



Матеріалознавство тугоплавких матеріалів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, 5 семестр (осінній)</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити/150 годин: лекції – 16 год; практичні заняття – 8 год; СРС – 126 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/ДКР</i>
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua/
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: PhD, асистент Наконечний Сергій Олегович, nakonechny.serhiy@edu.kpi.ua Практичні заняття: PhD, асистент Наконечний Сергій Олегович</i>
Розміщення курсу	Google Classroom

2. Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання.

Матеріалознавство тугоплавких матеріалів є фундаментальною дисципліною професійної та практичної підготовки матеріалознавців та споріднених спеціалістів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. При вивченні цього курсу студенти отримують знання, необхідні для розуміння природи та процесів формування властивостей тугоплавких матеріалів, їх класифікації і методів отримання. На практичних роботах студенти навчаються визначати основні параметри властивостей та структурні особливості матеріалів для їх використання в конструкціях та для інших практичних застосувань. Крім того отримані розуміння природи властивостей та фізико-хімічних процесів, що відбуваються в матеріалах при різних умовах дозволяють фахівцям отримувати нові тугоплавкі матеріали з потрібними для техніки властивостями.

***Метою** навчальної дисципліни викладання навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:*

- розв'язувати складні спеціалізовані та практичні задачі в галузі матеріалознавства;
- ефективно використовувати розуміння природи властивостей тугоплавких матеріалів для їх розробки, застосування, виробництва та випробування.

Предмет навчальної дисципліни – природа та механізми формування властивостей тугоплавких матеріалів, їх залежність від характеру міжатомної взаємодії, кристалічної структури, хімічного складу, особливостей морфології полікристалів та від термодинамічних, і експлуатаційних умов використання виробів із цих матеріалів.

Засвоєння навчального матеріалу повинно дозволити розвивати програмні, загальні та фахові компетентності, зокрема:

Програмні компетентності:

Інтегральна компетентність. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та проблеми, пов'язані з розробкою, застосуванням, виробництвом та випробуванням металевих, неметалевих та композиційних матеріалів і виробів на їх основі, у професійній діяльності та у процесі навчання, що передбачає застосування теорії та методів фізики, хімії та механічної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Фахові (спеціальні) компетентності (КС):

КЗ 3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

КС 7. Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства.

КС 8. Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності.

КС 9. Здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати і уміти:

ПРН 12. Знати інженерні дисципліни, що лежать в основі спеціальності, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів програми, в тому числі мати певну обізнаність в їх останніх досягненнях.

ПРН 26. Знання основних технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів та умов їх застосування.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Вивченню цієї дисципліни повинно передувати глибоке засвоєння матеріалу «Фізики», що включають теми: кінетична теорія теплоти і закон збереження енергії, перехід речовин в твердий стан, фазові переходи I і II роду, теплові властивості твердих тіл, а також «Природу і типи хімічних зв'язків», термодинаміка та процеси хімічних реакцій із «Загальної хімії» і діаграми станів з «фізичної хімії». Для розрахунків складу матеріалу та параметрів необхідних властивостей потрібно уміти оперувати диференціальним і інтегральним численням та розв'язувати диференціальні рівняння з «Вищої математики». Успішне засвоєння «матеріалознавства тугоплавких матеріалів» потребує знань про сім сингоній і 14 ґраток Браве з курсу «кристалографія, кристалохімія та мінералогія», а також основ фізики конденсованого стану та «Методів дослідження фізичних властивостей

матеріалів». Виконання, запланованих в курсі, практичних робіт вимагає знань предметів «основи металознавства», «теоретична та прикладна механіка» і «теорії тепло- та масопереносу»

Знання, отримані при вивченні курсу, є необхідні для вивчення курсів: “механічні властивості матеріалів”; “основи теорії процесів консолідації порошкових та наноструктурованих матеріалів”, “методи моделювання та оптимізації, корозія та захист металів”.

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ. Організація навчання

Розділ 1. Класифікація, структура та загальна характеристика тугоплавких матеріалів.

Вступ. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку. Металоподібні тугоплавкі матеріали. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Оксиди.

