



## Механіка та матеріалознавство покриттів

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	Прикладна механіка
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна(денна), дистанційна, змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	150/5 кредитів ЄКТС:54 год. - лекції, 18 год. – практичні заняття, 78 год. - СРС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/модульна контрольна робота
Розклад занять	згідно rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д .т. н, професор Копилов Вячеслав Іванович, <a href="mailto:kopviacheslav@gmail.com">kopviacheslav@gmail.com</a> ; практичні-Копилов В.І.
Розміщення курсу	Магістри отримують лекції у вигляді конференції з використанням платформи ZOOM

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліною передбачено освоєння сучасних знань щодо інноваційних процесів в інженерії поверхні та покриттів, дисципліна направлена на освоєння сукупності новітніх підходів, методів і способів аналізу фазового складу, структурного і напружено-деформованого стану багатофазових покриттів і поверхневих шарів композиційних матеріалів. Магістр отримує знання щодо оцінки пружних, міцнісних характеристик покриттів, їхньої тріщиностійкості, що відповідають за експлуатаційні властивості виробів та конструкцій в цілому, отримує знання для правильного вибору матеріали для напilenня та відповідного обладнання для досліджень.

**Метою дисципліни** є підсилення компетентностей, передбачених освітньою програмою і формування у магістрів компетенцій в галузі нових технологій щодо розроблення композиційних матеріалів і виробів шляхом утворення покриттів різного функціонального призначення, отримання базових знань з технологій нанесення і оброблювання покриттів та різноманітних фізико-механічних методів досліджень і випробувань сучасних композицій.

Відповідно до освітньої програми дана дисципліни підсилює такі компетентності і деталізує наступні результати навчання:

#### Загальні компетентності (ЗК):

ЗК 1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науковоприкладні проблеми.

ЗК 2. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології

ЗК 6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

ЗК 8. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

### **Фахові компетентності (ФК):**

ФК 5. Здатність планувати і виконувати експериментальні й теоретичні дослідження з прикладної механіки та дотичних міждисциплінарних проблем, опрацювати і узагальнювати результати досліджень.

ФК 7. Здатність застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування.

ФК 8. Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки.

### **Програмні результати навчання:**

РН 8. Вчитися і оволодівати сучасними знаннями, технологіями, інструментами і методами, зокрема через самостійне опрацювання фахової літератури, участь у науково-технічних та освітніх заходах.

РН 10. Вести пошук необхідної інформації в науково-технічній літературі, електронних базах та інших джерелах, засвоювати, оцінювати та аналізувати цю інформацію.

РН 11. Планувати і виконувати експериментальні і теоретичні дослідження у сфері прикладної механіки, аналізувати їх результати, обґрунтовувати висновки.

РН 14. Застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування.

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

Пререквізити: навчальні курси з циклу бакалаврської підготовки за спеціальністю «Прикладна механіка».

Постреквізити: Знання, отримані під час вивчення дисципліни «Механіка і матеріалознавство покриттів» можуть бути використані студентами при виконанні та магістерських дисертацій за напрямом розробки покриттів спеціального призначення.

### **Зміст навчальної дисципліни**

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО МІЦНІСТЬ І РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Тема 1.1. Основні положення механіки деформації і міцності металів і сплавів.

Тема 1.2. Фізичні основи міцності

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ МАТЕРІАЛІВ

Тема 2.1. Загальні положення створення різних систем матеріалів

Тема 2.2. Повзучість і тривала міцність матеріалів з покриттями.

Тема 2.3. Руйнування матеріалів при втомі

Тема 2.4. Зносостійкість покриттів

РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ З БАГАТОФАЗНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Тема 3.1. Тріщиностійкість (в'язкість руйнування) об'ємно - зміцнених сплавів

## **3. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова література**

1. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів. Підручник. – Львів: Афіша, 2002. – 304 с.
2. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.Д. Інженерія поверхні. Підручник. – Київ: Наукова думка, 2007. – 558 с.
3. Копилов В.І., Смирнов І.В. Поверхневі фізико-хімічні процеси. Київ: НТУУ «КПІ», 2012.- 285 с.
4. Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Навч. посіб. для вузів: Кн.1 (Ч.І, II і III). – Львів: УкрДЛТУ, 2000. – 264 с.

