

## Силабус

### по вивченню дисципліни «Матеріалознавство керамічних і надтвердих матеріалів» для аспірантів, спеціальність 132 «Матеріалознавство»

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,  
академік НАН України



В.З. Туркевич

« 3 » \_\_\_\_\_ 2019 р.

#### 1. Викладачі

***Бочечка Олександр Олександрович, д.т.н., старший науковий співробітник.***

Контактний телефон: (044) 379-14-47; bochchka@ism.kiev.ua

*Наукові інтереси:* Дослідження фізико-хімічних процесів в твердій фазі і розплавах, вивчення взаємодії надтвердих речовин з газами і рідким середовищем при формуванні в широкому діапазоні температур і тисків монокристалічних, полікристалічних, дисперсних, плівкових надтвердих матеріалів і композитів на їх основі. Вивчення структури і властивостей синтезованих матеріалів. Фізичні дослідження кристалів сучасними методами.

***Пріхна Тетяна Олексіївна, член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор.***

Контактний телефон: (044) 430-11-26; Prikhna@nas.gov.ua

*Наукові інтереси:* Створення дисперсних надтвердих і наноламінатних кристалічних матеріалів і консолідованих композиційних функціональних і конструкційних матеріалів (надпровідних, надтвердих, жароміцних, електропровідних, теплопровідних, удароміцних, зносостійких, з високим рівнем поглинання НВЧ випромінювання, смарт та ін.), властивості яких визначаються цілеспрямовано сформованою структурою, із застосуванням техніки високих та підвищених тисків, вакуумного і компресійного спікання, а також надпровідних плівкових матеріалів і джозефсонівських переходів, дослідження структури, фундаментальних фізико-хімічних характеристик створених матеріалів, встановлення взаємозв'язків між умовами отримання, структурою і властивостями, розробка нових промислових технологій.

***Бондаренко Володимир Петрович, член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор.***

Контактний телефон: (044) 430-35-05; Bondarenko@nas.gov.ua

*Наукові інтереси:* теоретичні основи створення та технології виробництва композиційних матеріалів на основі тугоплавких сполук і надтвердих матеріалів; розробка нового обладнання і оснащення для промислового виробництва тврдосплавних деталей для апаратів високого тиску, підшипників ковзання, бурового інструменту.

## 2. Назва, код дисципліни та кількість кредитів.

«Матеріалознавство керамічних і надтвердих матеріалів» спеціальність 132 «Матеріалознавство», код: 132, кількість кредитів – 5.

## 3. Місце проведення навчальної дисципліни та час.

ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України; відповідно до розкладу.

Розділ дисципліни, викладач	Час проведення лекції (корп. 2, кімн. 301)	
	1 курс (модуль 1)	2 курс (модуль 2)
Надтверді матеріали: одержання, властивості, застосування. Бочечка О.О.	21.01.20 – 11-00	22.01.20 – 11-00
	21.02.20 – 9-00	18.02.20 – 11-00
	18.03.20 – 9-00	16.03.20 – 9-00
	06.04.20 – 9-00	08.04.20 – 9-00
	13.05.20 – 9-00	06.05.20 – 9-00
Керамічні матеріали: одержання, властивості, застосування. Пріхна Т.О.	17.01.20 – 11-00	11.02.20 – 11-00
	28.02.20 – 11-00	03.03.20 – 11-00
	10.04.20 – 11-00	27.03.20 – 11-00
	20.05.20 – 11-00	27.04.20 – 11-00
		25.05.20 – 11-00
Вольфрамові тверди сплави: одержання, властивості, застосування. Бондаренко В.П.	24.01.20 – 9-00	28.01.20 – 9-00
	17.02.20 – 9-00	25.02.20 – 11-00
	20.03.20 – 11-00	16.03.20 – 11-00
	31.03.20 – 9-00	14.04.20 – 9-00
	28.04.20 – 9-00	26.05.20 – 9-00

**4. Пререквізити навчальної дисципліни:** знати основні поняття матеріалознавства, володіти знаннями про властивості надтвердих та керамічних матеріалів, що використовується у науці, фізиці, техніці; володіти методами зміни властивостей матеріалів використовуючи різні технології їх обробки; знати основні підходи при оцінюванні варіантів створення матеріалів інструментального призначення та факторів локального і глобального впливу на їх структуру та властивості; володіти концептуальними та методологічними знаннями в галузі технічних наук; знати основні закономірності та принципи виготовлення і застосування сучасних інструментальних і конструкційних матеріалів у виробничому комплексі; вміти використовувати сучасні інформаційні джерела національного та міжнародного рівня для оцінки стану вивченості об'єкту досліджень і актуальності наукової проблеми; мати навички роботи з сучасним обладнанням при проведенні експериментальних досліджень з матеріалознавства.