Розділ 2. Фізичні властивості тугоплавких матеріалів. Електропровідність. Теплові властивості. Дифузія в тугоплавких матеріалах.

Розділ 3. Фізичні основи міцності тугоплавких матеріалів. Міцність тугоплавких матеріалів.

4. Навчальні матеріали та ресурси.

Базові:

1. Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук : навчальний посібник для студентів ВНЗ / Г.П. Кисла [та ін.]– Київ: Центр учбової літератури, 2017. – 320 с.
2. Алюмонітридні функціональні матеріали, одержані з нанодисперсних та мікронних порошоків гарячим пресуванням та вільним спіканням / І. П. Фесенко[та ін.]. – Київ : “ІВЦ АЛКОН”, 2015. – 172 с.

Інформаційні ресурси:

1. <https://www.scopus.com/>
2. <https://scholar.google.com/>
3. <https://link.springer.com/>
4. <https://www.sciencedirect.com/>
5. <https://www.wiley.com/en-us>
6. <https://webofknowledge.com/>

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел в бібліотеці КПІ та ІПМ НАНУ, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та практичних робіт.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни.

Для полегшення сприйняття природи та механізмів формування властивостей і структури тугоплавких матеріалів, лекції супроводжуються демонстрацією медіа-проекторних зображень та моделей кристалічних структур, хімічних зв'язків, морфології

шліфів і розломів тугоплавких матеріалів, а також залежностей властивостей від цих характеристик, хімічного складу та термодинамічних параметрів.

5.1. Лекційні заняття

Розділ 1. Класифікація, структура та загальна характеристика тугоплавких матеріалів.

Вступ. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку. Металоподібні тугоплавкі матеріали. Неметалеві тугоплавкі сполуки. Оксиди.

Лекція 1. Завдання та предмет сучасного матеріалознавства, періодичність фізичних та хімічних властивостей елементів.

Лекція 2. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку, критерії міцності міжатомних зв'язків в тугоплавких речовинах. Енергія хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів.

Розділ 2. Фізичні властивості тугоплавких матеріалів. Електропровідність. Теплові властивості. Дифузія в тугоплавких матеріалах.

Лекція 3. Класифікація фізичних властивостей матеріалів, скалярні і тензорні властивості. Електричні властивості. Емісійні властивості тугоплавких матеріалів.

Лекція 4. Дифузійна рухомість атомів в тугоплавких речовинах. Класифікація дифузійних процесів.

Розділ 3. Фізичні основи міцності тугоплавких матеріалів. Міцність тугоплавких матеріалів.

Лекція 5. Механічні властивості тугоплавких матеріалів.

Лекція 6. Теоретична оцінка міцності твердих тіл. Вплив дефектів кристалічної будови на міцність тугоплавких матеріалів.

Лекція 7. Термічна стійкість. Вплив складу, температури, величини зерна, пористості на повзучість. Високотемпературна дислокаційна повзучість. Надпластичність.

Лекція 8. Твердофазне зміцнення. Когерентне та некогерентне дисперсне зміцнення. Тугоплавкі матеріали – основа сучасної техніки.

Для ефективного засвоєння навчального матеріалу тем лекційних занять необхідно детально опрацювати зміст кожної теми і особливо звертати увагу на властивості пояснені під час прочитаних лекцій, висвітлених в базовій літературі, зокрема в [1], уявляючи описані явища і фізико-хімічні процеси та їх вплив на властивості тугоплавких матеріалів. Для усвідомлення співвідношень між характеристиками властивостей, студентам слід аналізувати процеси та умови їх формування, використовуючи базову та іншу літературу.

5.1. Тематика практичних занять

Практична заняття № 1. Оцінка енергії зв'язку тугоплавких металів, сплавів та інтерметалідів за теплотами плавлення, випаровування та модулями пружності (2 год).

Практична заняття №2. Класифікація дифузійних процесів і визначення температурної залежності коефіцієнта дифузії в бінарних тугоплавких сполуках (2 год).

Практична заняття №3. Теоретична оцінка міцності твердих тіл та вплив дефектів кристалічної будови на міцність тугоплавких матеріалів (2 год).

