



Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра  
високотемпературних  
матеріалів та порошкової  
металургії

# МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРІАЛІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### 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>очна (денна), дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS, 36 годин лекцій, 18 годин практичних занять, 66 годин СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен / Модульна контрольна робота/ Домашня контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.ф-м.н., професор, Зауличний Ярослав Васильович, mail: zaulychnyy@ukr.net Лабораторні заняття: д.ф-м.н., професор, Зауличний Ярослав Васильович, к.т.н., доцент Соловйова Тетяна Олександрівна</i>
Розміщення курсу	<i>В розділі методичне забезпечення дисципліни в системі Campus <a href="https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;ir_own">https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;ir_own</a></i>

### 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 лабораторних 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 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 (ЗК)**

- 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

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен знати і уміти:

- ПРН 13. Розуміти будову металевих, неметалевих, композиційних та функціональних матеріалів та обирати оптимальні методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибирати матеріали для виробів різного призначення
- ПРН 15. Знати та застосовувати у професійній діяльності принципи проектування нових матеріалів
- ПРН 19. Обирати і застосовувати додатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки
- ПРН 20. Знаходити потрібну інформацію у літературі, консультиватися і використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань відповідно до спеціалізації

## **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**

Дисципліна – «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів» складається із 3-х розділів.

**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.**

*Теплові властивості.*

*Дифузія в тугоплавких матеріалах.*

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

*Міцність тугоплавких матеріалів*

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

#### **Базова література:**

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 порошків гарячим пресуванням та вільним спіканням / І. П. Фесенко [та ін.]. – Київ: “ІВЦ АЛКОН”, 2015. – 172 с.*

#### **Додаткова література:**

1. *Титц Т. Тугоплавкие металлы и сплавы / Т. Титц, Дж. Уилсон. – Москва : Металлургия, 1969. – 352 с.*
2. *Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение / Л. Ван Флек. – Москва : Атомиздат, 1975. – 472 с.*
3. *Семченко Г. Д. Современные процессы в технологии конструкционной керамики / Г. Д. Семченко. – Харьков : Гелиос, 2011. – 430 с.*
4. *Харрисон У. А. Электронная структура и свойства твердых тел : в 2 т. / Уолтер А. Харрисон. – Москва: Мир, 1983. – Т. 1. – 381 с.*
5. *Харрисон У. А. Электронная структура и свойства твердых тел : в 2 т. / Уолтер А. Харрисон. – Москва: Мир, 1983. – Т. 2. – 332 с.*
6. *Физическое металловедение : в 3 т. / под ред. Р. Кана. – Москва : Мир, 1967. - Т. 1. – 333 с.*
7. *Физическое металловедение : в 3 т. / под ред Р. Кана. – Москва : Мир, 1968. – Т. 2. – 492 с.*
8. *Физическое металловедение : в 3 т. / под ред Р. Кана. – Москва : Мир, 1968. – Т. 3. – 484 с.*
9. *Кауфман Л. Расчет диаграмм состояния с помощью ЭВМ / Л. Кауфман, Х. Бернштейн. – Москва : Мир, 1972. – 328 с.*
10. *Гольдшмидт Х. Дж. Сплавы внедрения : в 2 т. / Х. Дж. Гольдшмидт. – Москва : Мир, 1971. – Т. 1. – 424 с.*
11. *Гольдшмидт Х. Дж. Сплавы внедрения : в 2 т. / Х. Дж. Гольдшмидт. – Москва : Мир, 1971. – Т. 2. – 464 с.*
12. *Самсонов Г. В. Физическое материаловедение карбидов / Г. В. Самсонов, Г. Ш. Упадхая, В. С. Нешпор. – Київ : Наукова думка, 1974. - 455 с*
13. *Самсонов Г. В. Нитриды / Г. В. Самсонов. – Київ : Наукова думка, 1969. - 382 с.*
14. *Серебрякова Т. И. Высокотемпературные бориды / Т. И. Серебрякова, В. А. Неронов, П. Д. Пешев. – Москва : Металлургия, 1991. – 386 с.*