**Постреквізити:** в результаті вивчення дисципліни будуть отримані знання основ створення основних надтвердих матеріалів (керамічних матеріалів, алмазу, твердих сплавів, матеріалів на основі кубічного нітриду бору, наноматеріалів тощо) та їх обробки (нагрівання, плавлення, кристалізація, пресування тощо); отримання матеріалів з певними властивостями (електричними, механічними, тепловими та іншими); на основі законів фізики та технічних дисциплін передбачати отримання матеріалів з наперед заданими властивостями; особливості побудови керамічних і надтвердих матеріалів, технологічні підходи до отримання керамічних і надтвердих матеріалів; сучасні методи вивчення структури та властивостей керамічних і надтвердих матеріалів; проектувати, аналізувати і вибирати технології отримання керамічних і надтвердих матеріалів; читати та оформляти технічну документацію; використовувати отримані знання при виконанні дослідження та захисті її результатів у вигляді дисертації на здобуття наукового ступеню доктора філософії.

### 5. Вимоги навчальної дисципліни.

Вивчення курсу «Матеріалознавство керамічних і надтвердих матеріалів» являється обов'язковим. Об'єм навчального навантаження складає 5 кредитів із них 60 годин – лекції, 90 години – самостійна робота. Вивчення наукової дисципліни вимагає обов'язкове відвідування аудиторних занять, активну участь в обговоренні питань, якісне і своєчасне виконання завдань самостійної роботи, а також участь у всіх видах контролю.

### 6. Характеристика дисципліни.

*Завдання учбової дисципліни.* Освоїти сучасні уявлення щодо керамічних і надтвердих матеріалів.

*Мета викладання дисципліни* – опанування новітніми знаннями щодо створення та властивостей сучасних керамічних і надтвердих матеріалів – фізико-механічних, хімічних властивості, експлуатаційних.

*План викладання дисципліни:*

Назва змістовних модулів і тем	Кількість годин		
	усього	у тому числі	
		аудиторні	само- стійна робота
<b>Модуль 1</b>			
<b>Змістовний модуль 1. Надтверді матеріали: одержання, властивості, застосування</b>			
<b>Тема 1. Будова надтвердих матеріалів</b> (Бочечка О.О.): – будова електронних оболонок атома карбону; – орбітальна модель атома карбону в $sp^3$ -гібридизованому стані; – кристалічна ґратка алмазу та сфалериту; – класифікація кристалів алмазу за фізичними	5	2	3

<p>властивостями; – означення і характерні властивості полікристалу.</p>			
<p><b>Тема 2.</b> Спонтанна кристалізація (синтез) алмазу (Бочечка О.О.): – фазова діаграма «алмаз-графіт»; – механізм кристалізації алмазу при взаємодії графіту з металами-розчинниками карбону в умовах високого тиску та високої температури; – визначення та статистичний опис показника міцності порошків надтвердих матеріалів; – механізми графітизації алмазу.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 3, 4.</b> Виготовлення алмазних порошків різних марок та дисперсності з продукту синтезу алмазу (Бочечка О.О.): – класифікація, характеристика основних властивостей та призначення шліф-, мікро- та субмікропорошків алмазу; – технологічна схема виготовлення шліф- та мікропорошків алмазу з продукту синтезу; – технологія сортування порошків алмазу за дефектами; – контроль якості порошків надтвердих матеріалів.</p>	10	4	6
<p><b>Тема 5.</b> Спонтанна кристалізація (синтез) кубічного нітриду бору (Бочечка О.О.): – будова кристалічних ґраток гексагонального, вюрцитного та кубічного нітриду бору; – фазова діаграма нітриду бору; – ініціатори перетворення гексагонального нітриду бору в кубічний; – особливості одержання та застосування порошків кубічного нітриду бору марок «кубоніт» та «кибор».</p>	5	2	3
<p><b>Змістовний модуль 2. Керамічні матеріали: одержання, властивості, застосування</b></p>			
<p><b>Тема 6.</b> Основні методи синтезу та спікання керамічних матеріалів і обладнання, що при цьому застосовується (Пріхна Т.О.): – механічне активування вихідних сумішей; – вільне спікання у вакуумі та захисних атмосферах (азот, аргон) – спікання в потоці кисню, аргону, водню; – гаряче пресування на повітрі і у захисній атмосфері або вакуумі;</p>	5	2	3

