

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій БОГОМОЛ

«__» _____ 2023 р.

Дипломна робота

«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»

на тему: «Особливості формування структури композитів кубічного нітриду бору за надвисоких тисків»

Виконав:

студент IV курсу, групи ФН-91

Тарасов Олексій Юрійович

Керівник:

Професор, д. х. н., Директор ІНМ ім. В. М. Бакуля

Туркевич Володимир Зіновійович

Консультант з економічно-організаційного розділу:

Доцент, к. е. н., доцент,

Нараєвський Сергій Вікторович

Консультант з охорони праці:

Професор, д.т.н., професор

О.Г. Левченко

Нормоконтроль:

Доцент, к. т. н., доцент,

Бірюкович Л. О.

Рецензент:

Провідний науковий співробітник,

д.т.н.

І.А. Петруша

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

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут
матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та
порошкової металургії**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність –132 «Матеріалознавство»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Юрій БОГОМОЛ

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Тарасову Олексію Юрійовичу

1. Тема роботи «Особливості формування структури композитів кубічного нітриду бору за надвисоких тисків», керівник роботи Туркевич В.З., доктор хімічних наук, Професор, затверджені наказом по університету від «01» червня 2023р. №21-22с.
2. Термін подання студентом роботи 19.06.2023р.
3. Вихідні дані до роботи: аналіз літературних джерел, результати досліджень
4. Зміст роботи: літературний огляд, визначення умов отримання при надвисоких тисках композита cBN, результати дослідження та їх обговорення, організаційно-економічний розділ, охорона праці.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): тема, мета та основні завдання роботи, методи дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічний	Доцент, к.е.н., Нараєвський С.В.	15.04.23	
Охорона праці	Професор, д.т.н., Левченко О. Г.	15.04.23	

7. Дата видачі завдання: 15.04.23

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Отримання завдання	15.04.23	
	Пошук та аналіз літератури згідно теми	15.04.23	
	Вивчення структури композита сVN	20.04.23	
	Вивчення закономірностей структуроутворення матричного матеріалу	25.04.23	
	Вивчення області застосування композиту нітриду бору	28.04.23	
	Написання розділів «Охорона праці» та «Організаційно-економічний розділ»	18.05.23	
	Обговорення отриманих результатів, підбиття підсумків	25.05.23	
	Оформлення пояснювальної записки	05.06.23	

Студент

Олексій ТАРАСОВ

Керівник

Володимир ТУРКЕВИЧ

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 63 сторінки, 15 рисунка, 7 таблиць, 59 джерел інформації.

КУБІЧНИЙ НІТРИД БОРУ, ВИСОКИЙ ТИСК, СИНТЕЗ, СПІКАННЯ, КОМПОЗИТ, МАКРО-, МІКРО- І НАНОСТРУКТУРА

Об'єкт дослідження: – фізико-хімічні процеси структуроутворення матричних і керамо-матричних композитів на основі cBN для лезового інструменту;

Мета роботи: визначення умов отримання при надвисоких тисках композитів cBN матричного і керамо-матричного типів з дисперсними (нанодисперсними) складовими структури, призначених для лезового інструменту

Методи дослідження: апарати і методи техніки високих тисків; методи комп'ютерного моделювання теплових полів в АВТ

В результаті роботи розглянуто термобаричні умови спікання керамо-матричних композитів (КМК) групи *BL* на основі cBN (50–60 об.%) та алмазу спіканням дисперсних сумішей, що містили в різних варіаціях нано- (TiN, Si₃N₄), субмікро- (TiN, Si₃N₄, SiC, wBN) та мікро- (TiN, Si₃N₄, TiCN, TiC, Ti₃SiC₂, cBN, Сал) порошки. При тиску 7–9 ГПа в умовах короткочасної *p,T*-дії (40–60 с) гранична щільність КМК досягається при температурах $T_{сп} \sim 1300$ °С (в системах з нанодисперсними вихідними компонентами) і 1900–2200 °С (в разі використання субмікро- і мікропорошків)

ABSTRACT

Thesis: 63 pages, 15 figures, 7 tables, 59 references.

CUBIC BORON NITRIDE, HIGH PRESSURE, SYNTHESIS, SINTERING, COMPOSITE, MACRO-, MICRO- AND NANOSTRUCTURE.

Object of research: physico-chemical processes of structure formation of matrix and ceramic-matrix composites based on cBN for blade tools;

Purpose: determination of the conditions for obtaining at ultrahigh pressure cBN composites of matrix and ceramic-matrix types with dispersed (nanodispersed) structural components intended for blade tools.

Research methods: devices and methods of high pressure technology; methods of computer simulation of thermal fields in AVT

As a result of the work, the thermobaric conditions of sintering of ceramic-matrix composites (CMC) of the BL group based on cBN (50–60 vol.%) and diamond by sintering dispersed mixtures containing various variations of nano- (TiN, Si₃N₄), submicro- (TiN, Si₃N₄, SiC, wBN) and micro- (TiN, Si₃N₄, TiCN, TiC, Ti₃SiC₂, cBN, Ca) powders. At a pressure of 7–9 GPa under the conditions of short-term p,T action (40–60 s), the ultimate density of CMC is reached at temperatures $T_{sp} \approx 1300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (in systems with nanodispersed starting components) and 1900–2200 $^{\circ}\text{C}$ (in the case of using submicro - and micropowders)

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Розробка фізико-технологічних основ одержання в умовах високого тиску надтвердих композитів cBN з елементами наноструктури та створення матеріалів інструментального призначення	9
1.2 Огляд літератури та постановка задач досліджень	9
1.3 Проблеми та перспективність отримання порошка cBN	10
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	13
2.1 Апарати високого тиску і режими спікання	13
2.2 Вивчення динаміки температурного поля в робочому об'ємі апарату високого тиску при одержання надтвердих композитів систем cBN–Al	16
2.3 Моделювання теплового поля в АВТ «тороїд-20»	17
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	26
3.1 Результати досліджень композитів cBN	26
3.2 Обговорення дослідження композиту cBN	27
3.3 Обговорення результатів дослідження закономірностей структуроутворення cBN	29
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	32
4.1 Аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих факторів	32
4.2 Характеристика місця виконання дипломної роботи та умови експлуатації	33
4.3 Аналіз освітленості приміщення	35
4.4 Аналіз рівня шуму та вібрації	36
4.5 Аналіз запиленості повітря	36
4.6 Електробезпека	37
4.7 Аналіз пожежної безпека	38
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	40
5.1 Науково-технічна актуальність НДР	40
5.2 Розрахунок планових витрат	41
5.2.1 Витрати на оплату праці науково-дослідницького персоналу	42
5.2.2 Єдиний соціальний внесок	44
5.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень	44
5.2.4 Енергоносії для проведення досліджень	45
5.2.5 Витрати на спеціальне обладнання	45
5.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій	46
5.2.7 Витрати на службові відрядження	46
5.2.8 Інші прямі невраховані витрати	46
5.2.9 Накладні витрати	47
5.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми	47

5.3 Науково-технічна ефективність НДР	48
CONCLUSIONS	55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	57

ВСТУП

Можливості сучасних технологій створюють матеріальну і технічну базу для нових розробок, що зумовлює розширення практичного застосування матеріалів на основі кубічного нітриду бору завдяки більш ефективному використанню його унікальних хімічних та фізико-механічних властивостей.

Дана робота направлена на вивчення композиційних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору (сBN), призначених для виготовлення лезового, волочильного і шліфувального інструменту, і виконувалася в чотирьох напрямках. Перші два визначають закономірності формування в умовах високого тиску структур композитів двох типів: 1) з матрицею сBN і зв'язкою з наноструктурованих тугоплавких сполук; 2) керамо-матричних нанокompозитів, де високодисперсні порошки тугоплавких сполук формують наноструктурну матрицю, а мікро- і субмікропорошки сBN відіграють роль високоміцних наповнювачів, які зміцнюють структуру композиту. Оптимізація технологічних параметрів одержання композитів базувалася на дослідженнях взаємозв'язку механічних та експлуатаційних характеристик матеріалів з їх фазовим складом і реальною структурою. Третій напрямок – створення композиту спрямованого абразивного призначення з прогнозованими триботехнічними та трибоелектричними характеристиками, що досягалося використанням подрібнених полікристалів сBN у якості структуруючого матеріалу. Четвертий напрямок – розробка нових нетрадиційних технологій синтезу порошків сBN.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Розробка фізико-технологічних основ одержання в умовах високого тиску надтвердих композитів cBN з елементами наноструктури та створення матеріалів інструментального призначення

Одним з визначальних факторів технічного прогресу і, відповідно, економічного розвитку будь-якої країни є стан і рівень розвитку технології обробки матеріалів. Нові інструментальні надтверді матеріали, завдяки високому рівню фізико-механічних і експлуатаційних властивостей, сприяють значному підвищенню продуктивності праці та покращенню якості металообробки. Полікристалічні надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору (PCBN) є одними з найперспективніших інструментальних матеріалів. Від властивостей PCBN залежать надійність і економічність роботи інструменту в умовах високих навантажень, температур, швидкостей, хімічної взаємодії з оброблюваним матеріалом, а також висока точність геометрії обробки і якість оброблених поверхонь. Розвиток машинобудування ставить нові більш високі вимоги до інструментальних матеріалів, тому дослідження з метою створення нових PCBN – актуальна задача матеріалознавства.

1.2 Огляд літератури та постановка задач досліджень

Полікристалічні матеріали кубічного нітриду бору являють собою широкий клас композитів, які на світовому ринку майже виключно розробляють і випускають для інструментального призначення у вигляді ріжучих пластин (PCBN). В Україні, завдяки новим розробкам, виконаним в ІНМ НАНУ, матеріали такого класу (киборит-2, киборит-3) випускають не тільки як ріжучі пластини, але і виробу конструкційного призначення (елементи конструкцій АВТ), які були випробувані і знайшли попит в наукових центрах США, Німеччини [1].

Міжнародний стандарт специфікації і застосування твердих інструментальних матеріалів ISO 513:2001, який був прийнятий всіма головними поставниками інструменту з 2001 року, класифікує операції різання або видалення стружки для конкретних оброблюваних матеріалів. По обсягу областей застосування інструмент PCBN не поступається твердосплавному, переважаючи його в продуктивності, і в більшості випадків не має альтернативи серед алмазного інструменту.

В залежності від призначення (для різання конкретних матеріалів на конкретних режимах) вміст cBN в PCBN змінюється в широких межах, так само, як хімічний і фазовий склад зв'язуючих фаз, представлених здебільшого тугоплавкими сполуками алюмінію і/або титану. На даний час відомо більше 150 марок PCBN матеріалів, які випускаються провідними світовими фірмами, розробниками надтвердих матеріалів.

1.3 Проблеми та перспективність отримання порошка cBN

Порошок кубічного нітриду бору (cBN) є одним з найтвердіших матеріалів на Землі і має великий потенціал для застосування в різних індустріях. Отримання порошку cBN може бути складною технологічною задачею, але його перспективи досить обіцяючі.

Основна проблема з отриманням порошку cBN полягає в його високій стабільності за високих температур і тиску, необхідних для його синтезу. cBN має кристалічну структуру, подібну до діаманту, і зазвичай синтезується шляхом використання високих температур (приблизно 1500-2000 градусів Цельсія) і високого тиску (приблизно 5-8 гігапаскалей). Цей процес є складним і вимагає використання спеціалізованого обладнання.

Однак, деякі дослідники працюють над розвитком нових методів синтезу порошку cBN, які можуть зменшити температуру і тиск, необхідні для його

отримання. Наприклад, використання ультразвуку або електричного розряду може сприяти зниженню енергетичних витрат і полегшити процес синтезу.

Перспективи отримання порошку cBN включають широкий спектр застосувань у виробництві. Завдяки своїм унікальним властивостям, він може бути використаний для виготовлення інструментів з високою стійкістю до зношування, які знадобляться у промисловості обробки металів, виробництві пластмас, абразивних матеріалах та інших галузях. Крім того, порошок cBN також може бути використаний у виробництві напівпровідників, високоефективних електродів та інших електронних компонентів.

Є дві групи синтезу. Одна із великих груп речовин, які сприяють перетворенню hBN→cBN, включає в себе лужні і лужноземельні метали, їхні нітриди, бориди, подвійні борнітриди, гідриди та інші з'єднання, що утримують водень.

Із зазначених ініціаторів перетворення hBN→cBN на практиці найбільш широко застосовуються нітриди і борнітриди літію, магнію і кальцію, використання яких у сукупності із різними модифікаторами найбільш ефективно.