Практична заняття № 4. Аналіз температурної залежності межі текучості тугоплавких матеріалів (2 год).

6. Самостійна робота студентів

Вид самостійної роботи студента	Кількість годин	Норма часу на підготовку, год.	Термін часу, год.
Підготовка до лекцій	16	1	16
Підготовка до практичних занять та опрацювання результатів	8	2	16
Виконання ДКР			16
Самостійне опрацювання матеріалу лекційних та лабораторних занять			64
Підготовка до екзамену		30	30
Всього			142

Перелік лекційних занять, що виносяться на самостійне опрацювання

№ з/п	Назва теми, що виносяться на самостійне опрацювання	Кількість годин
1	Тугоплавкі метали, сплави та інтерметаліди	4
2	Металоподібні тугоплавкі сполуки (фази проникнення)	4
3	Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки	4
4	Тугоплавкі оксиди	4
5	Магнітні властивості тугоплавких матеріалів	4
6	Теплові властивості. Теорія теплоємності Ейнштейна і Дебая. Термічне розширення. Електронна та фононна теплопровідність	4
7	Температурна залежність коефіцієнта дифузії. Дифузія в бінарних тугоплавких сполуках	4
8	Твердість. Вплив електронної будови на твердість тугоплавких матеріалів. Тріщиностійкість	4
9	Температурна залежність межі текучості тугоплавких матеріалів	4
10	Деформаційне зміцнення і еволюція дислокаційної структури при пластичному деформуванні тугоплавких металів	4
Всього		40

Перелік практичних занять, що виносяться на самостійне опрацювання

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин
1	Класифікація тугоплавких матеріалів за критерієм міцності міжатомних зв'язків на основі енергії хімічного зв'язку	6
2	Аналіз залежностей від стехіометрії властивостей металоподібних фаз проникнення та неметалевих безкисневих сполук	6
3	Аналіз природи властивостей тугоплавких оксидів і їх залежностей від хімічного складу	6
4	Визначення впливу електронної будови на твердість і тріщиностійкість тугоплавких матеріалів	6
Всього		24

Якість опрацювання тем, що виносяться на самостійне опрацювання, оцінюється під час проведення екзамену.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни.

Правила відвідування занять

- Відвідування лекційних занять є бажаним, хоча і не обов'язковим. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опановувати теоретичні знання безпосередньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції. Опрацювання матеріалу по всіх темах лекційних занять є обов'язковим.
- У разі дистанційної форми навчання лекційні заняття проводяться з використанням платформи google meet.
- Опрацювання матеріалу по темах всіх розділів, лекційних та практичних занять є обов'язковим.
- Результати виконаних практичних робіт оформлюються у вигляді звітів, написаних рід руки. Звіт супроводжується формулами, графіками – елементами, які підтверджують виконання завдань та одержані результати. За дистанційної форми навчання звіт може виконуватися як «від руки», так і в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається у роздрукованому вигляді. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей

Правила поведінки на заняттях.

- На усіх заняттях, лекційних і практичних, вітається відключення звукових сигналів телефонів. Під час проведення практичних робіт у очному режимі в лабораторії студенти повинні суворо дотримуватись правил техніки безпеки.
- Усі учасники освітнього процесу, викладачі і здобувачі, в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

Інші умови.

- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні, що відповідають компетентностям даної дисципліни/спеціальності – участь у конференціях, конкурсах тощо. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- Перескладання екзамену проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського” відповідно до графіку перескладань, оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є. О. Патона.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Рейтинг з дисципліни (РД) враховує роботу студента протягом семестру та рівень знань і навичок, виявлених ним на екзамені.

Рейтинг з дисципліни формується як сума балів, нарахованих студенту за:

- результатами виконання завдань на практичних заняттях,
- виконання домашньої контрольної роботи (ДКР),
- виконання завдань, отриманих на екзамені.

Рейтингова оцінка (RD) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу (r_C) та балів отриманих на екзамені (r_I):

$$RD = r_C + r_I.$$

де r_C – стартовий рейтинг, r_I – екзаменаційний рейтинг.