<ul style="list-style-type: none"> <li>– електроіскрове спікання (spark plasma sintering –SPS);</li> <li>– синтез та спікання в умовах високих квазіізостатичних тисках та температурах;</li> <li>– газостатичне, ізостатичне або компресійне спікання.</li> </ul>			
<p><b>Тема 7.</b> Методи дослідження структури керамічних матеріалів (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оптична та поляризаційна мікроскопія;</li> <li>– магнітна мікроскопія;</li> <li>– скануюча електронна мікроскопія із застосуванням мікрорентгенівського аналізу;</li> <li>– раманівська спектроскопія;</li> <li>– оже спектроскопія;</li> <li>– рентгенівський дифракційний фазовий та структурний аналізи при кімнатній та високій температурах із розшифровкою результатів методом Рітвельда;</li> <li>– трансмісійна електронна мікроскопія;</li> <li>– тунельна мікроскопія;</li> <li>– маспектрометрія;</li> <li>– нейтроннографічний аналіз;</li> <li>– ЯМР і ЕПР;</li> <li>– ІЧ-спектроскопія;</li> <li>– 3D фазовий аналіз.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 8.</b> Особливості дослідження структури композиційних матеріалів методами растрової та трансмісійної електронної мікроскопії (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– підготовка зразків;</li> <li>– можливості ТЕМ мікроскопії з різною роздільною здатністю.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 9.</b> Дослідження наноструктурних матеріалів методом Оже спектроскопії (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– суть методу, його можливості та доцільність застосування;</li> <li>– вимоги до підготовки поверхні зразків;</li> <li>– іонне травлення;</li> <li>– особливості розшифровки Оже спектрів.</li> </ul>	5	2	3
<b>Змістовний модуль 3. Вольфрамові тверді сплави: структура, властивості</b>			
<p><b>Тема 10.</b> Історія створення і розвитку технології виробництва твердих сплавів (Бондаренко В.П.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– марки твердих сплавів, області застосування;</li> </ul>	5	2	3

<ul style="list-style-type: none"> <li>– основні виробники твердих сплавів;</li> <li>– стан виробництва твердих сплавів в Україні.</li> </ul>			
<p><b>Тема 11.</b> Система W-C-Co (Бондаренко В.П.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– потрійна діаграма стану W-C-Co;</li> <li>– квазібінарний полі термічний розріз WC-Co;</li> <li>– політермічний розріз потрійної діаграми W-C-Co через вуглецевий кут;</li> <li>– ізотермічний розріз потрійної діаграми;</li> <li>– подвійна і потрійна евтектики в системі W-C-Co.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 12.</b> Структура твердих сплавів WC-Co (Бондаренко В.П.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– структура сплавів в двохфазній області;</li> <li>– фаза <math>\eta_1</math> – потрійний карбід <math>W_3Co_3C</math>;</li> <li>– форма включень <math>\eta_1</math>-фази;</li> <li>– вільний вуглець в структурі твердих сплавів;</li> <li>– пори;</li> <li>– методи оцінювання вмісту вільного вуглецю і пор;</li> <li>– карбідний скелет твердих сплавів (стан скелета і його властивості).</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 13.</b> Властивості твердих сплавів WC-Co (Бондаренко В.В.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– властивості двохфазних сплавів;</li> <li>– вплив розміру зерна WC, вільного вуглецю і <math>\eta_1</math>-фази на властивості твердих сплавів WC-Co;</li> <li>– методи визначення властивостей сплавів WC-Co.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 14.</b> Система W-C-Ni (Бондаренко В.П.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вплив легування на властивості твердих сплавів;</li> <li>– інгібітори росту зерен WC;</li> <li>– вплив додаткових фаз (TiC-WC, TiC-WC-TaC-NbC) на властивості твердих сплавів.</li> </ul>	5	2	3
<b>Модуль 2</b>			
<b>Змістовний модуль 4. Надтверді матеріали: одержання, властивості, застосування</b>			
<p><b>Тема 1, 2.</b> Надтверді полікристалічні та композиційні матеріалів на основі кубічного нітриду бору, спечені в умовах високого тиску (Бочечка О.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>p, T</math> – діаграма спікання <math>BN_{сф}</math>;</li> <li>– одержання полікристалу <math>sBN</math> з довершеними межами рекристалізаційного походження і низькою концентрацією дефектів у зернах;</li> </ul>	10	4	6