Слід враховувати, що при використанні в якості ініціаторів перетворення нітридів Ca, Mg і Li температура, необхідна для синтезу cBN, підвищується при переході у напрямку Ca→Mg→Li, як показано на рис. 1.1 [18]. Зона утворення cBN (див. рис. 1.1) для кожного нітриду розташована над відповідною кривою.

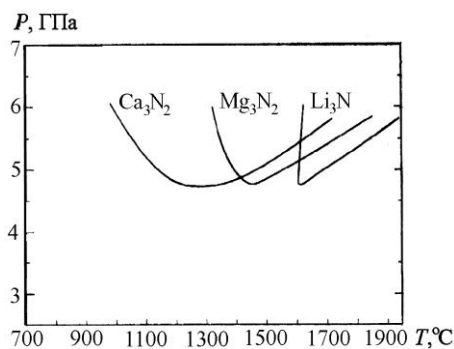


Рисунок 1.1 – Области стабільності cBN при використанні нітридів Ca, Mg і Li.

Відзначимо, що процеси синтезу cBN із використанням нітридів і борнітридів лужних і лужноземельних металів супроводжуються як їх фазовими перетвореннями, так і утворенням нових сполук із меншими мольними об'ємами у порівнянні із вихідним станом.

Зміна мольних об'ємів у системах нітрид–BN у процесі поліморфних переходів і можливих реакцій для нітридів літію, магнію і кальцію. У таблицях прийняті наступні умовні позначення: АТ – атмосферний тиск, ВТ – високий тиск.

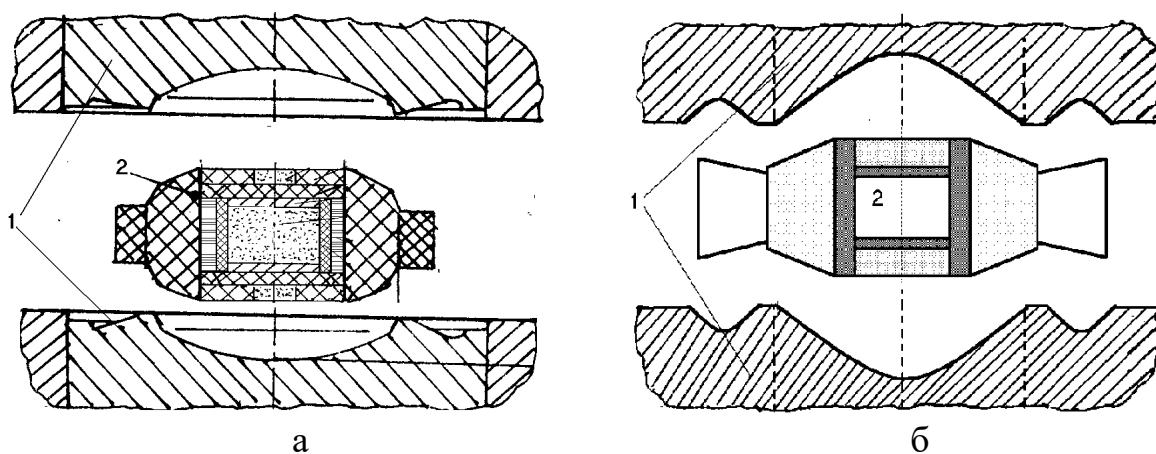
Наступна група ініціаторів перетворення, які сприяють перетворенню hBN→cBN, була визначена Венторфом і включає метали з відносно низькою температурою плавлення – сурма, олово, свинець. Внаслідок низької ефективності при синтезі cBN метали зазначеної групи не отримали застосування на практиці

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Апарати високого тиску і режими спікання

Отримання матеріалів в умовах високих температур та тисків - технологічно складна, проте важлива фундаментальна наукова задача, яка досить широко висвітлена для таких алмазу та кубічного нітриду бору. Отже, цей розділ присвячений питанням вибору технології та параметрів вирощування нітриду бору в умовах високих температур та тисків.

Шихту спікали в апаратах високого тиску (АВТ) «ковадло з заглибленням» (КЗ), були використані найбільш розповсюджені «КЗ – чечевиця» і «КЗ – тороїд» (рис. 2.1).



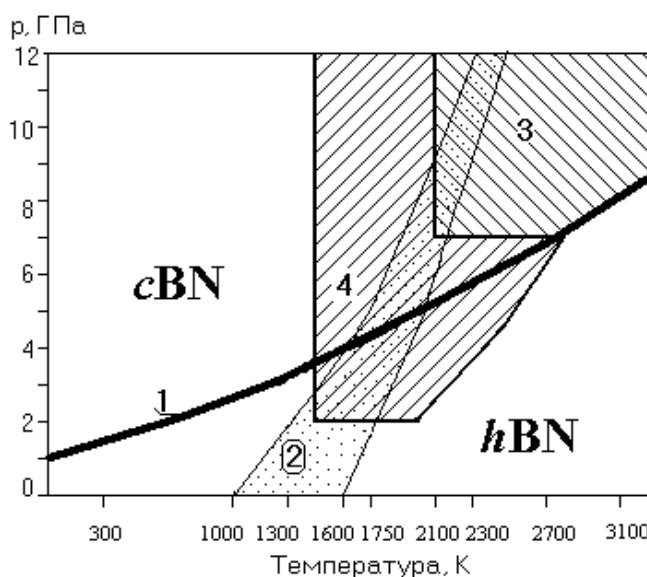
1 – вставка блоку-матриці АВТ; 2 – комірка високого тиску (КВТ)

Рисунок 2.1 - Загальний вигляд АВТ типу ковадло з заглибленням: а – «чечевиця»; б – «тороїд»

АВТ «КЗ-чечевиця» розрахований на генерацію тисків до 4 – 5 ГПа, тому для виготовлення його найбільш навантажених деталей можна використовувати інструментальні сталі. АВТ «КЗ-тороїд» розрахований на генерацію тисків до 10 ГПа, вставку блок-матриці цього АВТ виготовляють з твердого сплаву групи ВК. Експлуатація АВТ здійснюється на пресових установках зусиллям 5 – 25 МН.

В наших експериментах були задіяні КЗ «тороїд-20» з діаметром заглиблення 20 мм і два різновиди КЗ «чечевиця»: «КЗ-55» – з вставками з інструментальної сталі, з діаметром заглиблення 55 мм та «КЗ-35» – твердосплавний апарат з діаметром заглиблення 35 мм.

На рис. 2.2 на фазовій діаграмі нітриду бору показані границі термічної активації фазових перетворень $hBN \Leftrightarrow cBN$ і p, T -області спікання порошків cBN без добавок і реакційного активованого спікання.



- 1 – лінія фазової рівноваги $hBN - cBN$; 2 – границі термічної активації перетворень $hBN \Leftrightarrow cBN$;
 3 – область спікання порошків cBN без добавок; 4 – область реакційного, активованого спікання порошків cBN .

Рис. 2.2 - p, T -діаграма спікання cBN .

Вибір режиму двохстадійного спікання в області стабільності cBN проводили при режимах, що відповідають технологічному процесу отримання композитів cBN . На першій стадії процесу шихта під тиском просочується алюмінієм ($p=2,5$ ГПа, $T=1300$ К), внаслідок чого відбувається його розподіл в шихті (при таких p, T -параметрах рідкий алюміній не змочує cBN). На другій, завершальній стадії процесу здійснюється реакційна взаємодія компонентів шихти і ущільнення зразків до 0,996–0,998 від теоретичної густини композиту.

Зазвичай, для отримання композитів типу киборит-2 (сBN–Al), киборит-3 (сBN–Al–TiC) другу стадію проводять при параметрах $p=4,2$ ГПа, $T=1750$ К. В експериментах по спіканню композитів з алюмінієм і тугоплавкими сполуками тиск і температуру другої стадії, а також її тривалість, варіювали, що викладено в відповідних розділах. Режим першої стадії зберігався. В експериментах по спіканню композитів без алюмінію перша стадія (просочення) не застосовувалась.

Експерименти, де визначали загальні особливості формування складу, структури і властивостей композитів сBN при їх спіканні з варіацією в широких діапазонах температур, тисків, вмісту тугоплавких добавок в шихті виконували в АВТ «тороїд-20». Експерименти для оптимізації складу шихти композитів кубічного нітриду бору і режимів їх спікання проводили в АВТ «КЗ-35» і «КЗ-55», які забезпечували режими спікання при параметрах $p=4,2$ ГПа, $T=1750$ К, при цьому ізотермічні витримки без значимого зменшення тиску могли складати до 500 с. Це було необхідно з метою адаптації розробок до технологічних режимів спікання кибориту-2, забезпечених технологічною базою – пресовим обладнанням, апаратами, що дозволяють отримувати ріжучі пластини діаметром до 32 мм, в тому числі в АВТ зі сталевими матрицями «КЗ-55». Найбільш важливі експерименти дублювали в АВТ різного типу.

За схемою зборки комірки високого тиску (КВТ) шихта безпосередньо була в контакт з графітом. Після спікання очистку поверхні зразків від залишків графіту, надання їм форми плоско-паралельних циліндричних пластин, а також підготовку поверхні до подальших досліджень забезпечували механічною обробкою алмазним інструментом, а саме, плоско-паралельним шліфуванням (при необхідності і поліруванням) вільним абразивом і округленням по поверхні циліндру зв'язаним абразивом.

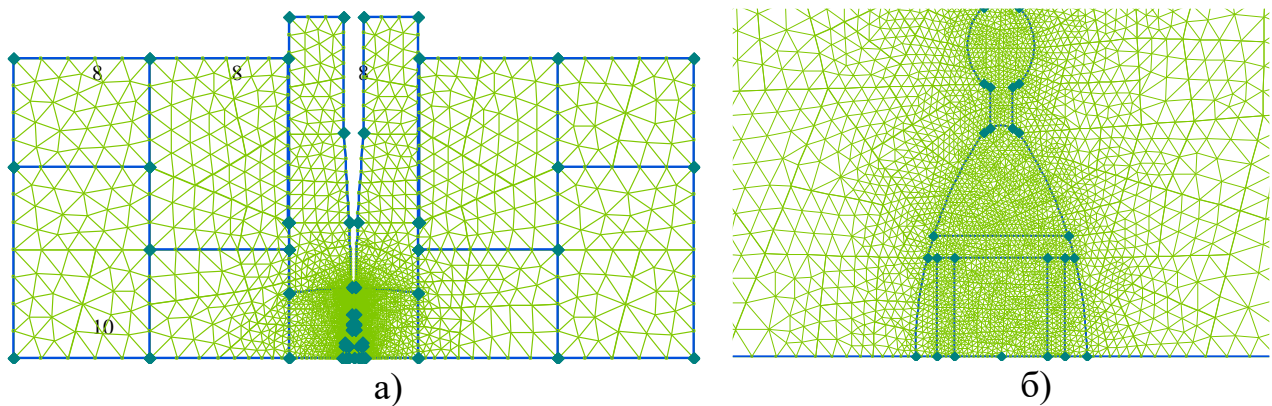
2.2 Вивчення динаміки температурного поля в робочому об'ємі апарату високого тиску при одержання надтвердих композитів систем cBN–Al

Вивчення динаміки температурних полів проводили з допомогою програмного забезпечення ELCUT 5 – ефективного інструменту для аналізу двомірних полів методом скінченних елементів. Перевагою даного програмного комплексу є можливість дослідження нестационарної зв'язаної задачі електро- і теплопровідності та широкий спектр досліджуваних величин. Конкретно для нашої задачі є можливість представити у графічному форматі (а також у вигляді графіка або таблиці) спад напруги, напруженість електричного поля, густину струму, питомі опір та тепловиділення, розподіл температур, температурний градієнт, тепловий потік, а також інтегральні та локальні значення названих параметрів в будь-який заданий момент часу. Для отримання результатів необхідно з допомогою вбудованого графічного редактора побудувати (або імпортувати з інших підтримуваних додатків) досліджувану модель, задати сітку скінченних елементів, ввести характеристики елементів зборки, їх залежності від температури та граничні умови задачі. Також, для більшої точності результатів, можна враховувати конвекцію на межі метал-повітря та вносити поправку на втрати тепла за рахунок випромінювання, які за нашими попередніми експериментальними даними мають бути досить значними.

Аналіз температурного поля проводився для АВТ «тороїд-20» з матрицями із ВК6 та АВТ «КЗ-55» з матрицями із загартованої сталі Р6М5. Вихідними даними служили зняті показники струму та напруги при спіканні cBN з алюмінієм в пропорціях від 10 до 20 % мас. Al та відомі значення температури поверхонь матриць та опорних плит і температури всередині комірки високого тиску, визначену з допомогою термопари.

