



# МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРІАЛІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ECTS, 36 годин лекцій, 18 годин лабораторних занять
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен / Модульна контрольна робота
Розклад занять	<i>rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.ф-м.н., проф., Зауличний Ярослав Васильович, mail: <i>zaulychnyy@ukr.net</i> Лабораторні заняття: д.ф-м.н., проф., Зауличний Ярослав Васильович, к.т.н. Соловйова Тетяна Олександрівна
Розміщення курсу	В розділі методичне забезпечення дисципліни в системі Campus

### 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 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 дозволять 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, виробництвом 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 та 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 придатні 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», «Вищої математики», «Хімії», кристалографія, кристалохімія та мінералогія, кристалохімія тугоплавких сполук, фізична хімія, теоретична та прикладна механіка, методи дослідження фізичних властивостей матеріалів, основи металознавства, Теорія тепло- та масопереносу в матеріалах, фізика конденсованого стану та інших.

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”; «Наноструктурні матеріали», «процеси та обладнання нанотехнологій», «магнітні електротехнічні порошкові матеріали»; «теорія та технологія процесів формування структури та властивостей напилених покриттів»; «порошкові зносостійкі матеріали та тверді сплави», тощо.

## **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. Кисла Галина Павлівна. *Матеріалознавство тугоплавких металів та сполук: навчальний посібник для студентів ВНЗ/ Г.П. Кисла, П.І. Лобода, В.Є. Федорчук, М.О. Сисоєв.* – К.: Центр учбової літератури, 2017. – 320с.
2. Титц Т, *Тугоплавкие металлы и сплавы/ Т. Титц, Дж. Уилсон* – М.: *Металлургия*, 1969. – 352 с.
3. Ван Флек Л. *Теоретическое и прикладное материаловедение / Л. Ван Флек .* – М.: «Атомиздат», 1975.- 472 с.
4. Фесенко І.П. *Алюмонітридні функціональні матеріали, одержані з нанодисперсних та мікронних порошків гарячим пресуванням та вільним спіканням/ І.П Фесенко., М.М. Прокопів, В.І. Часник, О.М. Кайдаш, Г.С. Олійник, М.О. Кузенкова // Монографія ред. М.В.Новікова.* – К.: “ІВЦ АЛКОН”, 2015.- 172 с.
5. Семченко Галина. Дмитрієвна. *Современные процессы в технологии конструкционной керамики / Г.Д. Семченко.* – Х.: *издательство «Гелиос»*, 2011. – 430 с.

##### **Додаткова література:**

1. Харрисон Уолтер А. Харрисон ., *Электронная структура и свойства твердых тел, т.1, 2/ Уолтер А. Харрисон.- М.: «Мир», 1983 - т.1 - 381 с. т.2- 332 с.*
2. *Физическое металловедение. т.1 / под ред. Р. Кана.* – М.: «Мир», 1967. – 333 с.
3. *Физическое металловедение. т.2,3, / под ред Р. Кана.* – М.: «Мир», 1968. т. 2 - 492 с., т. 3 - 484 с.
4. Кауфман Л. *Расчет диаграмм состояния с помощью ЭВМ / Л. Кауфман, Х. Бернштейн.- М.: «Мир», 1972. – 328 с.*
5. Гольдшмидт Х. Дж. *Сплавы внедрения, т.1, 2 / Х. Дж. Гольдшмидт.* – М.: «Мир», 1971. т. 1 – 424 с., т.2. – 464 с.
6. Самсонов Григорий Валентинович. *Физическое материаловедение карбидов / Г.В. Самсонов, Г.Ш. Упадхая, В.С. Нешпор.- К.: «Наукова думка», 1974. - 455 с*
7. Самсонов Григорий Валентинович. *Нитриды / Г.В. Самсонов.* – К.: *Наукова думка*, 1969. - 382 с.
8. Серебрякова Т.И., Неронов В.А., Пешев П.Д. *Высокотемпературные бориды / Т.И. Серебрякова, В.А. Неронов, П.Д. Пешев - М.: «Металлургия», 1991. – 386 с.*
9. *Тугоплавкие бориды и силициды. / Под ред. член-корр. АН УССР. Г.В. Самсонова. - К.: «Наукова думка» 1976. – 164 с.*
10. Кислый Павло. Степанович, , *Карбид бора / П.С. Кислый М.А. Кузенкова, Н.И. Боднарук, Б.Л. Грабчук.* – К.: «Наукова думка», 1988. -216 с.
11. *Карбид кремния / редакторы Г.Хениш, Р.Рой.- М.: «Мир», 1972. – 386 с.*
12. Самсонов Григорий Валентинович. *Физико-химические свойства окислов (справочник) / Г.В. Самсонов, А.Л. Борисова, Т.Г. Жидкова, Т.Н. Знатокова и др.// под ред. Г.В.Самсонова.- М.: «Металлургия», 1978. – 472 с.*