Стартовий рейтинг є сумарною оцінкою за виконання студентом завдань під час **поточного контролю**, а саме

$$r_C = \sum_k r_{II} + r_M$$

де r_{II} – бал отриманий на практичних заняттях;

r_M – бал отриманий на домашній контрольній роботі.

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент під час поточного контролю, складає 60 балів.

Максимальна кількість балів отримана на практичних заняттях складає:

$$\sum_k r_{II} = 6 \text{ балів} \times 3 \text{ практичні заняття} = 18$$

Критерії оцінювання результатів роботи на практичних заняттях таблиці 1.

Табл. 1. Критерії оцінювання та кількість балів за роботу на практичних заняттях

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	10
неповна відповідь (добре)	9-7
неповна відповідь (задовільно)	6-4
неповна відповідь (достатньо)	3
незадовільна відповідь	2 і менше.

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за ДКР складає 42 бали. Критерії оцінювання результатів написання ДКР представлені в таблиці 2.

Табл. 2. Критерії оцінювання та кількість балів за ДКР.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	42
відповідь з неточностями (дуже добре)	36
неповна відповідь (добре)	30
неповна відповідь (задовільно)	25
неповна відповідь (достатньо)	20
незадовільна відповідь	менше 20

Семестровий контроль – екзамен (40 балів). Складання екзамену проводиться у письмовій, усній або змішаній формі. Критерії оцінювання на екзамені представлені в таблиці 3.

Табл. 3. Критерії оцінювання та кількість балів на екзамені

Критерії	Кількість балів
студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	35-40
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	25-34
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань	15-24
студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань	5-14
студент демонструє задовільні знання засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань	1-4
незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань	менше 1

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше

36 балів. Сумарна рейтингова оцінка оцінюється за університетською шкалою (табл. 4).

Табл. 4. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Оцінка	Кількість балів
Відмінно	100-95
Дуже добре	94-85
Добре	84-75
Задовільно	74-65
Достатньо	64-60
Незадовільно	Менше 60
Не допущено	Не виконані умови допуску

Екзамен відбувається в призначених аудиторіях або у дистанційному режимі на платформі **meet.google**, в залежності від розкладу сесії та інших непередбачуваних обставин, наказів університету тощо. При цьому:

- студентам видаються білети, в яких наведено 3 питання із списку Додатку Б.
- протягом однієї години студенти письмово надають відповіді на поставлені питання і по закінченню відведеного на підготовку часу студенти здають свої роботи.
- кожен студент пояснює викладені ним відповіді для з'ясування розуміння предмету.
- при виникненні недостатнього розуміння або при бажанні студента підняти бал оцінки студенту задаються додаткові питання, які фіксуються на письмовій відповіді.

В дистанційному режимі:

- викладач виставляє по черзі презентацію довільно названих студентами білетів, з яких вони роблять скріншоти і готуються.
- після закінчення відведеного на підготовку студентам часу, вони висилають файли фотокопій своїх відповідей на електронну пошту викладача
- в режимі онлайн спілкування студенти дають пояснення своїх відповідей аналогічно як в аудиторному режимі.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Питання до домашньої контрольної роботи наведено у Додатку А.
- Перелік питань до екзамену з дисципліни наведено у Додатку Б.
- Результати навчання за даним освітнім компонентом, здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних онлайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути Perezархований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (окремі теми, окремі лабораторні заняття). Можливість Perezарховування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті" (<https://osvita.kpi.ua/node/179>).

Матеріалознавство тугоплавких матеріалів

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.ф-м.н., професором, Зауличним Ярославом Васильовичем

асистентом кафедри Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, PhD, Наконечним Сергієм Олеговичем

Ухвалено кафедрою ВМПМ (протокол № 13 від 24 червня 2026 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 8/26 від 25 червня 2026 р.)