2.3 Моделювання теплового поля в АВТ «тороїд-20»

Геометричну модель будували до другої опорної плити включно. Геометричні розміри елементів КВТ брались такими, якими вони є під час навантаження. Для більш точного розподілу поля всередині комірки, площа скінченних елементів зменшувалась (рис.2.3).



а) загальний вигляд; б) вигляд КВТ із сіткою скінченних елементів

Рисунок 2.3 - Геометрична модель АВТ «тороїд-20»

Для отримання картини поля в задачі електропровідності задавалися питомий опір елементів та напругу, яка подавалася на блок-матриці. Дана версія не дозволяє змінювати електропровідність елементів в залежності від температури, а також задавати залежність напруги від часу, тому задача розбивалася на 2 етапи – до просочення алюмінієм шихти cBN (питомий опір суміші $\sim 10^7$ Ом·м) 0–20 с, і після просочення, яке завершується приблизно на 30 секунді 1-го етапу спікання (питомий опір $\sim 10^5$ Ом·м). Електро- і теплофізичні характеристики матеріалів вводили на основі літературних даних, коректуючи їх з врахуванням накопиченого експериментального матеріалу так, щоб результати розрахунків відповідали експериментальним. Граничні умови задавалися, виходячи з реальних умов експлуатації АВТ, наступним чином:

– для задачі електропровідності на торцевих поверхнях підкладних плит приймалися значення електропотенціалу з таким розрахунком, щоб розрахункова

температура у контрольній точці 1 КВТ (див. рис. 2.7) складала ~ 1300 К на I етапі і ~ 2300 К на II етапі. На іншій частині граничної поверхні задавалася умова електроізоляції (нульове значення густини електричного струму);

– для задачі теплопровідності на торцевих поверхнях підкладних плит, достатньо віддалених від КВТ, задавалася температура 40 °С.

На бічних поверхнях підкладних і опорних плит приймалися умови конвективного теплообміну з повітрям (коефіцієнт тепловіддачі приймався рівним 50 Вт/(м²·К), температура навколишнього середовища – 20 °С), а на бічних поверхнях блоків кілець – умови конвективного теплообміну з водою (відповідні значення становили 7600 Вт/(м²·К) і 10 °С). На частині граничної поверхні, розміщеної між блоками кілець, задавалася умова теплоізоляції (нульове значення густини теплового потоку). Матеріали і властивості конструктивних елементів АВТ вказані в табл. 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1 - Властивості матеріалів КВТ та елементів конструкції АВТ «тороїд-20».

Матеріал	Теплопровідність λ , Вт/К·м	Питома теплоємність C , Дж/Кг·К	Густина ρ , кг/м ³
ВК15	34+013Т	175,9	14100
ВК6	16,8+0,16Т	175,9	15000
Графіт	35+0,012Т	720	2200
Літографський камінь	1,5	172	2800
Пірофіліт	1,5	172	2800
Сталь 35 ХГСА	$39,2 - 0,00135Т + 9,1 \cdot 10^{-5}Т^2$	500	7800
Сталь ШХ15	$32,9 - 0,04876Т + 1,96 \cdot 10^{-4}Т^2$	500	7800
Шихта	9,41+0,0353Т	50	3300

Таблиця 2.2 - Розміри деталей зборки і питомий електроопір матеріалів деталей. Номер деталі відповідно до рис. 2.3.

№ деталі	Деталь	Питомий електроопір, ом·м	№ деталі	Деталь	Питомий електроопір, ом·м
1	шихта для спікання	10^6 10^{-4}	6	спресоване кільце з літографського каменю	1
2	пресований диск з графіту	$1,24 \cdot 10^{-5}$	7	вставка блок-матриці АВТ (ВК6)	$1,4 \cdot 10^{-7}$
3	теплоізоляційний диск з пірофіліту	1	8	блок кілець (сталь 35 ХГСА)	$9 \cdot 10^{-8}$
4	трубчатий графітовий нагрівник	$1,24 \cdot 10^{-5}$	9	плита опорна, вставка (ВК15)	$1,1 \cdot 10^{-6}$
5	контейнер з літографського каменю	1	10	плита підкладна, корпус (сталь ШХ 15)	$9 \cdot 10^{-8}$

Температурні поля та графіки залежності температури від часу в центрі комірки та в крайніх точках реакційного об'єму отримували на першому етапі до моменту просочення шихти алюмінієм і після того, як просочення завершилося (на другому етапі, відповідно – до моменту реакційної взаємодії і після її завершення). Початок просочення та хімічної взаємодії фіксували експериментально по зміні величини струму. Напругу корегували таким чином,

щоб загальна потужність струму не змінювалась. Таким чином, по зміщенню температурних кривих та зміні температурних градієнтів можна судити про перерозподіл джерел тепла в комірці високого тиску.

Моделювання нестационарного теплового поля в середовищі ELCUT дає можливість враховувати втрати тепла не тільки за рахунок теплопередачі і конвективного теплопереносу на границі двох середовищ, а і за рахунок теплового випромінювання, яке раніше не враховувалося, а наближене до реальності теплове поле отримували, вносячи правку у значення теплопровідності матеріалів завищуючи їх значення при наближенні до високих температур. Такий підхід давав можливість отримати правильну температуру у фіксованих точках, але розподіл температур відрізнятиметься від реального. На рис. 1.5 показана розрахована температура в центрі КВТ на другому етапі спікання з урахуванням втрат тепла на випромінювання (2) та без врахування (1). Різниця в температурах вже на 15 секунді складає 100 К і продовжує зростати.

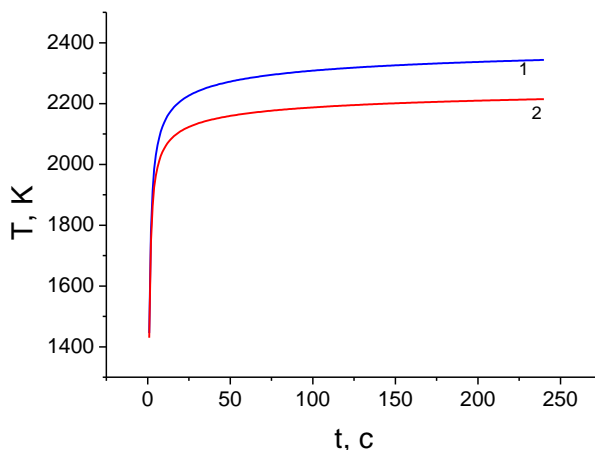


Рисунок 2.4 - Розрахунок температури в центрі реакційного об'єму в АВТ Торойд на II етапі: 1) без врахування теплових втрат на випромінювання; 2) з врахуванням випромінювання. Коефіцієнт прозорості у формулі $F = \beta k_{SV}(T^4 - T_0^4)$ прийнятий $\beta = 0,7$.

На рис. 2.5 показано характер зміни температурного поля КВТ на першому етапі спікання до 20 секунди, коли шихта стає електропровідною.

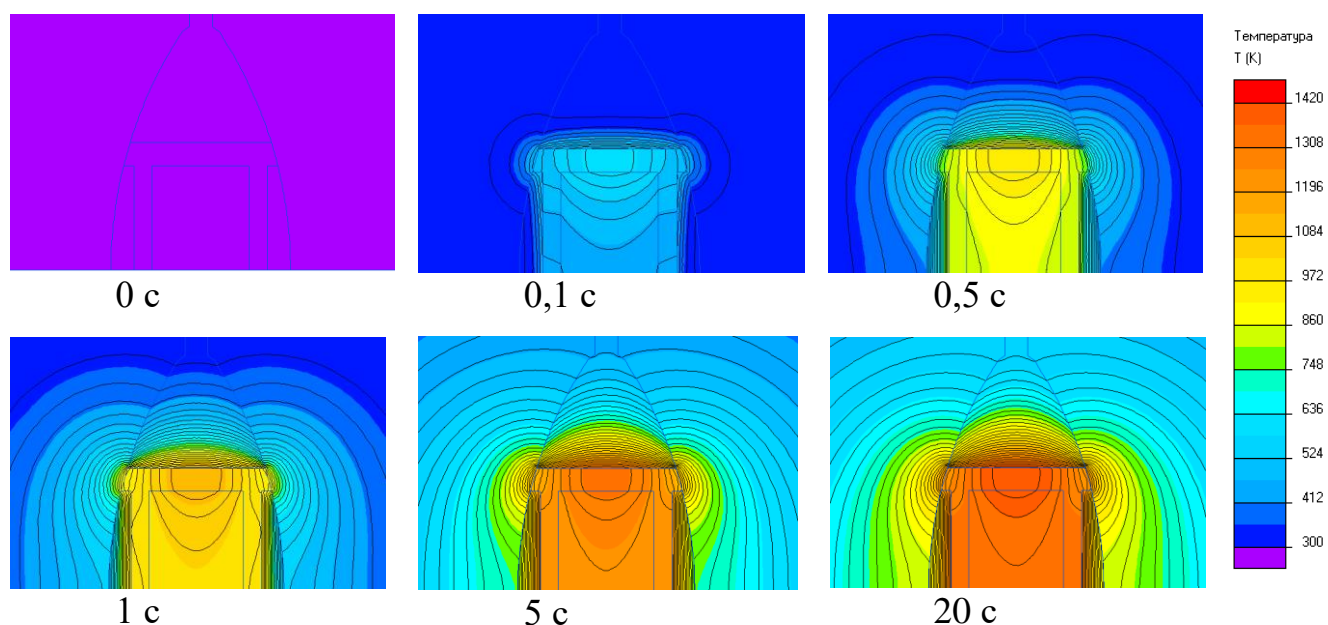


Рисунок 2.5 - Зміна температури на етапі просочення.

Графіки зміни температури в різних точках робочого об'єму показані на рис. 2.6, відповідні точки та температурне поле на 20 секунд – на рис. 2.7 Осьові та радіальні градієнти температур в робочому об'ємі зображені на графіку рис. 1.9 Хоча із графіка на рис. 2.6 видно, що теплове поле ще не встановилося, градієнти температур асимптотично наближаються до значень 11 К/мм по висоті та 40 К/мм по ширині зразка.

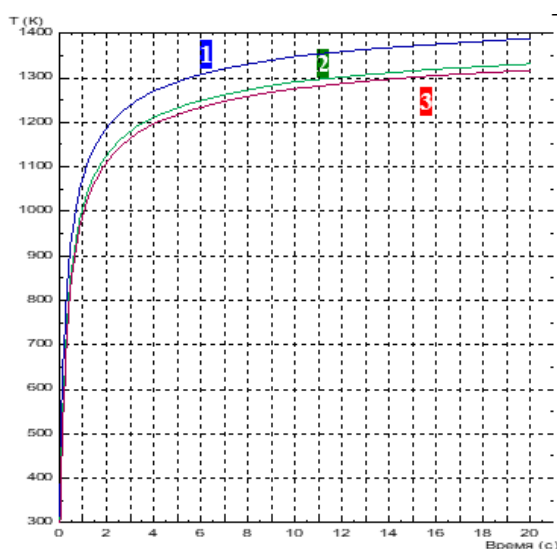


Рисунок 2.6 - Температура в КВТ на першому етапі в точках 1, 2 і 3 (рис 2.7)

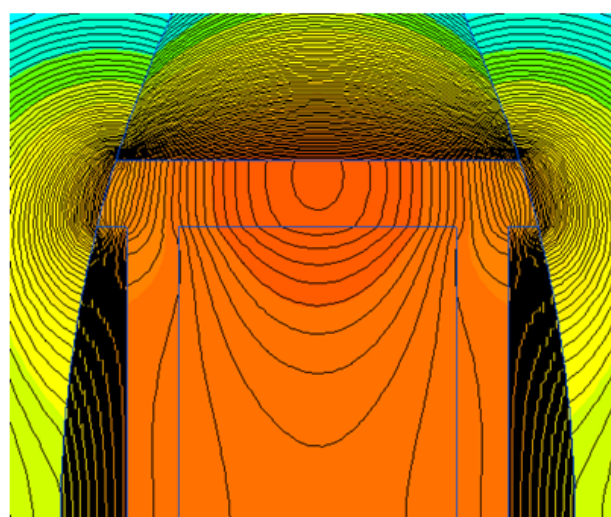


Рисунок 2.7 - Температура в КВТ на 20 секундів першого етапу.