15. Тугоплавкие бориды и силициды / Под ред. Г. В. Самсонова. – Киев : Наукова думка, 1976. – 164 с.
16. Карбид бора / П. С. Кислый [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1988. – 216 с.
17. Карбид кремния / под ред. Г. Хениш, Р. Рой. – Москва : Мир, 1972. – 386 с.
18. Физико-химические свойства окислов : справочник / Г. В. Самсонов [и др.]. – Москва : Металлургия, 1978. – 472 с.
19. Андриевский Р. А. Прочность тугоплавких соединений / Р. А. Андриевский, А. Г. Ланин, Г. А. Рымашевский. – Москва : Металлургия, 1974. – 232 с.
20. Трефилов В. И. Физические основы прочности тугоплавких металлов / В. И. Трефилов, Ю. В. Мильман, С. А. Фирстов. – Киев : Наукова думка, 1975. – 105 с.
21. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов : [справочник] / В. С. Фоменко. – Киев : Наукова думка, 1981. – 338 с.
22. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов / В. С. Чиркин. – Москва : Госиздат физико-математической литературы, 1959. – 356 с.
23. Шьюмон П. Диффузия в твердых телах / П. Шьюмон. – Москва : Металлургия, 1966. – 196 с.
24. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел / Т. Екобори. – Москва : Металлургия, 1971. – 264 с.
25. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н. И. Безухов. – Москва : Высшая школа, 1961. – 531 с.

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. Для окремих розділів створено електронний конспект.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

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.

Тривалість кожної лекції 2 години.

**Зміст лекційних занять.** Посилання на літературу Б[...] – базову, Д[...] – додаткову.

Лекція 1. Завдання та предмет сучасного матеріалознавства, періодичність фізичних та хімічних властивостей елементів. Література: Б [1, 2, 3].

Лекція 2. Класифікація тугоплавких матеріалів за типом хімічного зв'язку, критерії міцності міжатомних зв'язків в тугоплавких речовинах. Енергія хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів. Література: Б[1], Д [1].

Лекція 3. Тугоплавкі метали, сплави та інтерметаліди. Література: Б[1], Д [2, 3]

Лекція 4. Металоподібні тугоплавкі сполуки (фази проникнення). Література: Б[1, 4], Д[5,6,7]

Лекція 5. Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки. Література: Б[1, 4], Д[10, 11,12]

Лекція 6. Тугоплавкі оксиди. Література: Б[1], Д [13]

Лекція 7. Класифікація фізичних властивостей матеріалів, скалярні і тензорні властивості. Електричні властивості. Емісійні властивості тугоплавких матеріалів. Література: Б[1], Д [13-15]

Лекція 8. Магнітні тугоплавких матеріалів властивості. Література: Д ]

Лекція 9. Теплові властивості. Теорія теплоємності Ейнштейна і Дебая. Термічне розширення. Електронна та фононна теплопровідність. Література: Б[1], Д[18].

Лекція 10. Дифузійна рухомість атомів в тугоплавких речовинах. Класифікація дифузійних процесів. Література: Б[1], Д[17].

Лекція 11. Температурна залежність коефіцієнта дифузії. Дифузія в бінарних тугоплавких сполуках. Література: Б[1], Д[7, 12].

Лекція 12. Механічні властивості тугоплавких матеріалів. Література: Б[1], Д[19].

Лекція 13. Твердість. Вплив електронної будови на твердість тугоплавких матеріалів. Тріциностійкість. Література: Б[1], Д[4, 15].

Лекція 14. Теоретична оцінка міцності твердих тіл. Вплив дефектів кристалічної будови на міцність тугоплавких матеріалів. Література: Б[1], Д[16].

Лекція 15. Температурна залежність межі текучості тугоплавких матеріалів. Література: Б[1], Д[18].

Лекція 16. Деформаційне зміцнення і еволюція дислокаційної структури при пластичному деформуванні тугоплавких металів. Література: Б[1], Д[19].

Лекція 17. Термічна стійкість. Вплив складу, температури, величини зерна, пористості на повзучість. Високотемпературна дислокаційна повзучість. Надпластичність. Література: Б[1], Д[19].