5. Розов Ю.Г., Селіверстов І.А., Сошко В.О. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник. – Херсон: Олді-плюс, 2010. – 338 с.
6. Нанесення покриття: Навч. посібник / В.М., Корж, В.Д. Кузнецов, Ю.С. Борисов, К.А. Ющенко, за ред. К.А. Ющенка. – К.: Арістей, 2005. – 204 с.
7. Бякова О.В., Юркова О.І., Мільман Ю.В., Білоцький О.В. Теоретичні основи та методи визначення механічних властивостей матеріалів та покриттів при індентуванні на макро- та мікрорівнях: навчальний посібник. – К.: Гарант-сервіс, 2011. – 144 с.
8. Щепетов В.В., Гулевець В.Д., Лапач С.М. Математичне моделювання впливу технологічних і експлуатаційних факторів на формування покриттів // Проблеми тертя та зношування : Наук.-техн. Зб. – К.: НАУ, 2006. – вип.46, – С. 176–184.

#### **Додаткова література**

9. Копилов В.І., Смирнов І.В., Антоненко Д.О. Адгезійні властивості і міцність зчеплення газотермічних покриттів. Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2010, № 1, С. 93–103.
10. Дубовий О.М., Степанчук А.М. Технологія напилення покриттів. Підручник. – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.
11. Григор'єв О.М. Електрохімічна корозія композиційної кераміки та газотермічних покриттів системи ZrB<sub>2</sub>-SiC-AlN / О.М. Григор'єв, В.А. Швець, І.О. Подчерняєва, Д.В. Юречко, Д.В. Ведель, О.О. Зубарев, І.В. Смирнов, В.І. Копилов, В.М. Талаш, Ю.Б. Руденко // Порошкова металургія. – №7/8, 2020. – С.49-57. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00173-2> <http://www.materials.kiev.ua/article/3107> (**Scopus**).
12. Z A Stotsko, O A Kuzin, V I Kopylov, M O Kuzin. Assessment of elliptical defect dimensions influence on the metal structure contact strength properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1277 012007, 2023, 6 p. (**Web of Science**). doi:10.1088/1757-899X/1277/1/012007.

#### **Навчальний контент**

#### **4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ТЕМАМИ.

#### **ЛЕКЦІЇ (54 години)**

#### **РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО МІЦНІСТЬ І РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

##### ***Тема 1. Основні положення механіки деформації і міцності металів і сплавів.***

Лекція 1. Загальні поняття про міцність матеріалів. Комплекс методик досліджень властивостей покриттів і матеріалів з покриттями.

Лекція 2. Елементи механіки деформованого твердого тіла; деякі вихідні поняття. Граничний напружений стан. Структурні рівняння, пов'язані з граничним напруженим станом твердих тіл. Аналіз конструктивної міцності з'єднань за граничним станом.

Лекція 3. Теоретична міцність твердих тіл при відриві і зсуві.

Етапи деформації і види руйнування матеріалів.

Лекція 4. Класичні критерії міцності і пластичності ізотропних матеріалів. Напруги та деформації. Види навантаження. Пружність. Непружність, пластичність.

##### ***Тема 1.2. Фізичні основи міцності.***

Лекція 5. Дефекти кристалічної структури. Стан поверхні. Категорії дефектів лінійного та точкового типів. Об'ємно-поверхневі дефекти, пов'язані з неомогенністю будови полікристалічних металів та сплавів. Вплив технологічних факторів на механічні властивості покриттів. Технічна міцність металів і сплавів.

Лекція 6. Загальні відомості про теорію дислокацій.