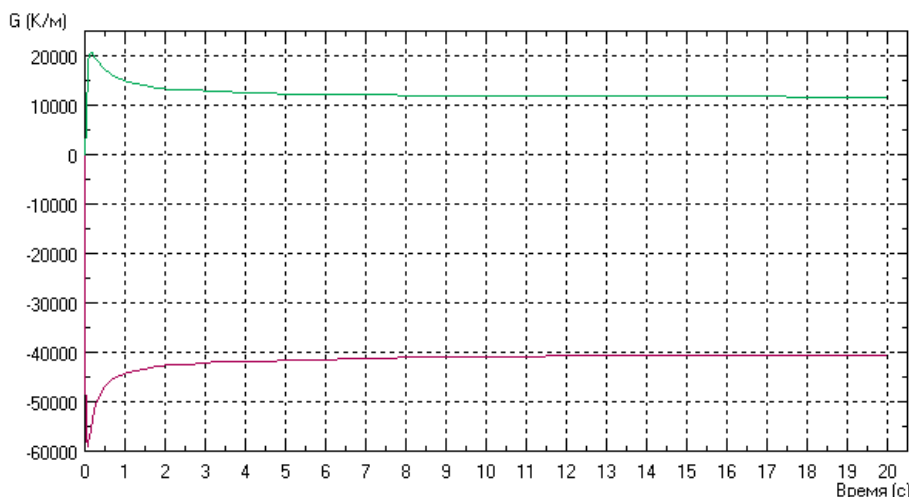


Рисунок 2.8 - Температурні градієнти 1 – осьовий (в напрямку 2-3), 2 – радіальний (в напрямку 2-1)

З 20 по 30 секунду відбувається просочення шихти КНБ рідким алюмінієм, що призводить до різкого зменшення електричного опору шихти. Експериментально зафіксоване значення напруги зменшується від 2,24 до 2,06 В. Для отримання тієї ж теплової потужності необхідне значення струму – 994А, питомий опір композиту зменшується від 10^6 до 10^{-4} Ом·м. Це на порядок більше, ніж питомий опір графітового нагрівника ($1,24 \cdot 10^{-5}$ Ом·м), тому і густина струму через композит теж на порядок менша – максимальна біля нагрівника 3,1-3,6 А/мм² і мінімальна 2,4-2,7 А/мм² біля центральної частини композиту (рис 1.10 б-Г) проти 25 А/мм² через боковий нагрівник (рис. 1.10 а-І). Зміщення джерел тепловиділення до центру КВТ відбувається, але не дуже суттєво. Середнє значення тепловиділення в боковому нагрівнику 83 Вт/мм³, в графітових дисках по 0,4 Вт/мм³ в об'ємі композиту – 0,86 Вт/мм³. Потужність тепловиділення в об'ємі композиту на етапі просочення становить ~7% від усієї кількості тепла, на графітові вставки приходиться ~2,3%, основна частина – більше 90% - виділяється в нагрівнику.

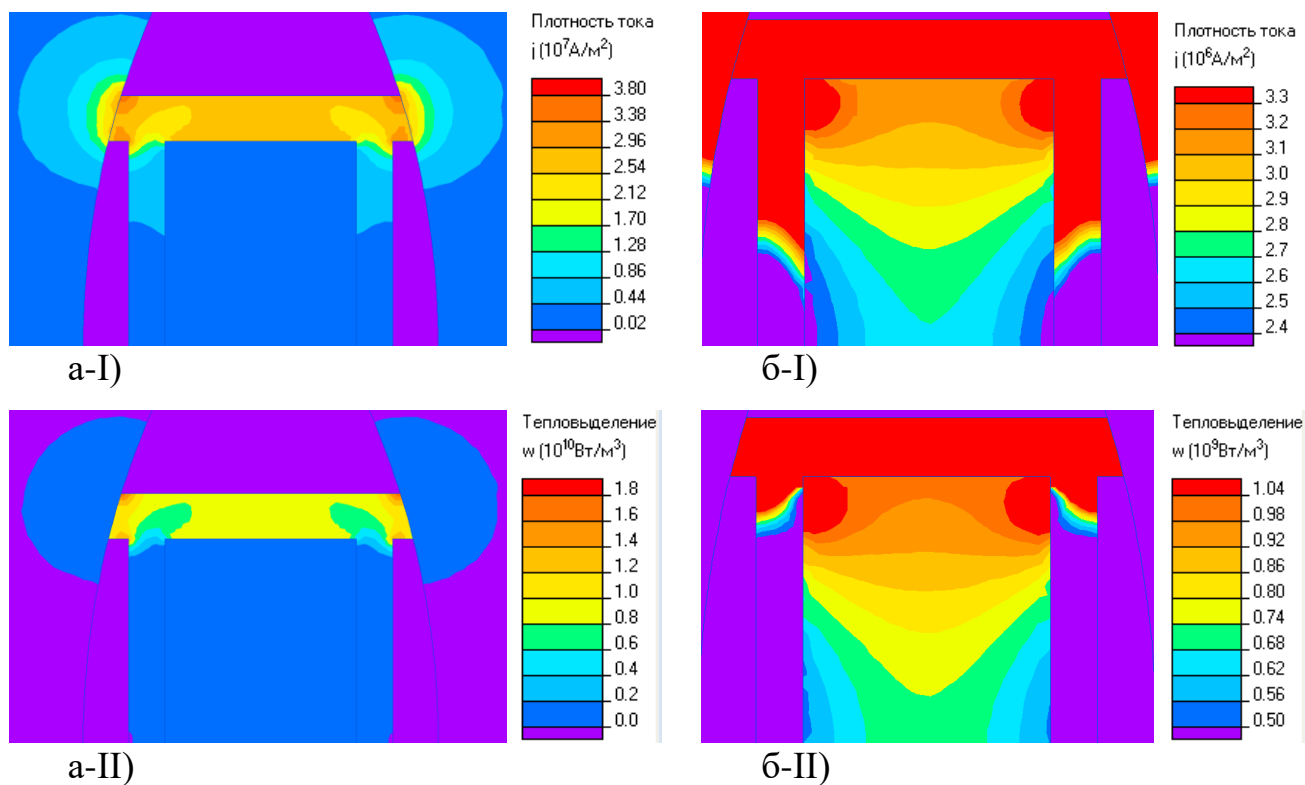


Рисунок 2.9 - Густина струму (I) та питоме тепловиділення (II) в КВТ на I етапі після просочення шихти КНБ алюмінієм, значення шкали відповідають мінімальному та максимальному значенням в усьому об'ємі (а) та в робочому об'ємі (б).

Зміщення джерел тепла до центру КВТ призводить до зменшення радіального градієнта температури від 40 до 24 К/мм і невеликому зростанню осьового градієнта температури – від 10 до 16 К/мм (рис. 1.11).

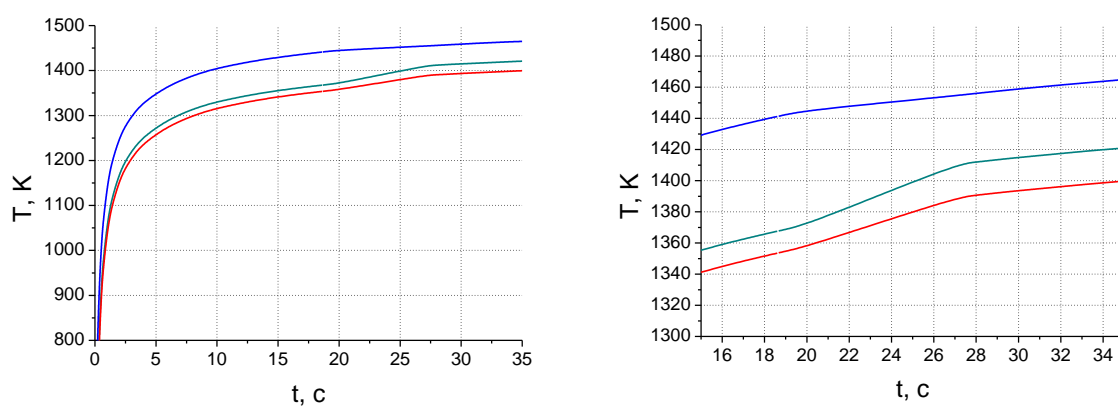


Рисунок 2.10 - Зміна температури в точках 1, 2 і 3 реакційного об'єму (див. рис. 2.7)

2300 К відповідно. Значення питомого опору, напруги, струму та потужності вказано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Питомий опір, напруга, струм та потужність на II етапі спікання.

II етап	ρ , Ом·м	U, В	I, А	P, Вт
до реакції	10^{-4}	2,86	1377	3938
після реакції	10^6	3,1	1271	3940

Реакційна взаємодія призводить до зворотнього процесу – зміщення джерел тепла в сторону бокового нагрівника за рахунок зростання електроопору композиту, що призводить до зменшення осьового градієнту температури від 20 до 15 К/мм та зростання радіального градієнту – від 15 до 25 К/мм.

Перерозподіл джерел тепловиділення та подальший нагрів призводить до зростання теплового потоку зі сторони нагрівника.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Результати досліджень композитів cBN

В результаті досліджень було вивчено фізико-технологічні основи виготовлення композитів систем cBN–TiN–Al та cBN–Ti з заданими дисперсністю структури, фазовим складом, фізико-механічними властивостями.

Вивчено композит кубічного нітриду бору шляхом спікання в сталевих апаратах високого тиску шихти складу cBN–TiN–Al при температурі 1600-1750 К і тиску 4,2 ГПа. Особливості структури композиту – рівномірно розподілена навколо зерен cBN нанодисперсна зв'язка на основі нітриду алюмінію і дибориду титану – алюмінію, що утворилася в процесі реакційної взаємодії між компонентами шихти. Композит містить 70 % за об'ємом надтвердої фази (cBN) з розміром зерен 3 – 7 мкм, безпористий, його густина 3,63-3,65 г/см³, твердість за Кнупом 27-29 ГПа, тріщиностійкість 8-10 МПа·м^{1/2}, електропровідність 30 ом⁻¹·м⁻¹, розміри зразків – до 30 мм по діаметру і до 15 мм по висоті. Області застосування композиту – чистова та напівчистова обробка загартованих сталей, важкооброблюваних матеріалів, легованих і зносостійких чавунів, а також конструкційна кераміка.

Вивчено спосіб одержання надтвердого PCBN матеріалу з однорідною структурою шляхом спікання при високому тиску порошків cBN, попередньо покритих титаном. Покриття наносилось CVD методом, використано газотранспортну реакцію при температурі 1200 - 1300 К. При розмірі зерен cBN від 1 до 3 мкм товщина покриття становила 0,2 – 0,3 мкм. Фазовий склад покриття – нестехіометричний нітрид і бориди титану. Після спікання при тиску 7,7 ГПа і температурі 2100 К композити мали однорідну на рівні зерна cBN структуру, особливістю якої є відсутність контактів між зернами надтвердої фази, в складі зв'язки субмікронні та нанорозмірні TiN і TiB₂. Твердість композиту 30 ГПа, електропровідність 50 Ом⁻¹·м⁻¹. Випробування в лезовому інструменті при обробці сталі ХВГ НРС 58-60 на режимах тонкого точіння показало кращу на 30 %

зносостійкість, ніж відомі матеріали, одержані в системі cBN-Al киборит-1 і киборит-2. Області застосування – для фінішної та суперфінішної обробки загартованих сталей.

3.2 Обговорення дослідження композиту cBN

Встановлено значимий вплив на фазовий склад і параметри кристалічних ґраток фаз композиту системи cBN-Al-TiN умов одержання (складу шихти, температури, тиску, тривалості спікання). Співвідношення між максимальними та мінімальними об'ємами кристалічних ґраток ($\Delta V/V$) для вихідних фаз (cBN, Al, TiN) становить відповідно 0,42, 0,65 та 0,84 %, для новоутворених (AlN, AlB₂, TiB₂) 0,98, 3,25 і 3,68 %. Аналіз наявних XRD результатів доповнений моделюванням можливих твердих розчинів в досліджуваній системі дозволяє стверджувати, що відхилення параметрів кристалічних ґраток від стандартних зв'язано саме з утворенням твердих розчинів.

Встановлено методами електронної мікроскопії, що в структурі композитів системи cBN-Al-TiN зерна cBN сильно деформовані і оточені дрібнодисперсною зв'язкою, в складі якої AlN і TiB₂ з розміром зерен 10 – 100 нм, та зерна вихідного субмікронного TiN.

Зміна властивостей композитів від умов спікання прогнозована: зі збільшенням температури і тиску спікання зростає густина, твердість, питомий електроопір. Зі збільшенням вмісту TiN в шихті зростає густина, знижується твердість і питомий електроопір. Композити, одержані сталевому АВТ «КЗ-55» мають вищу густину, твердість, електропровідність, ніж одержані в АВТ «тороїд-20» при тих же умовах завдяки особливостям формування температурного поля в робочому об'ємі АВТ при спіканні і відмінностях в фазовому складі. Випробування ріжучих пластин на режимах, близьких до тонкого точіння, показало перевагу перед ріжучими пластинами кибориту-1 і кибориту-2 (менший знос) пластин, виготовлених в сталевому АВТ «КЗ-55» з шихти з 16 % мас. нітриду титану при тиску 4,2 ГПа, температурі 1750 К і тривалості спікання 4 хв.