Лекція 18. Твердофазне зміцнення. Когерентне та некогерентне дисперсне зміцнення. Тугоплавкі матеріали – основа сучасної техніки. Література: Б[1], Д[16].

Для ефективного засвоєння навчального матеріалу тем лекційних занять необхідно детально опрацювати зміст кожної з 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.

### **Тематика практичних занять.**

Тривалість кожного практичного заняття 2 години.

Практична робота 1. Класифікація тугоплавких матеріалів за критерієм міцності міжатомних зв'язків на основі енергії хімічного зв'язку.

Практична робота 2. Оцінка енергії зв'язку тугоплавких металів, сплавів та інтерметалідів за теплотами плавлення, випаровування та модулями пружності.

Практична робота 3. Аналіз залежностей від стехіометрії властивостей металоподібних фаз проникнення та неметалевих безкисневих сполук.

Практична робота 4. Аналіз природи властивостей тугоплавких оксидів і їх залежностей від хімічного складу.

Практична робота 5. Класифікація дифузійних процесів і визначення температурної залежності коефіцієнта дифузії в бінарних тугоплавких сполуках.

Практична робота 6. Визначення впливу електронної будови на твердість і тріциностійкість тугоплавких матеріалів.

Практична робота 7. Теоретична оцінка міцності твердих тіл та вплив дефектів кристалічної будови на міцність тугоплавких матеріалів.

Практична робота 8. Аналіз температурної залежності межі текучості тугоплавких матеріалів.

Практична робота 9. Модульна контрольна робота.

### **6. Самостійна робота студента**

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 66 годин) з дисципліни полягає в:

- самостійному опрацюванні матеріалу за темами при підготовці до кожної лекції – 12 годин;
- виконанні домашньої контрольної роботи за результатами самостійного опрацювання навчального матеріалу – 6 години;
- підготовці до виконання практичних робіт – 10 годин;

- підготовці до модульних контрольних робіт – 8 годин.
- підготовці до підсумкової атестації – іспиту (30 годин).

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Опрацювання матеріалу по всіх темах лекційних та практичних занять є обов'язковою.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання для виконання завдань або пошуку додаткової інформації.
- 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 файл у електронному вигляді або роздрукована фотокопія. Безпосередній захист відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання методик оптимального вибору для розв'язання реальних завдань за тематикою лабораторних робіт. 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.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи і вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

### 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;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР),
- виконання завдань отриманих на екзамені.

**Домашня контрольна робота не входить до календарного контролю і є окремою складовою рейтингу студента.** Вона включає 3 теоретичні завдання, які передбачають детальний аналіз і висвітлення природи та механізмів формування властивостей тугоплавких матеріалів, їх залежності від термодинамічних і експлуатаційних умов.

1-ше завдання вимагає фундаментального обґрунтування явища, властивості процесу їх формування на основі міжатомної взаємодії, фазових перетворень, тощо і оцінюється у **3 бали**.

2-е завдання потребує повного описання характеристик та параметрів властивостей і їх залежностей від термодинамічних умов. Оцінюється у **2 бали**.

3-тє завдання стосується обґрунтування сфер застосування матеріалів з певними властивостями необхідними для визначених експлуатаційних умов. Оцінюється у **1 бал**.

Домашня контрольна робота оцінюється сумою балів отриманих за кожне питання. **Модульна контрольна робота розрахована на 2 години, проводиться на останньому практичному занятті і її результати не включаються до календарного контролю, а окремо входять як складова рейтингу студента.** Вона включає 2 теоретичні завдання, які передбачають повне висвітлення фізико-хімічної природи та формування властивостей

тугоплавких матеріалів, їх залежності від кристало-структурних і морфологічних характеристик та термодинамічних і експлуатаційних умов.

1-ше завдання потребує повного висвітлення фізико-хімічної природи властивостей, їх зв'язку з особливостями міжатомної взаємодії, енергетичного стану тугоплавких матеріалів, їх залежності від відкрисало-структурних і морфологічних характеристик, зовнішніх та експлуатаційних умов. Оцінюється у **7 балів**.