13. Андриевский Ростислав Александрович Прочность тугоплавких соединений / Р.А. Андриевский, А.Г. Ланин, Г.А. Рымашевский. – М.: «Металлургия», 1974. -232 с.
14. Трефилов Виктор Иванович. Физические основы прочности тугоплавких металлов / В.И. Трефилов, Ю. В. Мильман, С.А. Фирстов. -К.: Наукова думка. 1975. -105 с.
15. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов: [справочник] / В.С.Фоменко. – К.: «Наукова думка», 1981. – 338 с.
16. Чиркин В.С., Теплофизические свойства материалов / В.С.Чиркин.- М.: «Госиздат физико-математической литературы», 1959. – 356 с.
17. Шьюмон П. Диффузия в твердых телах / П. Шьюмон.- М.: Из-во «Металлургия»,1966. - 196 с.
18. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел / Т. Екобори. – М.: «Металлургия», 1971. -264 с.
19. Безухов Н.И., Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов.- М.: «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/чи практичних робіт. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект.

#### Навчальний контент

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

**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: 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. Тріщиностійкість. Література: Б[1], Д[4, 15].

Лекція 14. Теоретична оцінка міцності твердих тіл. Вплив дефектів кристалічної будови на міцність матеріалу. 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].

### **Тематика лабораторних робіт**

- Структура, властивості та застосування тугоплавких металів (4 години).
- Кристалічна будова карбідів та нітридів перехідних металів (2).
- Дослідження морфології та механічних властивостей тугоплавких металів після їх нагрівання в різних газових середовищах (4).
- Дослідження дифузійних процесів в тугоплавких матеріалах (4).
- Визначення твердості і тріщиностійкості тугоплавких матеріалів (4).

**Модульна контрольна робота – 2 години.**

### **Самостійна робота студента**

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 66 годин) з дисципліни полягає в: самостійному опрацюванні матеріалу по темах:

-“структурна та загальна характеристика тугоплавких матеріалів і особливості електронної будови тугоплавких металів в залежності від їх положення в періодичній системі елементів” - 2 години;

-“теплові властивості – теплоємність, температурна залежність теплоємності; розсіювання на дефектах кристалів. Емісійні властивості тугоплавких сполук. Катодні матеріали на основі боридів.” -2 години;

- “ вплив розміру зерен на характер крихкого руйнування полікристалів, границю текучості та міцність тугоплавких матеріалів. Деформаційне зміцнення тугоплавких матеріалів” – 2 години;

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для фокусування розглянутих методів аналізу взаємного зв'язку властивостей матеріалів що відповідають напрямку курсових робіт – 6 годин;

- підготовці до виконання лабораторних робіт, аналізі одержаних результатів та формулюванні висновків – 18 годин;

- підготовці до модульних контрольних робіт – 6 годин.

- підготовці до підсумкової атестації – іспиту (30 годин).

## **Політика та контроль**

### **6. 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 лабораторних 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>.

## 7. 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 лабораторних роботах,
- виконання модульної контрольної роботи (МКР),
- виконання завдань отриманих на екзамені.