Особливістю структури композитів системи, одержаних спіканням мікропорошків cBN з покриттям Ti – відсутність безпосереднього контакту між зернами cBN. Однорідність структури на рівні розміру зерна надтвердої фази. Фазовий склад композиту – cBN, TiN, TiB₂. Відносна густина 98,5 - 99,5 % в залежності від температури спікання, зернистості порошку cBN і товщини покриття. Твердість за Кнупом 30-33 ГПа – на рівні відомих надтвердих PCBN матеріалів. Зносостійкість при точінні загартованої сталі ХВГ на 25 - 35 % вища, ніж у відомих матеріалів, одержаних в системі cBN-Al киборит-1 і киборит-2.

Досліджено перспективність системи cBN-B₂O-Al для одержання надтвердих композитів завдяки дисперсійному зміцненню зв'язки композиту надтвердим високодисперсним субоксидом бору.

Узгоджено результати рентгеноструктурних і мікрорентгено-спектральних досліджень складу композиту застосуванням раніше розвинених уявлень про наявність твердого розчину кисню в ґратках вихідного порошку cBN і новоутвореного при реакційному спіканні Al, а також міграції Al за межі робочого об'єму при спіканні.

Розрахунково-експериментальним методом встановлено зміни в часі температурного поля в АВТ «КЗ-55» і «тороїд-20» при одержанні реакційним спіканням з попереднім просоченням PCBN композитів. Різде збільшення електропровідності композиту на 10-11 порядків призводить до перерозподілу джерел тепла в КВТ. Відносне значення тепловиділення в об'ємі композиту ~7% від усього тепла в АВТ «тороїд-20» і ~15% в АВТ «КЗ-55». Радіальний градієнт температури в АВТ «тороїд-20» зменшується від 40 до 24 К/мм, осьовий зростає від 10 до 16 К/мм. Реакційна взаємодія на II етапі спікання призводить до зворотного процесу – зменшення осьового градієнту температури від 20 до 15 К/мм та зростання радіального градієнту – від 15 до 25 К/мм. В АВТ «КЗ-55» такі перепади значно менші: після просочення осьовий зростає від 0,2 К/мм до 1,6 К/мм, а радіальний змінює напрямок від 0,8 К/мм до 2 К/мм. На II етапі спікання до і після завершення реакційної взаємодії: осьовий зменшується від 5,4 К/мм до 2,6 К/мм, радіальний зростає від 0,9 К/мм до 2,4 К/мм із зміною напрямку. Величина

та напрямок температурних градієнтів і теплових потоків дозволяє оцінити конвективний масоперенос речовини. В тороїді напрямок теплових потоків практично не змінюється, а їх величина на порядок вища, ніж у «КЗ-55».

3.3 Обговорення результатів дослідження закономірностей структуроутворення сBN

При вивченні закономірностей структуроутворення матричного (полікристалічного) матеріалу в процесі спікання нанокристалічних (*nc*) вихідних порошків в умовах високих тисків (7–9 ГПа) в широкому діапазоні температур (25–2500 °С) на прикладі поведінки оксидних (*nc*-Y₃Al₅O₁₂, *nc*-Y₂O₃, *nc*-Y₂O₃:Eu³⁺) і нітридних (*nc*-TiN, *nc*-BN) систем встановлено, що:

1.1 В разі оксидних сполук надвисока питома поверхня внутрішніх границь, що містять адсорбований кисень, сприяє консолідації нанодисперсної системи, причому під дією високого тиску в системах *nc*-Y₃Al₅O₁₂, *nc*-Y₂O₃, а також *nc*-Y₂O₃:Eu³⁺ і *nc*-Y₂O₃:Nd³⁺ утворюється прозора кераміка вже при температурі 200–450 °С, що в 3–4 рази нижче рівня температур, що використовують в традиційних технологіях одержання оптичної кераміки Y₂O₃. Інтенсивне ущільнення пов'язується з підвищеною активністю середовища міжзеренних границь, що насичене киснем, та з краудійною пластичністю під дією високого тиску. Кераміка перспективна для застосування в конструкціях високоінтенсивних розрядних ламп і термостійких вікон, для активних елементів мікрочіпових лазерів, прозорих люмінофорів, сцинтиляційних датчиків жорстких випромінювань та іншого.

1.2. В разі неоксидних сполук на прикладі *nc*-TiN і *nc*-BN показано, що роль кисню навпаки виключно негативна, внаслідок участі його в деструктивних процесах, які блокують консолідацію. Результатом дії значної кількості кисню є утворення небажаних оксидних фаз, збиральна рекристалізація і швидка втрата наноструктурованого стану матеріалу в умовах високого тиску і температури.

1.3. При відсутності кисню в вихідному нанокристалічному піролітичному BN в результаті твердофазного перетворення формується високощільна сдвійникована на наномасштабному рівні структура cBN. В таких структурах дислокації помітно знижують межу текучості на стадії зародження пластичної течії при наноконтактному навантаженні. Дислокації, що зароджуються, границі зерен і нанодвійники істотно підвищують твердість полікристалу ($HV \sim 70$ ГПа) у порівнянні з монокристалічним cBN ($HV \sim 60$ ГПа на грані (111)) на стадії розвиненої пластичної течії в області контакту, де спостерігається плавний пружно-пластичний перехід.

2. При вивченні закономірностей структуроутворення керамо-матричних композитів групи *BL* на основі cBN (50–60 об.%) і алмазу (КМК) інструментального призначення в процесі спікання порошків в умовах високих тисків (7–9 ГПа) в діапазоні температур (1500–2250 °С) на прикладі поведінки трьох основних груп сумішей, що формують матричний компонент КМК на основі 1) карбідних, 2) нітридних і 3) карбонітридних сполук титану і кремнію, встановлено, що

2.1. При термобаричному спіканні в системі cBN–TiC–Si₃N₄ відбувається відносно слабка міжфазна взаємодія компонентів вихідної суміші з утворенням TiCN і TiB₂. Стабільність процесу спікання та відтворюваність властивостей одержаних КМК демонструється виключно високою відтворюваністю значень щільності зразків, що одержані при оптимальних умовах *p, T*-дії (8 ГПа, 2030 °С, 45 с). Так, довірчий інтервал для середнього значення щільності 10 зразків з ймовірністю 95 % складає $\pm 0,006$ г/см³ (<0,2 % від *d*).

2.2. При спіканні КМК з матрицею на основі вихідної фази складу Ti₃SiC₂ спостерігається розкладання сполуки з утворенням TiC і TiSi₂. Наявна доволі широка (до 2 мкм) зона твердофазної взаємодії Ti₃SiC₂ з cBN, в об'ємі якої утворюються пластинчасті виділення товщиною 50–100 нм з базисним розміром до 1 мкм. За даними рентгенофазового аналізу в композиті з'являються нові фази

– TiCN і TiB₂. Не виключено, що зона взаємодії є результатом контактного плавлення, при умові, що в системі cBN-Ti₃SiC₂ існує евтектика.

3.1. В умовах чистового точіння на високих швидкостях різання, як загартованих сталей, так і нікелевих суперсплавів, інструментальні матеріали з малим вмістом cBN (50–60 об. %) в керамічній матриці демонструють значно більш високу працездатність, ніж матеріали групи *BH*, наприклад борсиніт (BSN) без зв'язуючої фази і з вмістом cBN на рівні 95–98 об. %.

3.2. Різальні пластини з КМК дозволяють ефективно проводити обробку сталей ШХ15, ХВГ твердістю 62 HRC при швидкостях різання $v = 150\text{--}270$ м/хв і умовах, що відповідають чистовому точінню. При швидкостях різання понад 180 м/хв найбільш перспективними для застосування вважаються композити К-14, К-20 і К-17, в яких головними фазовими складовими є відповідно wBN-TiN, cBN-TiC і wBN-TiC. Вказані КМК за основними показниками працездатності не поступаються світовим аналогам (CBN100).

3.2. Різальні пластини з КМК типу К-20 (вихідна суміш cBN(2/1)-TiC-Si₃N₄) показали перевагу перед BSN по стійкості (близько 30%) при обробці сталі 9ХС (60–62 HRC) на високих швидкостях різання $V = 200\text{--}220$ м/хв з малими оборотними подачами $S_o = 0,05$ мм/об.

Одержані результати дозволяють стверджувати, що створені керамоматричні композити групи *BL* на основі cBN на якісно новому рівні доповнюють гаму відомих вітчизняних інструментальних матеріалів, заповнюючи існуючу порожнечу у пропозиціях і попиті на інструмент, який можна ефективно застосовувати для високопродуктивної чистової обробки загартованих сталей і жароміцних нікелевих суперсплавів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці, небезпечних та шкідливих факторів

Зазвичай проведення досліджень з надтвердими матеріалами має багато спільного з малосерійним виробництвом таких матеріалів.

У ході експерименту важливо дотримуватись вимог і правил охорони праці, оскільки виготовлення продуктів з надтвердих матеріалів пов'язане з ризиками на кожному етапі. Такі ризики включають подразнення слизових оболонок носа та горла, захворювання легневих тканин, можливість отримання електричного удару відсутність заземлення при роботі з печами та пресами, можливість отримання травм різної важкості внаслідок необережної роботи з шліфувальним обладнанням та інші.

На сьогоднішній день діє наказ від 28.12.2017 року № 2072, яким затверджуються вимоги безпеки та захисту здоров'я працівників під час використання виробничого обладнання. Використання виробничого обладнання охоплює дії, пов'язані з його запуском або зупинкою, використанням за призначенням, транспортуванням, ремонтом, модифікацією (реконструкцією, модернізацією), наглядом і технічним обслуговуванням, включаючи очищення.

Під виробничим обладнанням розуміється будь-яка машина, апарат, інструмент, пристрій або устаткування, яке використовується під час виконання робіт, виготовлення продукції, надання послуг, включаючи машини, механізми та устаткування, які відносяться до високого рівня небезпеки.

Небезпечна зона - це будь-яка зона всередині або навколо виробничого обладнання, де працівник, який перебуває в цій зоні, відкритий для зовнішніх впливів, наражений на ризики для свого здоров'я та безпеки життя.

Оператором є працівник, який використовує виробниче обладнання за встановленими завданнями.

Працівник, відкритий для зовнішніх впливів, - це будь-який працівник, який перебуває в небезпечній зоні, частково або повністю.

Призначений строк служби (ресурс) - це календарний період експлуатації (загальний наробіток), після закінчення якого машини, механізми та устаткування підвищеної небезпеки виводяться з експлуатації. Після проведення експертного огляду виробничого обладнання приймається рішення щодо подальшої експлуатації з встановленням нового терміну служби, з або без проведення ремонту, модифікації (реконструкції, модернізації), або списання його з обліку.

У цьому розділі ми детально розглянемо теоретичні аспекти охорони праці.

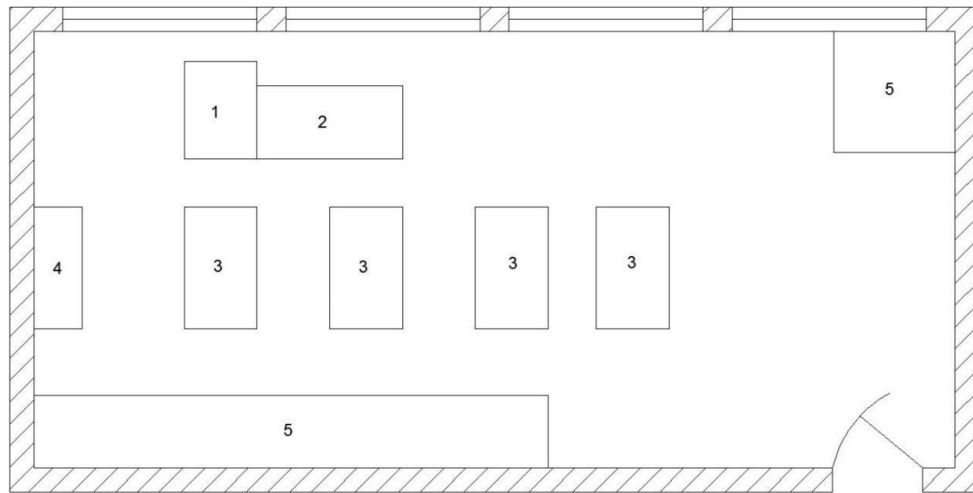
4.2 Характеристика місця виконання дипломної роботи та умови експлуатації

Відповідно до Закону України "Про охорону праці", коли на підприємстві працює 50 або більше осіб, роботодавець зобов'язаний створити службу охорони праці відповідно до затвердженого типового положення, що розробляється компетентним органом державної влади з питань нагляду за охороною праці[50].