<p>– механізм реакційної взаємодії cBN з алюмінієм за високому тиску;  – протидія перколяції під час спікання порошків cBN за температур біля 2250 °С за тиску 8 ГПа.</p>			
<p><b>Тема 3.</b> Електрофізичні властивості монокристалів та полікристалів алмазу (Бочечка О.О.):  – особливості формування напівпровідникових акцепторних центрів в монокристалах алмазу;  – визначення концентрації некомпенсованих акцепторних центрів в монокристалі алмазу оптичним методом;  – вплив складу шихти на електрофізичні властивості алмазних порошків, одержаних методом спонтанної кристалізації в системах Ni-Ti-B-C та Mg-Zn-B-C;  – особливості провідності полікристалів, спечених з діелектричного та електропровідного порошків алмазу.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 4.</b> Композиційний матеріал алмаз-вуглецеві структури (Бочечка О.О.):  – технологічні засади формування вуглецевих структур в порах компактів, сформованих з порошків надтвердих матеріалів;  – особливості застосування шліфпорошків, виготовлених з композитів «алмаз-вуглецева зв’язка», в шліфувальних кругах.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 5.</b> Теплофізичні властивості надтвердих матеріалів (Бочечка О.О.):  – механізм теплопровідності монокристалів алмазу та кубічного нітриду бору;  – особливості теплопровідності композиційних матеріалів на основі алмазу та кубічного нітриду бору;  – вимірювання теплопровідності стаціонарними методами поздовжнього теплового потоку та стягування теплового потоку;  – вплив домішок заміщення – бору та нітрогену  – в ґратці монокристалу алмазу на його теплопровідність.</p>	5	2	3
<b>Змістовний модуль 5. Спеціальні конструкційні матеріали</b>			

<p><b>Тема 6.</b> Особливості дослідження механічних властивостей керамічних та композиційних матеріалів (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– твердості та тріщиностійкості;</li> <li>– напруг під час згинання та стискання;</li> <li>– модуля Юнга та ін.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 7.</b> Ударостійка кераміка (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– на основі карбідів;</li> <li>– на основі боридів;</li> <li>– на основі силіцидів;</li> <li>– дослідження структури та властивостей.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 8.</b> Багатофункціональні керамічні матеріали на основі МАХ фаз (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– кореляційні залежності між структурою матеріалів, умовами їх одержання і властивостями (електропровідними, стійкістю при високих температурах у окисному та водневому середовищах при тривалому нагріві та термоциклуванні до високих температур, зносостійкістю, коефіцієнтами тертя, демпфуючими характеристиками та ін.)</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 9.</b> Надпровідні керамічні матеріали – дослідження структури і властивостей, застосування (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– найпоширеніші надпровідні керамічні матеріали та області їх застосування;</li> <li>– основні методи дослідження надпровідних властивостей масивних надпровідних матеріалів;</li> <li>– дослідження зв'язності та визначення типу піннінгу надпровідних матеріалів;</li> <li>– плівкові надпровідні матеріали та особливості їх дослідження;</li> <li>– джозефсонівські переходи та методи їх характеристики.</li> </ul>	5	2	3
<p><b>Тема 10.</b> Одержання нано- та ультрадисперсних порошків металів, оксидів, карбідів та нітридів методом електроерозійного диспергування (Пріхна Т.О.):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– суть методу електроерозійного диспергування;</li> <li>– вимоги до сировини та середовища диспергування, одержання нано- та мікропорошків металів, оксидів, карбідів і нітридів;</li> <li>– дослідження структури та властивостей</li> </ul>	5	2	3