2-ге завдання передбачає повну характеристику властивостей тугоплавких матеріалів, залежностей їх параметрів від термодинамічних та експлуатаційних умов та вибір сфер їх застосування. Оцінюється у **5 балів**.

Модульна контрольна робота оцінюється сумою балів отриманих за кожне з двох завдань

Максимальний рейтинг студента складається із **стартових 50 балів і екзаменаційних 50 балів**

Рейтинг з дисципліни розраховується за формулою рейтингова оцінка ( $RD$ ) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу ( $r_c$ ) та балів отриманих на екзамені ( $r_1$ ):

$$RD = r_c + r_1$$

$r_c$  – стартовий рейтинг,  $r_1$  – екзаменаційний рейтинг.

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

$$r_c = \sum_k r_{п} + r_{м} + r_{ДКР}$$

$r_{п}$  – бал отриманий на практичних заняттях,  $r_{ДКР}$  – бал отриманий за виконання домашньої контрольної роботи,  $r_{м}$  – бал отриманий за модульну контрольну роботу. Максимальна кількість балів, яку може отримати студент під час поточного контролю складає 50 балів.

Максимальна кількість балів за яку може отримати студент за практичні заняття складає:

$$\sum_k r_{п} = 4 \text{ бали} \cdot 8 \text{ практ.} = 32$$

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)	4
відповідь з неточностями (дуже добре)	3.8
неповна відповідь (добре)	3,5
неповна відповідь (задовільно)	3
Достатня відповідь	2.5
незадовільна відповідь	0

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за МКР складає 12 балів. Критерії оцінювання результатів написання МКР представлені в таблиці 2.

**Табл. 2.** Критерії оцінювання та кількість балів за МКР.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь ( відмінно)	<b>12</b>
відповідь з неточностями (дуже добре)	11

неповна відповідь (добре)	10
неповна відповідь (задовільно)	9
Достатня відповідь	7
незадовільна відповідь	0

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за ДКР складає 6 балів. Критерії оцінювання результатів написання МКР представлені в таблиці 3.

**Табл. 3.** Критерії оцінювання та кількість балів за ДКР.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь ( відмінно)	6
Відповідь з неточностями ( )	5,5
неповна відповідь (добре)	5
неповна відповідь (задовільно)	4
Достатня відповідь	3,5
незадовільна відповідь	0

**Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу. Для успішного проходження першої семестрової атестації рейтинговий бал студента за практичні заняття має становити не нижче 9 балів, для другої – 10 балів без оцінок за домашню і модульну контрольні роботи.

**Семестровий контроль** – екзамен.  $r_1$  студент отримує в результаті складання екзамену у змішаній формі. Критерії оцінювання на екзамені представлені в таблиці 4.

**Табл. 4.** Критерії оцінювання та кількість балів на іспиті.

Критерії	Кількість балів
студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	46-50
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання	41-45
студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань	36-40
студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань	31-35
студент демонструє задовільні знання, засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань	30
незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань	0

**Умови допуску до семестрового контролю:** семестровий стартовий рейтинг від 30 балів до 50 балів.

Сумарна рейтингова оцінка оцінюється за університетською шкалою, таблиці оцінки знань за якою представлена на таблиці 5.

За умови дистанційної форми навчання екзамен проводиться з використанням платформи **meet.google**, а за очної форми навчання – відбувається в призначених аудиторіях. При цьому:

- студентам видаються білети, в яких наведено 3 питання із списку Додатку А.
- протягом однієї години студенти готують письмово тези або відповіді на поставлені питання і по закінченню відведеного на підготовку часу студенти усно відповідають на поставлені питання і про виконані завдання.



- кожен студент пояснює викладені ним відповіді для з'ясування розуміння предмету.
- в разі виникнення недостатнього розуміння або за бажання студента підвищити 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 надсилають файли фотокопій своїх відповідей на електронну скриньку екзаменатора;
- в режимі онлайн спілкування студенти дають пояснення своїх відповідей аналогічно як в аудиторному режимі.

**Табл. 5.** Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

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

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії (протокол № 10 від 8 липня 2022 р.)

Погоджено Методичною комісією НН Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона (протокол № 10/22 від 10 липня 2022 р.)