У межах Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля відповідальність за охорону праці несе директор ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, професор В.З. Туркевич, академік НАН України, який безпосередньо керує відділом охорони праці.

В кожній лабораторії роботодавець призначає відповідальних осіб за охорону праці. Наприклад, у Відділі № 1 ІНМ відповідальним за охорону праці є Гажа Г.П., який у свою чергу призначає керівників охорони праці для робочих секцій.

Експерименти з отриманими зразками були проведені в лабораторії досліджень Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, як показано на рисунку 4.1.



1 – робоче місце з ПК; 2 – робоче місце зі сканувальним електронним мікроскопом; 3 – робочий стіл; 4 – сушильна шафа; 5 – робоче місце з ПК
Рисунок 4.1 – Графічне відображення дослідницької лабораторії в інституті надтвердих матеріалів.

Площа дослідницької лабораторії становить 48 квадратних метрів, на якій працюють дві людини. Таким чином, на кожного працівника припадає 24 квадратних метри простору. Роботи, що виконуються в цехах, відносяться до категорії Іб - легка, оскільки вони виконуються сидячи і не вимагають фізичного напруження відповідно до [51].

Параметри мікроклімату в лабораторіях і цехах підтримуються на таких рівнях: температура

- в холодний період (10 - 20) градусів Цельсія, а в теплий період року (19 - 25) градусів Цельсія; вологість

- (40 - 60) відсотків; швидкість руху повітря не перевищує 0,2 метра на секунду.

Значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в лабораторіях і цехах для легкої категорії Іб робіт не відповідають оптимальним вимогам, але знаходяться в межах припустимих значень для непостійних робочих місць в холодний та теплий періоди року, за винятком низьких значень температури в холодний період року, які є неприпустимо низькими. Пропонується

використання індивідуальних нагрівачів повітря в непрямій близькості до робочого місця працівника для досягнення припустимих значень [51].

4.3 Аналіз освітленості приміщення

Існує три види освітлення: природне, штучне і суміщене. Природне освітлення відбувається через світлові прорізи в зовнішніх огорожувальних конструкціях і має найбільш сприятливий спектральний склад. Воно може бути бічним, верхнім або комбінованим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості (КПО).

Штучне освітлення поділяється на загальне і комбіноване:

- Загальне освітлення використовує рівномірно розміщені світильники у верхній зоні приміщення або відповідно до розташування обладнання.

Комбіноване освітлення поєднує загальне освітлення з місцевим, коли світильники спрямовують світловий потік безпосередньо на робочі місця;

- Суміщене освітлення використовується тоді, коли природне освітлення недостатнє і його доповнюють штучним.

Недостатнє освітлення на робочих місцях є однією з причин низької продуктивності праці. Воно спричиняє напруженість очей, утруднює розрізнення предметів, погіршує якість та швидкість виконання роботи, а також загальний стан працівника. Засліплюваність, що виникає внаслідок надмірного освітлення, також має негативний вплив на зір та зорове сприйняття.

Для забезпечення комфортних умов роботи, рівень освітленості на робочих поверхнях повинен відповідати гігієнічним нормам для конкретного виду роботи згідно з [52]. Це означає, що освітлення має бути рівномірно розподілене на робочій поверхні і в навколишньому просторі, не повинно бути різких тіней, блиску в полі зору, а також має забезпечувати потрібний спектральний склад для правильної кольоропередачі.

У лабораторії, де проводяться зорові роботи середньої точності (розряд зорової роботи IV, підрозряд "в"), використовується суміщене освітлення.

Кількість світильників у приміщенні складає 8 штук, кожен з них містить 2 лампи. Також у лабораторії є 2 вікна загальною площею 12 м². Освітленість забезпечується на нормативному рівні.

4.4 Аналіз рівня шуму та вібрації

Головним джерелом шуму в лабораторії є робота сушильної шафи, при чому характер шуму є тональним. Сушильна шафа функціонує цілодобово.

Фактичний рівень шуму становить 30 дБА. Згідно норм, загальний рівень шуму в лабораторії не повинен перевищувати 75 дБА. Оскільки шум в лабораторії не перевищує встановлені норми, то він не має шкідливого впливу на людей.

4.5 Аналіз запиленості повітря

Вплив пилу на організм людини залежить від складу та походження пилу. При взаємодії з нетоксичним пилом може виникнути подразнення шкіри, що може привести до розвитку дерматиту. У разі проникнення пилу в легені, може спостерігатися професійне захворювання, таке як пневмоконіоз.

У лабораторії регулярно контролюється чистота повітря, враховуючи вміст пилу і шкідливих речовин. В робочій зоні повітря проходить періодичний моніторинг вмісту шкідливих речовин.

Для захисту органів дихання від попадання пилу рекомендується використовувати протипилові респіратори, згідно з [55]. Також встановлена механічна витяжна вентиляція марки С4.70 – 3.2 для локалізації шкідливих речовин.

Протипилові респіратори є засобами захисту органів дихання від різних типів аерозолів. У складі протипилових респіраторів використовуються

фільтрувальні матеріали з тонкими волокнами, які забезпечують ефективне утримання пилу та інших шкідливих частинок.



Рисунок 4.2 - Фото протипилового респіратора

4.6 Електробезпека

У лабораторії використовується електричне обладнання, яке живиться від стандартної мережі з напругою 220 В. Деякі пристрої, зокрема мікроскопи і комп'ютери, мають підвищену ізоляцію і закриті корпуси, що дозволяє їм захистити від пилу. Лабораторія відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки в інституті надтвердих матеріалів.

Електробезпека людей залежить від різних факторів, таких як вологість і температура повітря, електропровідність підлоги і стін, наявність хімічних речовин і електропровідного пилу в повітрі тощо. Для забезпечення безпеки використовується періодична перевірка стану ізоляції та недоступність струмоведучих частин.

Величина струму, який протікає через тіло, впливає на ступінь небезпеки електричного ураження. Величина струму в 25 мА вже може бути небезпечною, оскільки важко відірватись від провідника, а струм в 100 мА може призвести до смертельних наслідків.

У лабораторії були вжиті заходи для забезпечення безпеки, такі як належне заземлення корпусів, електроустаткування та приладів. Робочі місця розташовані таким чином, що виключається одночасний контакт з корпусами, електроустаткуванням та приладами.

Однак, можливими ситуаціями електричного ураження в лабораторії можуть бути пошкодження ізоляції та заземлення мікроскопу, електричного обладнання або розетки.

4.7 Аналіз пожежної безпека

Категорія приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначає вимоги щодо конструктивних та планувальних рішень промислових об'єктів. Ці вимоги враховують показники пожежовибухонебезпечності речовин та матеріалів, що знаходяться або використовуються у приміщенні. Згідно зі стандартом ДСТУ Б В.1.1-36:2016, приміщення поділяються на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д).

Залежно від категорії приміщень, лабораторії можуть відноситися до різних категорій вибухопожежної небезпеки. Наприклад, категорія Д включає лабораторії для приготування порошкових сумішей та проведення досліджень, де знаходяться негорючі матеріали, такі як порошки сVN. Категорія В може включати лабораторії з апаратами високого тиску, вакуумними печами та дробарками, де наявні негорючі порошки у розжареному стані та може випускатися горючий газ, наприклад, водень.

У приміщеннях, де працюють лабораторії, також потрібна система пожежної сигналізації. Ця система складається з технічних засобів, призначених для виявлення пожежі, передачі повідомлення про пожежу та видачі команд на включення автоматичних установок пожежогасіння і систем протидимного захисту. Пожежні сигналізаційні системи можуть бути променевими або кільцевими, залежно від схеми включення сповіщувачів.

У системах сповіщення використовуються різні типи сповіщувачів, які реагують на дим, тепло та світло. Чутливі елементи сповіщувачів можуть бути зроблені з біметалів, термопар, напівпровідників та інших матеріалів.

Отже, вимоги щодо пожежо- та вибухобезпеки лабораторій значною мірою визначаються їх категорією вибухопожежної та пожежної небезпеки, і враховуються при проектуванні та обладнанні цих приміщень.

Кожна лабораторія також має мати схему евакуації людей під час пожежі, щоб забезпечити їх безпеку (рис 4.3).

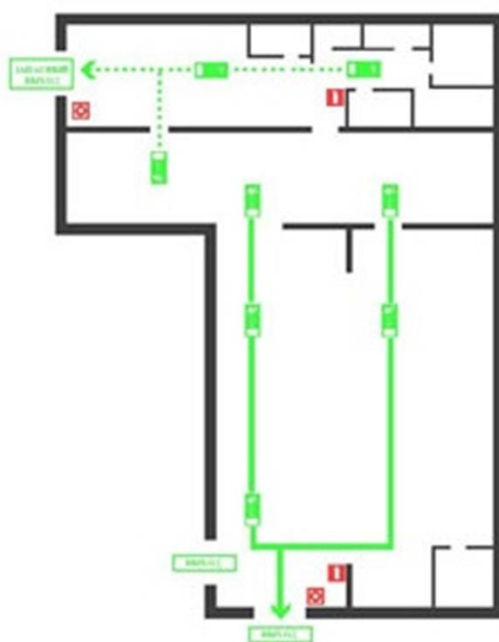


Рисунок 4.3 – План евакуації

У Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАНУ України значна частина обладнання працює на електриці, тому основним засобом гасіння пожежі є вогнегасники типу ОУ-2. Для виявлення пожеж у лабораторіях використовується автоматична пожежна сигналізація, яка включає плавкові датчики. Ці датчики активуються при підвищенні температури, що спричиняє плавлення їхніх елементів, і спрацьовують, сповіщаючи про виникнення пожежі.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Науково-технічна актуальність НДР

Стан і рівень розвитку технології обробки матеріалів є важливим фактором для технічного прогресу і економічного зростання будь-якої країни. Використання нових інструментальних надтвердих матеріалів, зокрема полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бору (PCBN), сприяє підвищенню продуктивності праці і покращенню якості обробки металів. Властивості PCBN визначають надійність та економічність інструментів в умовах високих навантажень, температур, швидкостей, хімічної взаємодії з матеріалами та забезпечують високу точність геометрії обробки і якість оброблених поверхонь. Зростаючі вимоги машинобудування ставлять перед нами завдання дослідження та розробки нових PCBN матеріалів, що робить цю проблему актуальною в галузі матеріалознавства.

Але у даній роботі ми розглянемо нітрид бору (BN). Він має деякими важливими перевагами, але також має свої недоліки. Основні переваги та недоліки нітриду бору наступні:

Переваги нітриду бору:

- Термічна стабільність: Нітрид бору має високу термічну стабільність і здатність витримувати дуже високі температури без деградації чи розкладу.

- Висока твердість: Нітрид бору є одним з найтвердіших матеріалів, що відомі. Він має схожу з алмазом твердість, що робить його використовуваним матеріалом в областях, де потрібна висока стійкість до зношування і твердість.

- Хороша теплопровідність: Нітрид бору відзначається хорошою теплопровідністю, що робить його використовуваним матеріалом для теплопровідних компонентів, таких як радіатори, теплопровідні пластини і теплопровідні пасти.

- Діелектричні властивості: Нітрид бору є хорошим діелектриком, тобто він має низьку електричну провідність і може використовуватись в електроніці та напівпровідниковій промисловості для ізоляції та захисту компонентів.

Недоліки нітриду бору:

- Висока вартість: Виробництво нітриду бору вимагає спеціального обладнання та процесів, що можуть призвести до високої вартості матеріалу.
- Обмежена доступність: Нітрид бору не є настільки загальнопоширеним матеріалом, як деякі інші. Його використання може бути обмеженим через обмежену доступність на ринку.
- Крихкість: Нітрид бору може бути крихким матеріалом, що означає, що він може легко розбиватись або тріснути під впливом механічного напруження.

Враховуючи ці переваги та недоліки, нітрид бору застосовується в різних галузях, таких як високотемпературні застосування, електроніка, теплові компоненти та інші, де його властивості найбільш вигідні або необхідні.

5.2 Розрахунок планових витрат

Проведення розрахунку всіх витрат, пов'язаних з виконанням науково-дослідної роботи (НДР), дозволяє встановити її собівартість або кошторисну вартість. Кошторис розробляється виконавцем робіт на основі календарного плану проведення досліджень і підлягає затвердженню замовником або фінансуючим органом. Зазвичай, кошторис складається перед початком виконання робіт і називається плановим кошторисом.