Два типи дислокацій у кристалах. Контур і вектор Бюргерса. Сила, що діє на дислокацію. Переміщення дислокацій. Енергія дислокацій.

Лекція 7. Розмноження дислокацій, механізм роботи джерела Франка-Рида.

Лекція 8. Чинники, що викликають зниження міцності. Концентратори напружень типу надрізів, тріщин, пустот.

Лекція 9. Елементи механіки поширення тріщин. Схема зародження і поширення тріщини.

Три типи деформації матеріалу при розкритті тріщини.

Лекція 10. Критерії руйнування. Енергетичний критерій руйнування Гріффітса. Концепція Ірвіна-Орвана. Силовий підхід до задач теорії тріщин. Концепція Леонова – Панасюка

## **РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ МАТЕРІАЛІВ**

### ***Тема 2.1. Загальні положення створення різних систем матеріалів.***

Лекція 11. Характеристика основних факторів, які впливають на властивості системи основа-покриття.

Лекція 12. Утворення і розрахунок залишкової напруги в композиціях.

Лекція 13. Статичні методи визначення характеристик міцності матеріалів з покриттями.

Лекція 14. Теоретичні основи та методи визначення механічних властивостей матеріалів та покриттів при індентуванні на макро- та мікрорівнях.

Лекція 15. Основні методи та параметри дослідження процесів руйнування плазмових покриттів. Теоретична і реальна міцність кристалів. Випробування на розтяг. Міцність тіла з тріщинами.

Лекція 16. Моделювання процесу розтріскування і відшаровування плазмових покриттів.

### ***Тема 2.2. Повзучість і тривала міцність матеріалів з покриттями.***

Лекція 17. Характер деформації і руйнування матеріалів при повзучості.

Лекція 18. Кінетична концепція міцності твердих тіл (термофлуктуаційний механізм руйнування).

Лекція 19. В'язкий мікромеханізм руйнування композицій при повзучості.

### ***Тема 2.3. Руйнування матеріалів при втомі***

Лекція 20. Характеристики втоми; цикли напруги. Загальні поняття втоми матеріалів.

Лекція 21. Пошкоджуваність при втомі і ініціація тріщин. Кінетика тріщиноутворення і руйнування матеріалів з покриттями при втомі.

### ***Тема 2.4. Зносостійкість покриттів.***

Лекція 22. Твердість і знос матеріалів покриттів. Види зносу.

Лекція 23. Розробка складу зносостійких покриттів.

Лекція 24. Трибологічні властивості плазмових покриттів з нанорозмірними складовими.

## **РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ З БАГАТОФАЗНИМИ ПОКРИТТЯМИ**

### ***Тема 3.1. Тріщиностійкість (в'язкість руйнування) об'ємно зміцнених сплавів.***

Лекція 25. Загальні відомості про в'язкість руйнування матеріалів з покриттями.

Лекція 26. Тріщиностійкість конструктивних матеріалів з плазмовими покриттями, що містять наноскладові.

Лекція 27. Дослідження тріщиноотривкості іонно-плазмових та газотермічних покриттів методом індентування. **Модульна контрольна робота.**

### **Рекомендована тематика практичних занять (18 годин).**

З метою поглиблення теоретичних знань по курсу, а також набуття навичок по використанню цих знань для вирішення конкретних проектно-конструкторських, технологічних і експлуатаційних задач пропонується наступна тематика практичних занять:

1. Розробка алгоритму та методу досліджень плазмових покриттів на згин – 2 год.
2. Визначити умови зміцнення і знеміцнення конкретних покриттів певного складу і структури на основі експериментальних результатів на короткочасну міцність – 2 год.
3. Визначення температурних залишкових напружень у покриттях при газотермічному напиленні – 2 год
4. Розрахунок в'язкості руйнування на основі експериментальних даних випробувань композицій на згин – 2год.
5. Розрахунково-експериментальне визначення коефіцієнта тріщиноотривкості способом індентування -2 год.
6. Регресивний аналіз результатів детонаційного напилення багатокомпонентних покриттів – 2 год.
7. Визначення моделі і механізму створення покриття – 2 год.
8. Обґрунтування типу та технології нанесення композиційного покриття – 2 год.
9. Оцінка умов взаємодії матеріалів і їх сумісності при формуванні композиційних покриттів – 2 год.