Перелік питань домашньої контрольної роботи з дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів»

1. Структурна та загальна характеристика тугоплавких матеріалів.
2. Особливості електронної будови тугоплавких металів в залежності від їх положення в періодичній системі елементів.
3. Енергія хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів.
4. Металоподібні тугоплавкі сполуки – фази проникнення. Карбіди.
5. Теплові властивості – теплоємність, температурна залежність теплоємності.
6. Теплопровідність – розсіювання фононів на дефектах кристалів.
7. Емісійні властивості тугоплавких сполук.
8. Катодні матеріали на основі боридів.
9. Вплив розміру зерен на характер крихкого руйнування полікристалів.
10. Вплив розміру зерен границю текучості та міцність тугоплавких матеріалів.
11. Деформаційне зміцнення тугоплавких матеріалів.
12. Теплове розширення.
13. Електричні властивості тугоплавких матеріалів і їх характеристики.
14. Дифузія в тугоплавких карбідах в області гомогенності. Випаровування і дисоціація.
15. Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки.

Перелік питань до екзамену з дисципліни «Фізика конденсованого стану матеріалів»

1. Класифікація матеріалів за призначенням та електропровідністю. Ієрархія структур матеріалів.
2. Періодична система елементів Д.І.Менделєєва та Періодичність хімічних властивостей елементів.
3. Періодичність фізичних властивостей елементів.
4. Основні типи хімічних зв'язків. Енергія іонного зв'язку
5. Ковалентний зв'язок. Енергія ковалентного зв'язку.
6. Металевий зв'язок. Енергія зв'язку металевих кристалів.
7. Енергія хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів. Критерії міцності хімічного зв'язку.
8. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку. Тугоплавкі метали та сплави. Діаграма Кауфмана.
9. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку. Тугоплавкі метали та сплави. Діаграма Кауфмана.
10. Металоподібні тугоплавкі сполуки – фази проникнення. Карбіди. Подвійні карбідні системи. Нітриди
11. Бори́ди і силіциди.
12. Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки.
13. Тугоплавкі оксиди. Моно- і діоксиди.
14. Оксиди із структурою гематиту (Fe_2O_3) і структурою шпінелі (Fe_3O_4)
15. Неметалеві карбіди. Карбіди бору і кремнію.
16. Неметалеві нітриди. Нітриди бору, кремнію та алюмінію.
17. Фізичні властивості тугоплавких матеріалів. Класифікація фізичних властивостей тугоплавких матеріалів.
18. Електричні властивості тугоплавких матеріалів і їх характеристики.
19. Діелектрики і напівпровідники.
20. Емісійні властивості тугоплавких матеріалів.
21. Теплове розширення.
22. Теплоємність.
23. Теплопровідність. Температуропровідність.
24. Дифузія атомів у тугоплавких матеріалах.
25. Механізми дифузії за структурними ознаками.
26. Види дифузії.
27. Температурна залежність коефіцієнтів дифузії.
28. Дифузія в тугоплавких карбідах в області гомогенності. Випаровування і дисоціація.
29. Механічні властивості матеріалів. Пружні властивості матеріалів.
30. Теоретична оцінка міцності твердих тіл.
31. Вплив дефектів кристалічної будови на міцність твердих тіл.
32. Залежність міцності від пористості і розміру зерна.
33. Залежність міцності від зміни хімічного складу.
34. Міцність матеріалів на зсув, вектор Бюргерса

- 35. Теорія Паєрлса-Набарро,
- 36. Повзучість.
- 37. Вплив складу сполуки та температури і часу навантаження на повзучість.
- 38. Твердість, мікротвердість.
- 39. 38. Змішані тугоплавкі сполуки типу фаз проникнення.
- 40. Карбонітриди. Карбобориди.
- 41. Карбосиліциди. Карбооксиди
- 42. Силіконітриди. Оксинітриди.
- 43. Силікооксиди.
- 44. Нітриди тугоплавких металів. Відхилення від стехіометрії у нітридах.
- 45. Термічна стійкість нітридів і використання нітридів металів.

Приклад екзаменаційного білету

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітньо-професійна програма Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів

Навчальна дисципліна Матеріалознавство тугоплавких матеріалів.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ №5

1. Ковалентний зв'язок. Енергія ковалентного зв'язку.
2. Механізми дифузії за структурними ознаками.
3. Температурна залежність межі плинності тугоплавких речовин.

Затверджено на засіданні кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
Протокол № 11 від 21.12. 2025 р.

Завідувач кафедри _____ Юрій БОГОМОЛ