Нижче наведені методичні рекомендації щодо визначення витрат на проведення робіт в рамках НДР, розглянуті з точки зору типових статей кошторисної вартості (калькуляції собівартості). Ці рекомендації допоможуть визначити розмір витрат, пов'язаних з реалізацією НДР.

5.2.1 Витрати на оплату праці науково-дослідницького персоналу

За цією статтею витрат враховуються заробітна плата прямих виконавців теми, а заробітна плата адміністративно-управлінського персоналу та працівників дослідних виробництв включається у кошторисну вартість через статтю "Накладні витрати". Враховуючи, що для тем, що фінансуються з державного бюджету, не передбачається прибуток, у цю статтю витрат включається лише основна заробітна плата (без премій та інших виплат, які здійснюються з прибутку).

Для розрахунку витрат на оплату праці використовуються дані про трудомісткість окремих робіт, які зазначені у (табл. 5.1), а також посадові оклади безпосередніх виконавців, які вказані у (табл. 5.2).

Загальна трудомісткість робіт, які виконує студент (інженер-дослідник) безпосередньо, визначається згідно навчального плану для відповідного напрямку підготовки.дослідником), визначається навчальним планом відповідного напрямку підготовки.

Таблиця 5.1 – Трудомісткість етапів

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів			
	Провідний науковий співробітник	Старший науковий співробітник	Інженер-дослідник	Аспірант
1	2	3	5	7
1. Підготовчий етап	1	2	3	–
2. Аналіз науково-технічних публікацій з теми	–	4	12	–

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	5	7
3. Виконання дослідницької роботи	7	30	65	65
Разом за виконавцями теми	8	36	80	65

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць). Витрати на посадові оклади безпосередніх виконавців містить інформацію таблиця 4.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада	Планова трудомісткість, люд.-днів	Заробітна плата, грн		
		Місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1	2	3	4	5
1.Провідний науковий співробітник	16	9000	424,52	6792,32
2.Старший науковий співробітник	72	8500	400,94	28867,68
3. Інженер-дослідник	160	6000	283,01	45281,6
4. Аспірант	130	6705	316,27	41155,5
Разом оплата праці з теми				122097,1

5.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) – це обов’язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Базою для нарахування ЄСВ слугують загальні витрати на оплату праці по темі (підсумок по табл.4.2).

$$\text{ЄСВ} = \text{ЗП} \cdot 0,22$$

де ЗП – загальні витрати на оплату праці по темі.

Наразі ЄСВ буде становити:

$$\text{ЄСВ} = 122097.1 \cdot 0,22 = 26861.36 \text{ грн.}$$

5.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

У цій статті враховуються всі витрати на матеріали, необхідні для проведення науково-дослідної роботи, включаючи вартість використаних матеріалів та відходів, які можуть бути використані повторно.

Дослідження, які проводяться на інженерно-фізичному факультеті, передбачають використання різних типів матеріалів, зокрема шихтових матеріалів, технологічних матеріалів для термічної, хіміко-термічної обробки та нанесення спеціальних покриттів, хімічних реактивів, а також витратних матеріалів для офісної техніки та інших потреб.

Результати розрахунків наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування матеріалу	Стандарт	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1. Порошок cBN		гр	5	1275	6375
2. Сплави - розчинники		шт	8	1100	8800
Загальні витрати на матеріали					15175

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо на рівні 10 % від планової вартості загальних витрат на матеріали:

$$T_v = 15175 * 0,1 = 1517,5 \text{ грн.}$$

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити:

$$B_m = 15175 + 1517,5 = 16692,5 \text{ грн.}$$

5.2.4 Енергоносії для проведення досліджень

Оскільки всі роботи проводились безпосередньо в Інституті надтвердих матеріалів імені В.М. Бакуля НАН України, витрати на енергоносії не враховано.

5.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

У даній роботі використовується наявне обладнання, зокрема АВТ типу "тороїд" і скануючий мікроскоп. Усе це обладнання є власністю Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, тому витрати на оренду обладнання не враховуються.

5.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій

Оскільки всі необхідні дослідницькі установки вже були наявні, у цій роботі не виникало потреби орендувати їх. Вивчення зразків проводилося безпосередньо в лабораторіях Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, тому витрати на послуги сторонніх організацій не включалися.

5.2.7 Витрати на службові відрядження

Всі дослідження проводились безпосередньо в лабораторіях Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, тому не було необхідності витрачати кошти на відрядження.

5.2.8 Інші прямі невраховані витрати

У цій статті поєднуються всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до попередніх статей. При проведенні роботи інші прямі витрати приймаємо на рівні 10 % від суми врахованих витрати на виконання НДР.

$$I_{\text{в}} = (\text{ЗП} + \text{ЄСВ} + \text{В}_{\text{м}}) \cdot 0,1.$$

Наразі $I_{\text{в}}$ буде становити:

$$I_{\text{в}} = (122097,1 + 26861,36 + 16692,5) \cdot 0,1 = 16565,1 \text{ грн.}$$

5.2.9 Накладні витрати

Накладні витрати включаються до калькуляції кошторисної вартості теми пропорційно обсягам витрат на оплату праці основних виконавців або пропорційно сумі прямих витрат на виконання теми досліджень по нормативам організації-виконавця цього дослідження.

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних засобів; витрати на науково-технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо.

Розглянемо варіант розрахунку накладних витрат пропорційно сумі прямих витрат на рівні 20 %.

$$H_{\text{в}} = (ЗП + \text{ЄСВ} + V_{\text{м}} + I_{\text{в}}) \cdot 0,2.$$

Наразі $H_{\text{в}}$ буде становити:

$$H_{\text{в}} = (122097,1 + 26861,36 + 16692,5 + 16565,1) \cdot 0,2 = 36443,21 \text{ грн.}$$

5.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних (табл.5.4).

Таблиця 5.4 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	122097,1	За розрахунками
2.Єдиний соціальний внесок	26861,36	22,0 % від ЗП
3.Матеріали для проведення досліджень	15175	За розрахунками
4.Енергоносії для проведення досліджень	–	Не планується
5.Спецобладнання для наукових цілей	–	Не планується
6.Вартість послуг сторонніх організацій	–	Не планується
7.Витрати на службові відрядження	–	Не планується
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	16565,1	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9.Накладні витрати	36443,21	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10.Усього витрат	217141,77	Сума попередніх статей

5.3 Науково-технічна ефективність НДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту НДР необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи. Проте він може бути розрахований лише по НДР, які безпосередньо спрямовані на створення нових

матеріалів, покращення параметрів якості продукції, а також створення нових конструкцій.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

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

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;

б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;

в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;

г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;

д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;

б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;

в) результати розробки можуть бути використані декількома організаціями – 5 балів.

г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;

д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо – 6 балів;

д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;

б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;

в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;

г) робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;

д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4.$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 5.5 становить:

$$B = 3 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 9 = 405$$

Таблиця 5.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1	2	3	4
1. Важливість розробки	K ₁	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	K ₂	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	5
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K ₃	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	5
1	2	3	4
4. Складність дослідження	K ₄	Робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень	9

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}},$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1-0,3);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 1.4);

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{ндр}} = 500 * 675 - 0,2 * 217141,77 = 294\,071,646 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{ндр}}}{V_{\text{ндр}}} \quad (5.5)$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{294\,071,646}{217141,77} = 1,354$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 1,354 (перевищує одиницю), що свідчить про доцільність її виконання.

ВИСНОВКИ

1. При вивченні закономірностей структуроутворення матричного (полікристалічного) матеріалу в процесі спікання нанокристалічних (*nc*) вихідних порошків в умовах високих тисків (7–9 ГПа) в широкому діапазоні температур (25–2500 °С) на прикладі поведінки оксидних (*nc*-Y₃Al₅O₁₂, *nc*-Y₂O₃, *nc*-Y₂O₃:Eu³⁺) і нітридних (*nc*-TiN, *nc*-BN) систем встановлено, що: а) В разі оксидних сполук надвисока питома поверхня внутрішніх границь, що містять адсорбований кисень, сприяє консолідації нанодисперсної системи, причому під дією високого тиску в системах *nc*-Y₃Al₅O₁₂, *nc*-Y₂O₃, а також *nc*-Y₂O₃:Eu³⁺ і *nc*-Y₂O₃:Nd³⁺ утворюється прозора кераміка вже при температурі 200–450 °С, що в 3–4 рази нижче рівня температур, що використовують в традиційних технологіях одержання оптичної кераміки Y₂O₃. б) В разі неоксидних сполук на прикладі *nc*-TiN і *nc*-BN показано, що роль кисню навпаки виключно негативна, внаслідок участі його в деструктивних процесах, які блокують консолідацію. в) При відсутності кисню в вихідному нанокристалічному піролітичному BN в результаті твердофазного перетворення формується високощільна здвійникована на наномасштабному рівні структура *c*BN.

2. Встановлено методами електронної мікроскопії що в структурі композитів системи *c*BN–Al–TiN зерна *c*BN сильно деформовані і оточені дрібнодисперсною зв'язкою, в складі якої AlN і TiB₂ з розміром зерен 10 – 100 нм, та зерна вихідного субмікронного TiN.

3. Вивчено надтвердий композит кубічного нітриду бору шляхом спікання в сталевих апаратах високого тиску шихти складу *c*BN–TiN–Al при температурі 1600–1750 К і тиску 4,2 ГПа. Особливості структури композиту – рівномірно розподілена навколо зерен *c*BN нанодисперсна зв'язка на основі нітриду алюмінію і дибориду титану-алюмінію, що утворилася в процесі реакційної взаємодії між компонентами шихти. Композит містить 70 % за об'ємом надтвердої фази (*c*BN) з розміром зерен 3 – 7 мкм, безпористий, його густина

3,63-3,65 г/см³, твердість за Кнупом 27-29 ГПа, тріщиностійкість 8-10 МПа*м^{1/2}, електропровідність 30 ом⁻¹*м⁻¹, розміри зразків – до 30 мм по діаметру і до 15 мм по висоті. Области застосування композиту – чистова та напівчистова обробка загартованих сталей, важкооброблюваних матеріалів, легованих і зносостійких чавунів, а також конструкційна кераміка.

4. Було ідентифіковано потенційно шкідливі впливи на працівників, і були розроблені заходи з протидії, що забезпечують здорове робоче середовище та механізми безпеки в надзвичайних обставинах.

5. Також були виконані економічно-організаційні завдання, на основі яких визначено витрати на проведення науково-дослідної роботи і обчислено науково-технічну ефективність даної роботи.

CONCLUSIONS

1. When studying the patterns of structure formation of a matrix (polycrystalline) material during the sintering of nanocrystalline (nc) starting powders under conditions of high pressure (7–9 GPa) in a wide temperature range (25–2500 °C) using the example of the behavior of oxide (nc-Y₃Al₅O₁₂, nc-Y₂O₃, nc-Y₂O₃:Eu³⁺) and nitride (nc-TiN, nc-BN) systems, it was established that: a) In the case of oxide compounds, the extremely high specific surface of the internal boundaries containing adsorbed oxygen contributes to the consolidation of the nanodisperse system, and under the action of high pressure in the nc-Y₃Al₅O₁₂, nc-Y₂O₃, as well as nc-Y₂O₃:Eu³⁺ and nc-Y₂O₃:Nd³⁺ systems, transparent ceramics are formed already at a temperature of 200–450 °C, which is 3–4 times lower than the temperature level that used in traditional technologies for obtaining Y₂O₃ optical ceramics. b) In the case of non-oxide compounds, using the example of nc-TiN and nc-BN, it is shown that the role of oxygen, on the contrary, is exclusively negative, due to its participation in destructive processes that block consolidation. c) In the absence of oxygen in the original nanocrystalline pyrolytic BN, as a result of the solid-phase transformation, a high-density twinned cBN structure is formed at the nanoscale level.

2. It was established by the methods of electron microscopy that in the structure of the composites of the cBN–Al–TiN system, the cBN grains are strongly deformed and surrounded by a finely dispersed bond, which includes AlN and TiB₂ with a grain size of 10–100 nm, and grains of the original submicron TiN.

3. An ultrahard composite of cubic boron nitride was studied by sintering in high-pressure steel apparatus a charge of cBN–TiN–Al composition at a temperature of 1600–1750 K and a pressure of 4.2 GPa. Features of the composite structure are a nanodisperse bond based on aluminum nitride and titanium-aluminum diboride evenly distributed around the cBN grains, formed in the process of reaction between the components of the charge. The composite contains 70% by volume of superhard phase (cBN) with a grain size of 3–7 μm, non-porous, its density is 3.63–3.65 g/cm³, Knoop hardness is 27–29 GPa, crack resistance is 8–10 MPa* m^{1/2}, electrical conductivity 30

ohm-1*m-1, sample sizes - up to 30 mm in diameter and up to 15 mm in height. Areas of application of the composite are finishing and semi-finishing of hardened steels, difficult-to-process materials, alloyed and wear-resistant cast irons, as well as structural ceramics.