## ДОДАТОК А.

### Перелік питань до екзамену з дисципліни «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів»

1. Предмет курсу “Матеріалознавство тугоплавких матеріалів” і його основні завдання. 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. Бориди і силіциди.
12. Неметалеві безкисневі тугоплавкі сполуки.
12. Тугоплавкі оксиди. Моно- і діоксиди.
13. Оксиди із структурою гематиту ( $Me_2O_3$ ) і структурою шпінелі ( $Me_3O_4$ )
14. Неметалеві карбіди. Карбіди бору і кремнію.
15. Неметалеві нітриди. Нітриди бору, кремнію та алюмінію.
16. Фізичні властивості тугоплавких матеріалів та їх класифікація.
17. Електричні властивості тугоплавких матеріалів і їх характеристики.
18. Діелектрики і напівпровідники.
19. Емісійні властивості тугоплавких матеріалів.
20. Теплове розширення.
21. Теплоємність.
22. Теплопровідність. Температуропровідність.
23. Дифузія атомів у тугоплавких матеріалах.
24. Механізми дифузії за структурними ознаками.
25. Види дифузії.
26. Температурна залежність коефіцієнтів дифузії.
27. Дифузія в тугоплавких карбідах в області гомогенності. Випаровування і дисоціація.
28. Механічні властивості матеріалів. Пружні властивості матеріалів.
29. Теоретична оцінка міцності твердих тіл.
30. Вплив дефектів кристалічної будови на міцність твердих тіл.
31. Залежність міцності від пористості і розміру зерна.
32. Залежність міцності від зміни хімічного складу.
33. Механічні властивості матеріалів при високих температурах.
34. Механізми пластичної деформації.
35. Наклеп в результаті пластичної деформації.
36. Механізми процесу руйнування матеріалів.
37. Дифузійний і рекристалізаційний відпал.
38. Механічні властивості тугоплавких сполук.
39. Температура переходу із крихкого стану у пластичний.
40. Вплив границь зерен на міцність і Локально - неоднорідна деформація.
41. Міцність матеріалів на зсув, вектор Бюргерса
42. Теорія Паєрлса-Набарро,
43. Температурна залежність межі текучості тугоплавких речовин.
44. Енергетична схема в'язкого та крихкого руйнування.
45. Повзучість.

46. Вплив складу сполуки та температури і часу навантаження на повзучість.
47. Вплив надпластичності на повзучість.
  48. Холодноламкість і термічна стійкість
  49. Твердість, мікротвердість.
  50. Змішані тугоплавкі сполуки типу фаз проникнення.
  51. Карбонітриди. Карбобориди.
  - 52.. Карбосиліциди. Карбооксиди
  53. Силіконітриди. Оксинітриди.
  54. Силікооксиди.
  55. Нітриди тугоплавких металів. Відхилення від стехіометрії у нітридах.
  56. Термічна стійкість нітридів і використання нітридів металів.