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

$$r_c = \sum_k r_{ml} + r_{zl} + r_M$$

$r_{ml}$  – бал отриманий за теоретичну підготовку до лабораторної роботи,  $r_{zl}$  – бал отриманий за звіт про виконання лабораторної роботи,  $r_M$  – бал отриманий на модульній контрольній роботі. Максимальна кількість балів, яку може отримати студент під час поточного контролю складає 50 балів.

Максимальна кількість балів отримана за лабораторні роботи складає:

$$\sum_k r_{ml} + r_{zl} = 3 \text{ бали} \cdot 5 \text{ лаб. роб.} + 5 \cdot 5 \text{ лаб. роб.} = 40$$

Критерії оцінювання результатів роботи на практичних заняттях таблиці 1.

**Табл. 1.** Критерії оцінювання та кількість балів за теоретичну підготовку до лабораторної роботи.

Критерії	Кількість балів
повна відповідь (відмінно)	3
неповна відповідь (добре)	2,5
неповна відповідь (задовільно)	2
незадовільна відповідь	1 і менше.

**Табл. 1.** Критерії оцінювання та кількість балів за отримані дані та звіт про лабораторну роботу.

Критерії	Кількість балів
Дані достовірні і розрахунки вірні (відмінно)	5

<i>Дані достовірні, в розрахунках помилки (добре)</i>	4
<i>Деякі дані і розрахунки помилкові (задовільно)</i>	3
<i>Недостатня кількість даних для визначення середніх значень величин, розрахунки помилкові</i>	2
<i>Дані недостовірні і розрахунки невірні</i>	1 і менше.

Максимальна кількість балів, яку може отримати студент за МКР складає 10 балів. Критерії оцінювання результатів написання МКР представлені в таблиці 2.

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

<b>Критерії</b>	<b>Кількість балів</b>
<i>повна відповідь ( відмінно)</i>	10
<i>неповна відповідь (добре)</i>	7-9
<i>неповна відповідь (задовільно)</i>	4-6
<i>незадовільна відповідь</i>	менше 3

**Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для успішного проходження першої семестрової атестації рейтинговий бал студента за виконання лабораторних робіт має становити не нижче 15 балів, для другої – 30 балів.

**Семестровий контроль** – екзамен.  $r_1$  студент отримує в результаті складання екзамену у змішаній формі. Критерії оцінювання на екзамені представлені в таблиці 3.

**Табл. 3.** Критерії оцінювання та кількість балів на іспиті.

<b>Критерії</b>	<b>Кількість балів</b>
<i>студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання</i>	45-50
<i>студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання</i>	44-35
<i>студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань</i>	25-34
<i>студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань</i>	15-24
<i>студент демонструє задовільні знання, засвоїв теоретичний матеріал, але допускає суттєві помилки, щодо використання отриманих знань</i>	10-14
<i>незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань</i>	1-9

**Умови допуску до семестрового контролю:** семестровий рейтинг більше 30 балів.

Сумарний рейтингова оцінка оцінюється за університетською шкалою, таблиці оцінки знань за якою представлена на таблиці 4.

За умови карантину екзамен проводиться у дистанційному режимі на платформі **meet.google**, а за відсутності карантину він відбувається в призначених аудиторіях. При цьому:

- студентам видаються білети, в яких наведено 3 питання із списку Додатку А.
- 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 мою електронну пошту

- в режимі онлайн спілкування студенти дають пояснення своїх відповідей аналогічно як в аудиторному режимі.

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

<b>Оцінка</b>	<b>Кількість балів</b>
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

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

### Додаток А.

#### Перелік питань до іспиту 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. Класифікація фізичних властивостей матеріалів.
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.

Силабус викладено в кампусі посилання

<https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&edit&irid=71201>

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено професором каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, д.ф-м.н., професор, Зауличний Ярослав Васильович**

**Ухвалено кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії (протокол № 1 від 2021р.)**

**Погоджено Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона (протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_)**