4. Potentially harmful exposures to workers have been identified and countermeasures have been developed to ensure a healthy work environment and emergency safety mechanisms.

5. Economic and organizational tasks were also performed, on the basis of which the costs of carrying out scientific and research work were determined and the scientific and technical efficiency of this work was calculated.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Новиков Н.В., Шульженко А.А., Беженар Н.П. и др. Поликристаллические материалы на основе кубического нитрида бора // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: сборник научных трудов — Киев: ИСМ НАН Украины, 2005. — С. 122—128.
2. Barry J., Akdogan G., Smyth P. et al. Application areas for PCBN materials // Industrial Diamond Rev.—v.66, №3. — 2006. — p. 46—53.
3. Polycrystalline cubic boron nitride (Amborite)/Element six // <http://www.e6.com/e6/intro.htm>.
4. PCBN Cutting Tool Products / [http:// www.megadiamond.com/products_pcbn.aspx](http://www.megadiamond.com/products_pcbn.aspx).
5. Microbor nanotex. [Новые сорта КНБ](#). Новые решения для обработки твердых материалов // www.microbor.com
6. All Taegu Tec Products. Metalworking cutting tools 2011 // [http:// pdf.directindustry.com/pdf/taegu-tec/main-catalog-2013/5523-436685.html#](http://pdf.directindustry.com/pdf/taegu-tec/main-catalog-2013/5523-436685.html#)
7. LLC Tungaloy Rus. Режущий инструмент, токарный инструмент // <http://www.tungaloy.co.jp/ru/>
8. Sumiboron PCBN Blanks/ <http://www.sumitomodiamond.com/boron.htm>.
9. Новиков Н.В., Шульженко А.А., Беженар Н.П. и др. Киборит: получение, структура, свойства, применение // Сверхтвердые материалы.- 2001. №2.- С. 40 - 51.
10. Беженар Н.П., Гарбуз Т.А., Коновал С.М. Исследование особенностей формирования структуры поликристаллов кубического нитрида бора при сверхвысоких давлениях и разработка новых материалов // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. науч. конф., (Минск, 15-18 окт. 2013). В 3 т. Т3. С 215-216.
11. Туркевич В.З., Беженар Н.П., Петруша И.А. Сверхтвердые композиционные материалы на основе кубического нитрида бора // Физико-

технические проблемы современного материаловедения. В 2-х т., Т.2. К.: Академперіодика, 2013.- С. 254-282.

12. Беженар Н.П., Божко С.А., Гарбуз Т.А. и др. Фазовый состав и структура композитов cBN-TiB₂-Al // Физика и техника высоких давлений. – 2009. – Т. 19. - № 1. – С. 102-115.

13. Гарбуз Т.А., Беженар Н.П., Божко С.А. и др. Композиты cBN, упрочненные высокомолекулярными боридами // Сб. «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент — техника и технология его изготовления и применения». – 2010. – Вып. 13. – С. 332-337.

14. Беженарь Н.П., Божко С.А., Белявина Н.Н., Маркив В.Я. Физико-химическое взаимодействие при спекании в условиях высокого давления сфалеритного нитрида бора с нитридом титана // Сверхтвердые материалы. - 1997.- N1.- С. 9-13.

15. Алямовский С.И., Зайнулин Ю.Г., Швейкин Г.П. Оксикарбиды и оксинитриды металлов IV-а и V-а подгрупп.- 1981.-Москва: Наука.-144 с.

16. Беженарь Н.П., Божко С.А., Белявина Н.Н., Маркив В.Я. Физико-химическое взаимодействие сфалеритного нитрида бора с карбидом титана при спекании в условиях высокого давления // Сверхтвердые материалы. - 1996.- №6.- С.54-61.

17. Беженарь Н.П., Божко С.А., Белявина Н.Н., Маркив В.Я. Исследование твердофазного взаимодействия при спекании сфалеритного нитрида бора с карбидом и нитридом титана в присутствии кислорода при высоком давлении // Сверхтвердые материалы.- 1998.- N2.- С. 29-35.

18. Самсонов Г.В., Виноцкий И.М. Тугоплавкие соединения: Справочник. - М.: Металлургия, 1976. -560 с.

19. Rong Xiao-Zheng, Tsurumi Takaaki, Fukunaga Osamu, Yano Toyohiko. High-pressure sintering of cBN-TiN-Al composite for cutting tool Application // Diamond and Related Materials, 2002, №11 P. 280–286

20. Пат. 25281А, Україна, МКИ С04В35/5831. Спосіб спікання композиційного матеріалу на основі кубічного нітриду бору / М.В. Новіков,

О.О. Шульженко, М.П. Беженар, С.А. Божко. - Заявл. 21.07.97, Опубл. 25.12.98, бюл. № 6.

21. Malik Adeel Umera, Park Hee Subb, Dong Ju Leea, Ho Jin Ryuc, Soon Hyung Honga. Polycrystalline cubic boron nitride sintered compacts prepared from nanocrystalline TiN coated cBN powder // Materials Science and Engineering.- 2012.- A 552.- P. 151– 156

22. Hee S. Park, M. Adeel Umer, Ho J. Ryu, and Soon H. Hong. Preparation of Nanocrystalline TiN Coated Cubic Boron Nitride Powders by a Sol–Gel Process // Journal of Nanoscience and Nanotechnology.- 2011.- Vol. 11.- P. 363–367,

23. Makinori Hotta and Takashi Goto. Spark plasma sintering of TiN – cubic BN composites // Journal of the Ceramic Society of Japan.- 2010.- V. 118 [2] P. 137 – 140

24. Makinori Hotta and Takashi Goto. Densification and microstructure of Al₂O₃–cBN composites prepared by spark plasma sintering Journal of the Ceramic Society of Japan.- 2008.- V. 116 [6] P.744-748

25. Hideaki Itoh, Yamamoto, R. and Iwahara, H. B₆O-c-BN Composites Prepared by High-Pressure Sintering // Journal of the American Ceramic Society.- 2000.- Vol. 83.- P. 501–506.

26.Сверхтвердые материалы. Монография в 6 томах. Т.1: Синтез алмаза и подобных материалов. \Под ред. А.А.Шульженко. Киев: ИСМ, ИПЦ «Алкон» НАНУ, 2003.- С. 234-258.

27. Новый подход к моделированию полей // <http://elcut.ru>

28. Исследовать условия получения, физико-механические и эксплуатационные свойства композитов на основе КНБ диаметром до 25 мм (отчет по теме 0192) / Ин-т сверхтвердых материалов НАН Украины, инв. № отчета ИСМ 6772 - Киев, 1995. – 123с.

29. Беженар Н.П. Об изменении давления в рабочем объеме АД при спекании порошков кубического нитрида бора. // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. Киев, ИСМ НАН Украины, 2000.- С.120-130.

30. Компьютерное моделирование и сравнительный анализ эффективности слоистого и объемнораспределенного размещения фазовых составляющих в

ячейках различных типов АД при синтезе алмазов: Отчет о НИР / Ин-т сверхтв. материалов НАН Украины. – № ГР 0195U027176. – Киев, 1996. – 161 с.

31. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В. Г. Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

32. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике: Справ. / Под ред. Б. Е. Неймарк. – М.; Л.: Энергия, 1967. – 240 с.

33. Материалы для электротермических установок: Справ. пособие / Под ред. М. Б. Гутмана. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 296 с.

34. Шульженко А.А., Божко С.А., Беженарь Н.П. и др. Спекание кубического нитрида бора с алюминием // Сверхтвердые материалы.-1986.-N5.- - С.14-17.

35. Беженар Н.П., Божко С.А., Белявина Н.Н. и др. Фазовый состав поликристаллов, полученных при реакционном спекании кубического нитрида бора с алюминием // Сверхтв. материалы.— 2002.— №1.— С. 37—48.

36. Беженар М.П., Божко С.А., Нагорний П.А. та ін. Взаємодія кубічного нітриду бору з алюмінієм в присутності вуглецю // Сверхтвердые материалы.- 2000. №4.- С. 36-40.

37. Беженар Н.П., Божко С.А., Гарбуз Т.А. та ін. Дибориди титану/алюмінію в композитах, отриманих реакційним спіканням при високому тиску в системі cBN–TiC–Al // Сверхтвердые материалы. —2008.—№5.— С. 40-50.

38. Беженар Н.П., Коновал С.М., Гарбуз Т.А. и др. Твердые растворы в системах cBN – Al и cBN – Al - TiB₂, полученные при высоких давлениях и температурах// Физика и техника высоких давлений, 2011, том 21, №1, С. 102-108.

39. Беженарь Н.П. О нестехиометрии кубического нитрида бора // Сверхтв. материалы. – 1998. – №5. – С. 13–19.

40. Шульженко О.О., Беженар М.П., Соколов О.М., Божко С.А. Структурні вакансії в кристалічній ґратці сфалеритного нітриду бору / // Доп. НАНУ – 2000, – №7. – С. 108–114.

41. Гаршин А.П., Швайко-Швайковский В.Е. Механизм окисления и нестехиометрия кубического нитрида бора // ДАН РАН. Физ. химия. – 1992. – № 5. – С.1034–1037.

42. Беженарь Н.П., Божко С.А., Белявина Н.Н., Маркив В.Я. Исследование твердофазного взаимодействия при спекании сфалеритного нитрида бора с карбидом и нитридом титана в присутствии кислорода при высоком давлении // Сверхтв. материалы. – 1998. – №2. – С. 29–35.

43. Алямовский С.И., Зайнулин Ю.Г., Швейкин Г.П. Оксикарбиды и оксинитриды металлов IV-а и V-а подгрупп. – 1981. – М: Наука, – 144 с.

44. Беженар М.П. Дослідження пластичної деформації та утворення твердих розчинів при спіканні кубічного нітриду бору з тугоплавкими сполуками // Сверхтв. материалы. – 1999. – №2. – С. 24–28.

45. Беженар Н.П., Коновал С.М., Гарбуз Т.А. и др. Твердые растворы в системах $c\text{BN}-\text{Al}$ и $c\text{BN}-\text{Al}-\text{TiB}_2$, полученные при высоких давлениях и температурах // Физика и техника высоких давлений. – 2011. – т. 21. – № 1. С. 102–108.

46. Беженар М.П., Божко С.А., Гарбуз Т.О., та ін. Дибориди титану/алюмінію в композитах, отриманих реакційним спіканням при високому тиску в системі $c\text{BN}-\text{TiC}-\text{Al}$ // Сверхтв. материалы. – 2008. – № 5. – С. 40–50.

47. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова. – Обработка материалов лезвийным инструментом. / Под ред. С. А. Клименко. – Киев: ИСМ им В. Н. Бакуля; ИПЦ «Алкон» НАНУ, 2006. – Т. 5. – 316 с.

48. Шульженко А.А., Беженар Н.П., Ткач С.В. и др. Формирование структуры и твердость композитов кубического нитрида бора при реакционном спекании на твердосплавной подложке. // Сверхтв. материалы. – 2005. – №3. – С. 3 – 13.

49. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін. Основи охорони праці: підручник [Текст]. – Киев : Основа, 2011. – 474 с.

50. Про охорону праці [Електронний ресурс] : Закон України від

14.10.1992 р. № 2695-ХІІ. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>, вільний. – (дата звернення: 04.06.2021). – Назва з екрану.

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

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

53. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст] : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний з 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 34 с.

54. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [Текст] : ДСН 3.3.6.039-99. – Чинний з 1999-12-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 30 с.

55. ДСТУ ГОСТ 12.2.061:2009. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.

56. Про пожежну безпеку [Електронний ресурс] : Закон України від 17.12.1993 № 3745-ХІІ. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12#Text>, вільний. – (дата звернення: 04.06.2021). – Назва з екрану.

57. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016 – [Чинний від 2017-01-01] – Київ : Національний стандарт України, 2016. – 34 с.

58. Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони, N 741/35024 від 03.08.2020 р.

59. Методичні рекомендації до розробки економічної частини дипломних проектів і робіт освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» та «бакалавр» для студентів інженерно-фізичного факультету спеціальності 7.090102 «Фізичне матеріалознавство», 7.090103 «Композиційні та порошкові матеріали та покриття», 7.090104 «Металознавство», 7.090403 «Ливарне виробництво чорних і кольорових

металів» та 7.090405 «Спеціальна металургія» денної та заочно-дистанційної форм навчання [Текст] / Уклад.: В. І. Кривда, С. В. Нараєвський, Н. О. Черненко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 52 с.