### **5. Самостійна робота студента.**

Самостійна робота спрямована на засвоєння лекційного матеріалу, рекомендованої літератури, підготовки до експрес-контролю на лекціях, до модульної контрольної роботи та екзамену.

Види самостійної роботи (78 год.):

- 5.1. Підготовка до практичних занять, обробка і оформлення даних, отриманих при виконанні практичних занять – 1 година на кожне практичне заняття (всього – 9 год.).
- 5.2. Підготовка до лекційних занять – 1 година на кожну лекцію (всього – 27 год.)
- 5.3. Підготовка до МКР – 12 год.
5. 4. Підготовка до екзамену – 30 год.

## **Політика та контроль**

### **6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

#### **Правила відвідування занять**

Вивчення дисципліни «Механіка та матеріалознавство покриттів» вивчається згідно графіку навчального процесу. Є можливість опанувати дисципліну у змішаному режимі: ознайомлюватись з теоретичним матеріалом лекцій самостійно, з можливістю проведення консультацій викладачем.

#### **Правила поведінки на заняттях.**

Правила поведінки на заняттях регламентуються етичними нормами: всі учасники освітнього процесу в університеті повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту і Правил внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського, загальноприйнятих моральних принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності й толерантності, дбайливо ставитися до університетського майна.

Під час аудиторних занять студенти повинні дотримуватись діючих правил охорони праці, безпеки життєдіяльності і правил пожежної безпеки, а в разі навчання за дистанційною формою виконувати вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

## **Правила призначення заохочувальних та штрафних балів**

Штрафні та заохочувальні балки не нараховуються.

**Політика щодо академічної доброчесності** докладно описана у Кодексі Честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/code>) і передбачає повну відповідальність студента за те, що всі виконані ним завдання відповідають принципам академічної доброчесності.

**Дистанційне навчання** відбувається відповідно до «Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі» (п.п. 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.6), затвердженого Наказом 7/148 від 21.08.2020 р. з урахуванням «Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського», затвердженого Наказом 7/73 від 17.04.2020 р.

При плануванні і проведенні занять виконується Наказ НУ/61/2022 від 25.04.2022 р. "Про порядок роботи працівників КПІ під час дії правового режиму воєнного стану" .

## **Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

### **Поточний контроль.**

На лекціях студент виконує письмову самостійну роботу у вигляді експрес тестів - надає відповіді на контрольні питання.

### **Календарний контроль.**

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

### **Семестровий контроль.**

В якості контролю знань, опанованих студентами за семестр викладання освітнього компоненту, навчальним планом передбачено складання **екзамену**.

### **Умови позитивного календарного контролю.**

Для отримання «зараховано» з першого календарного контролю (8 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 20 балів (лекцій- 12 балів, практичні заняття – 8 балів). «Зараховано» - 10 балів (50%).

Для отримання «зараховано» з другого календарного контролю (14 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 53 бали (лекцій- 21 бал, практичні заняття 14 балів, МКР – 16 балів). «Зараховано» - 27 балів (50%).

### **Умови допуску до екзамену.**

Стартовий рейтинг  $R_c \geq 30$ .

### **Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:**

Система нарахування рейтингових (вагових) балів і критерії оцінювання.

#### 1. Експрес-контроль на лекції.

Ваговий бал – 1. Максимальна кількість балів, які можна одержати за позитивні результати експрес-контролю на лекціях (26 занять):  $1 \times 26 = 26$  балів.

На останній лекції виконується МКР.

#### 2.Робота на практичних заняттях.

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів, які можна одержати за позитивні результати на практичних заняттях (9 занять):  $2 \times 9 = 18$  балів.