## **ДОДАТОК Б.**

### **Завдання до домашньої контрольної роботи.**

1. Оцініть і порівняйте за термодинамічним критерієм енергії зв'язку Cr, Nb, Hf, Ta з W.
2. Покажіть чим відрізняється енергія випаровування від енергії атомізації.
3. Визначте за правилом Хегга здатність до утворення фаз проникнення TiX де X=C, N, B і Si.
4. Знайдіть і поясніть залежність питомого електроопору TiC, ZrC, VC і TaC від стехіометрії.
5. З'ясуйте чому при збільшенні температури зростає електроопір монокарбідів Zr, V, Nb і Ta.
6. З'ясуйте та обґрунтуйте причини повної, обмеженої розчинності та її відсутності в системах подвійних карбідів.
7. З'ясуйте причину зміни нелінійної температурної залежності електроопору при збільшенні стехіометрії в нітридах титану.
8. Вкажіть фактори та доведіть чому вони впливають на термічну стійкість нітридів.
9. З'ясуйте причину відмінності міжатомної взаємодії в боридах від взаємодії в фазах проникнення та їх вплив на термічні та механічні властивості.
10. Доведіть причину утворення Si-Si-з'язків в силіцидах і їх вплив на фізичні властивості та стійкість проти окислення.
11. Розкрийте природу високої твердості неметалевих безкисневих карбиду і нітридів бору.
12. Обґрунтуйте сфери застосування карбиду кремнію на основі природи його фізичних властивостей.
13. Наведіть і поясніть класифікацію оксидів та вкажіть сфери їх застосування.
14. Вкажіть, які тугоплавкі матеріали є провідниками і чому.
15. Поясніть чому електричний опір фаз проникнення у нітридів більший ніж у карбідів.
16. З'ясуйте причину нелінійності температурної залежності опору нестехіометричних нітридів.
17. Вкажіть і обґрунтуйте сфери використання нітридів металів.
18. Обґрунтуйте основні вимоги до матеріалів катодів автоелектронної емісії і з'ясуйте залежність емісійного струму від напруги площі поперечного перерізу емітера та роботи виходу електрона.
19. Поясніть залежність щільності струму термоелектронної емісії від температури та вкажіть найкращі бориди-емітери.
20. Розкрийте суть основних характеристик механічних властивостей.
21. Поясніть залежність модуля Юнга і модуля зсуву перехідних металів від їх положення в періодичній системі.
22. З'ясуйте причину переходу тугоплавких карбідів із крихкого стану у пластичний при критичних температурах.
23. Поясніть особливості температурної залежності фононної теплопровідності тугоплавких сполук.
24. Розкрийте суть законів Фіка та вкажіть механізми дифузії в системі Me-C.
25. З'ясуйте механізми дифузії за структурними ознаками.
26. Поясніть фізичну суть енергії активації дифузійних процесів.
27. Розкрийте суть температурної залежності коефіцієнтів дифузії (рівняння Ареніуса).

## **ДОДАТОК В.**

### **Перелік питань до модульної контрольної роботи з дисципліни «Матеріалознавство тугоплавких матеріалів»**

1. Проведіть класифікацію тугоплавких матеріалів та опишіть їх структурні характеристики.
2. Охарактеризуйте особливості електронної будови металів, що визначають їх тугоплавкі властивості. в залежності від положення в періодичній системі елементів.
3. З'ясуйте фізичну суть енергії хімічного зв'язку тугоплавких матеріалів та її зв'язок з термодинамічними і механічними критеріями.
4. Проаналізуйте фізико-хімічні характеристики металоподобних фаз проникнення, які визначають їх тугоплавкі властивості. – Карбіди.
5. Проаналізуйте фізико-хімічні характеристики металоподобних фаз проникнення, які визначають їх тугоплавкі властивості. – Нітриди.
6. Розгляньте тугоплавкі властивості боридів та з'ясуйте кристало-хімічні характеристики, що їх визначають.
7. Проаналізуйте властивості тугоплавких силіцидів на основі їх кристало-хімічної будови.
8. З'ясуйте вплив кристало-хімічної будови карбіду бору на його фізико-механічні властивості.
9. З'ясуйте вплив кристало-хімічної будови карбіду кремнію на його фізико-механічні властивості.
10. З'ясуйте вплив кристало-хімічної будови нітриду бору на його фізико-механічні властивості.
11. З'ясуйте вплив кристало-хімічної будови нітриду кремнію на його фізико-механічні властивості.
12. Теплові властивості – теплоємність, температурна залежність теплоємності.
13. Розгляньте особливості температурної залежності теплопровідності діелектриків нітриду алюмінію, кварцу, сапфіру і алмазу.
14. Проаналізуйте природу і особливості теплового розширення тугоплавких карбідів і нітридів перехідних металів.
15. Розкрийте природу емісійних властивостей тугоплавких матеріалів.
16. Дайте порівняльну характеристику емісійних властивостей катодних матеріалів на основі боридів.
17. З'ясуйте вплив розміру зерен на характер крихкого руйнування тугоплавких полікристалів.
18. Визначте вплив розміру зерен границю текучості та міцність тугоплавких матеріалів.
19. Опишіть механізми деформаційного зміцнення тугоплавких матеріалів.
20. Розгляньте механізми дифузії в тугоплавких карбідах в області гомогенності.