<p>порошків;  – очиска стічних вод від іонів важких металів та радіоактивних іонів 1-2 груп (лужних та лужно-земельних металів) шляхом виготовлення сорбентів in situ методом електроерозійного диспергування;  електрокоагуляція і знезараження води у плазмовому розряді;  – оорошків, одержаних методом електроерозійного диспергування, у різних галузях промисловості, медицини та сільського господарства.</p>			
<b>Змістовний модуль 6. Вольфрамові тверді сплави: одержання, застосування</b>			
<p><b>Тема 11.</b> Сировина для виробництва твердих сплавів (Бондаренко В.П.):  – методи виготовлення порошків карбиду вольфраму WC, кобальта, нікеля;  – приготування сумішей карбиду WC з зв'язуючими металами;  – обладнання для підготовки сумішей до пресування (замішування, грануляція).</p>	5	2	3
<p><b>Тема 12.</b> Формування заготовок з твердосплавних сумішей (Бондаренко В.П.):  – пресування в прес-формах;  – мундштучне пресування;  – механічна обробка пластифікованих заготовок;  – інжекційне формування;  – 3D-принтерні технології;  – обладнання для формування твердосплавних заготовок.</p>	5	2	3
<p><b>Тема 13.</b> Підготовка заготовок до спікання (Бондаренко В.П.):  – печі для спікання;  – форма і розміри оснащення для спікання;  – засипки для спікання;  – середовища для спікання (водень, метано-водневе середовище, вакуум, нейтральні гази, тиск газу при спіканні).</p>	5	2	3
<p><b>Тема 14.</b> Спікання заготовок з твердих сплавів (Бондаренко В.П.):  – видалення пластифікаторів (каучуку, парафіну);  – відновлення домі шків оксидів;</p>	5	2	3

– науглецювання пористих заготовок, нормалізуючи спікання; – плавлення зв'язуючого металу; – усадка заготовок; – перекристалізація WC через рідку фазу; – ріст і огранення зерен WC на рідко фазній стадії спікання; – аномальний ріст зерен WC.			
<b>Тема 15.</b> Процеси при охолодженні заготовок від температури спікання (Бондаренко В.П.): – відсутність евтектики; – розпад WC; – термообробка спечених твердих сплавів, одновісна деформація твердих сплавів.	5	2	3
<b>Разом</b>	150	58	92

### 7. Контроль знань

В основі методів контролю знань використовуються поточне індивідуальне опитування та екзаменаційна оцінка. Екзамен проводиться на другому році навчання.

Екзамен включає відповіді на шість питань: три питання з екзаменаційного білету та три додаткових питання. Оцінка відповідей на питання: – з екзаменаційного білету 25%; – додаткові 7%. Оцінка за індивідуальне опитування – до 4%.

Відповідно до розкладу дата екзамену – 26.05–05.06.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за навчальну діяльність	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90–100	+A, A, -A	відмінно
82–89	+B, B, -B	добре
74–81	+C, C, -C	задовільно
64–73	+D, D, -D	
60–63	E	незадовільно з можливістю повторного складання іспиту
35–59	FX	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
0–34	F	

### 8. Список базової літератури

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 томах / Под общей редакцией Н. В. Новикова. Киев: ИСМ, 2003.

2. Синтетические сверхтвердые материалы. В 3 т. / Под ред. Н.В. Новикова. Киев: Наук. думка, 1986.

3. Курдюмов А.В., Пилянкевич А.Н. Фазовые превращения в углероде и нитриде бора. Киев: Наукова думка, 1979. 188 с.

4. Новиков Н. В., Федосеев Д. Д., Шульженко Ф. А., Богатырева Г. П. Синтез

алмазов / Под ред. Н. В. Новикова. Киев: Наук. думка, 1987. 160 с.

5. Никитин Ю. И. Технология изготовления и контроль качества алмазных порошков. – Киев: Наукова думка, 1984. 264 с.

6. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза. Киев: Наукова думка, 1989. 192 с.

7. Шульженко А. А., Божко С. А., Соколов А. Н., Петруша И. А., Беженарь Н. П., Игнатуша А. И. Синтез, спекание и свойства кубического нитрида бора. Киев: Наук. думка, 1993. 256 с.

8. Бочечка О.О. Фізико-хімічні основи спікання алмазних порошків під дією високого тиску та високої температури. К.: Наукова думка, 2019. 240 с.

9. Керметы / Под ред. П.С. Кислого. Киев: Наук. думка, 1985. 271 с.

10. Кислый П.С., Кузенкова М.А. Спекание тугоплавких соединений. К. : Наук. думка, 1980. – 168 с.

11. Бондаренко В.П., Павлоцкая Э.Г. Спекание вольфрамовых твердых сплавов в прецизионно контролируемой газовой среде. К. : Наук. думка, 1995. 202 с.

12. Прихна Т.А. Наноструктурные керамические сверхпроводящие материалы для токоограничителей, электрических машин и устройств, работающих на принципах левитации // Физико-технические проблемы современного материаловедения. 2013. Том.2. С. 300–318.

13. Твердые сплавы в процессах механической обработки / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – 368 с.

ПОГОДЖЕНО

Завідувач кафедри

д.т.н., с.н.с.

О.О. Бочечка