#### 3. Модульна контрольна робота.

Максимальна кількість балів складає:  $16 \text{ балів} \times 1 = 16$  балів:

Повна вичерпна відповідь на питання контрольної роботи - 16 балів

Відповідь вірна не менше ніж на 80% - 13 б.  
 Відповідь вірна не менше ніж на 60% - 10 б.  
 Відсутня відповідь або неправильна відповідь – 0 б.

**Розрахунок стартової шкали (R) рейтингу:**

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = \sum r_k = 26+18+16=60 \text{ балів}$$

Екзаменаційна складова шкали дорівнює - 40 балів..

Таким чином, рейтингова шкала з кредитного модуля складає  $R = R_C + R_{екз.} = 100$  балів

Необхідною умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менший 50% від  $R_C$  тобто 30 балів.

**Критерії екзаменаційного оцінювання.**

Екзаменаційний білет складається з трьох питань.

Правильна відповідь на перше питання оцінюється у 10 балів.

Відповіді на друге і третє дають по 5 балів відповідно.

Бали за відповідь на екзамені розраховуються наступним чином:

$RE=(R_1+R_2+R_3) \cdot 2=(10+5+5) \cdot 2=40$ , де  $R_1$ - бали за відповідь на перше питання,  $R_2$ - бали за відповідь на друге питання,  $R_3$ - бали за відповідь на третє питання.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за складання екзамену - 40 балів.

<b>Шкала оцінювання першого питання</b>	<b>Шкала оцінювання другого та третього питань</b>
$R_1=0$ – відповідь відсутня	$R_{2,3}=0$ - відповідь відсутня
$R_1=2$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання	$R_{2,3}=1$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання
$R_1=4$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання	$R_{2,3}=2$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання
$R_1=6$ - неповна відповідь	$R_{2,3}=3$ - неповна відповідь
$R_1=8$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності	$R_{2,3}=4$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності
$R_1=10$ - відповідь вірна і повна	$R_{2,3}=5$ - відповідь вірна і повна

Сума стартових балів та балів за екзамен переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею:

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

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

### Приклад білета на екзамен

#### Білет № N

1. Розкрити питання граничного напруженого стану щодо суті механічної характеристики матеріалу
2. Динаміка дислокацій у приповерхневому шарі при наявності плівок і покриттів.
3. Механізми деформації і руйнування матеріалів з покриттями при повзучості в різному діапазоні температур і напружень.

### Приклад завдання на МКР

На основі заданої деталі за її призначенням з урахуванням умов експлуатації, виду зношення, способу відновлення або зміцнення вибрати матеріал і обґрунтувати спосіб отримання покриття. Визначити механізм створення композиційного покриття, накреслити структуру композиційного покриття, що буде отримане та модель його утворення.

### Перелік питань для підготовки до екзамену:

1. Загальна класифікація методів дослідження структури і властивостей покриттів, а також матеріалів з покриттями.
2. Структурні рівняння, пов'язані з граничним напруженим станом твердих тіл. Граничний напружений стан.
3. Етапи деформації і види руйнування матеріалів.
4. Аналіз конструктивної міцності з'єднань за граничним станом.
5. Основні поняття міцності. Елементи механіки деформованого твердого тіла. Випробування на розтяг. Діаграма розтягу. Фактори, які впливають на модуль пружності.
6. Теоретична міцність твердих тіл при відриві та зсуві.
7. Технічна міцність металів і сплавів. Категорії дефектів лінійного та точкового типів. Об'ємно-поверхневі дефекти, пов'язані з неомогенністю будови полікристалічних металів та сплавів.
8. Загальні відомості про теорії дислокацій. Два типи дислокацій у кристалах. Контур і вектор Бюргерса.
9. Сила, що діє на дислокацію. Переміщення дислокацій. Енергія дислокацій.
10. Концентратори напружень типу надрізів, тріщин, пустот.
11. Схема зародження і поширення тріщини.
12. Три типи деформації матеріалу при розкритті тріщини.
13. Критерії руйнування. Теорія Гріффітса.
14. Класифікація методів нанесення плівок і покриттів.
15. Основні чинники, що впливають на фізико-механічні властивості системи основа – покриття:
16. Адгезія й адгезійна міцність плівок. Особливості кількісної оцінки адгезійної міцності плівок.
17. Теоретичні критерії адгезії покриттів і контактної активності металів.
18. Вплив зовнішньої поверхні на процес пластичної деформації.
19. Аномалії пластичної течії поверхневих шарів. Особливості переміщення дефектів поблизу вільної поверхні тіла.
20. Бар'єрний ефект поверхні.
21. Динаміка дислокацій у приповерхневому шарі при наявності плівок і покриттів.
22. Структурні рівні пластичної деформації.
23. Залишкові напруження. Види залишкової напруги; роль товщини покриття. Температурні залишкові напруження у газотермічних покриттів.



