sintering VK8 hard alloys does not ensure the removal of bond destruction products and leads to the formation of free carbon inclusions throughout the cross section of the pressing.

4. Experimentally, using the example of the VK20 alloy, it has been proven that sintering in a pure hydrogen atmosphere not only ensures the removal of excess carbon, but also contributes to decarburization and the formation of the $(WCo)_3C$ phase, which negatively affects the mechanical properties of all grades of hard alloys.

5. For the first time, it was established that for pressings with a diameter of 7 mm, sintering within 1 hour. At an isothermal holding temperature of 1380 °C in a gas mixture of 50% nitrogen + 50% hydrogen, it ensures the preservation of the phase composition of the hard alloy VK8, which corresponds to the standard.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Baojun Zhu. Powder injection molding of WC–8%Co tungsten cemented carbide [Electronic resource] / Baojun Zhu// Materials Letters/ – 2002–Vol. 7. –Mode of access:<https://www.researchgate.net/publication/240379358>
2. Mahani Yusoff. In Situ Tungsten Carbide Formation in Nanostructured Copper Matrix Composite Using Mechanical Alloying and Sintering [Electronic resource] / Mahani Yusoff// Materials Letters/ –2022–Vol. 13. –Mode of access:<https://link.springer.com/article/10.1007/s41779-020-00516-7>
3. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., С.Ю. Скаков А. Рентгеновский и электрооптический анализ . МИСиС, Москва (2002).
4. Громилов С.А., Кинеловский С.А. Рентгеновское исследование карбидов вольфрама, полученных в условиях кумулятивного взрыва . структура. хим., нет. 3, 486–493 (2003).
5. Самсонов Г.В., Жуков Г.Ш. Упадхая, В.С. Нешпор. Физические испытания и исследование карбидов. Киев: Наукова думка, 1974.
6. Панов В.С., Чувилін А.М., Фальковский В.А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них . МИСиС, Москва (2004).
7. R. W. Hertzberg, F. D. Lemkey, and J. A. Ford:Trans. TMS-AIME, 1vol. 233, p. 342.
8. Документація. Закон України «Про охорону праці». – [Чинний від 1992-10-14]. – 1992. – (Закони України).
9. Ткачук К. Н. Основи охорони праці [Текст] / К. Н. Ткачук. – К. : Основа, 2006. – 448 с.
10. Про затвердження Вимог безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками [Текст] : Z0097-18. – [Чинний від 2017-12-28]. – К. : ДП «УкрНДНЦ, 2017. – 9 с.

11. Рукавички захисні. Загальні вимоги та методи випробування [Текст] ДСТУ EN 420:2017. – [Чинний від 2018-02-01]. – К. : ДП «УкрНДНЦ» 2018. – 35 с.

12. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві [Текст] /О. Г. Левченко, О. І. Полукаров. – К. : Основа, 2014. – 352 с.

13. Методы определения остаточных напряжений, классификация и анализ методов определения остаточных напряжений [Електронний ресурс]. / Електронні текстові дані. – 2015. Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/2799153/page:2/>.

14. Остаточные напряжения в заготовке [Електронний ресурс]. / Електронні текстові дані. – 2012. Режим доступу до ресурсу: <https://interlaser.ru/frezernye-stanki/248-ostatocnyye-napryazheniya-v-zagotovke>.

15. Kryachek V.M. Injection molding [Електронний ресурс] // V. М. Kryachek. – Електронні текстові дані // – 2004. – V.43. – №7-8. – Р. 336.

16. Богохудов С.И. Термообработка порошковых сталей [Текст] / С.И. Богохудов, А.Д. Проскурин, Е.С. Козик, Б.М. Шейнин [Вестник ОГУ], Москва. –2004.

17. Ударная вязкость (сопротивление хрупкому разрушению) [Електронний ресурс]. / Електронні текстові дані. – 2014. Режим доступу до ресурсу: <https://thixomet.ru/udarnaya-vyazkost/>.

18. Классификация остаточных напряжений в металле и методы их измерения [Електронний ресурс]. / Електронні текстові дані. – 2014. Режим доступу до ресурсу: <https://tesiaes.ru.?p=14030>

19. Конспект лекцій з дисципліни «Основи охорони праці» / Зацарний В. В. – К. : НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2016. – 74с.

20. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний з 1999-12-01. – К. : Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 10 с.

21. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – Чинний з 2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2017. – 66 с.

22. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний з 1999-12-01. – К. : Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 34 с.

23. Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення [Текст] : ДБН В.2.5.-28-2006. – Чинний з 2006-05-15. – К. : Мінбуд України, 2006. – 76 с.