24. Загальні уявлення про міцність матеріалів з покриттями. Позитивний і негативний вплив покриттів. Твердість, мікротвердість покриттів.
25. Міцність жароміцних і керамічних матеріалів.
26. Міцність матеріалів з плазмовими покриттями при статичних випробуваннях (короткочасна міцність). Діаграма розтягу. Вплив покриттів на вигин зразків.
27. Загальні поняття повзучості матеріалів. Повзучість матеріалів з покриттями.
28. Суть інверсійних властивостей повзучості матеріалів з покриттями.
29. Теплові флуктуації і їх роль в процесі руйнування атомних зв'язків.
30. Загальні уявлення про кінетичну (термофлуктуаційну) теорію повзучості і руйнування твердих тіл.
31. Застосування термофлуктуаційної концепції повзучості для матеріалів з покриттями.
32. Основні фізичні параметри, що визначають кінетичні властивості матеріалів з покриттями.
33. Суть в'язкого механізму повзучості, відміна від флуктуаційного.
34. Механізми деформації і руйнування матеріалів з покриттями в різному діапазоні температур і напружень.
35. Загальні поняття втоми матеріалів. Цикли напружень.
36. Діаграми втоми матеріалів. Крива Велера.
37. Пошкоджуваність при втомі, ініціювання тріщин. Втомна міцність матеріалів з покриттями.
38. Загальна характеристика зносостійкості. Види зносу. Твердість і знос матеріалів покриттів.
39. Чинники, які визначають оптимізацію властивостей твердих матеріалів для покриттів. Технологічні прийоми регулювання рівня зв'язків на границі покриття – основа.
40. Питання сумісності вибраних компонентів покриття при зносі.
41. Вимоги до структури зносостійкого композиційного покриття триботехнічного призначення.
42. Загальні відомості про руйнування твердих тіл. Елементи механіки поширення тріщин. Теорія Гріффітса. Концепція Ірвіна — Орована.
43. В'язкість руйнування (тріщиностійкість) матеріалів. Критерії тріщиностійкості (енергетичний, деформаційний, силовий).
44. Випробування на статичну тріщиностійкість.
45. Загальний аналіз розрахунково-експериментальних результатів впливу багатофазних покриттів на міцнісні та пружні властивості композиційного матеріалу \_\_Кінетика тріщиноутворення плазмових покриттів із наноскладовими при статичних випробуваннях. Відшарування та розтріскування покриттів.
46. Енергетичний баланс у системі «основа-покриття» при розтріскуванні і відшаруванні покриттів. Міжфазна взаємодія когезійна міцність.

В умовах **on-line** лекційні заняття проводяться з використанням платформи дистанційного навчання – ZOOM.

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

**Складено:** д. т. н., професор Копилов Вячеслав Іванович

**Ухвалено** кафедрою зварювального виробництва (протокол №6 від 28.11.2022)

**Погоджено** Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №5/22 від 12.12.2022)