



ФІЗИКА МІЦНОСТІ ТА РУЙНУВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>ОПП Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредити/90 год: лекції-18год., лаб.роб.-18год., СРС-54год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік/МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.ф.-м.н., професор, Котречко Сергій Олексійович, Email:serkotr@gmail.com.</i> <i>Лабораторні: д.ф.-м.н., професор, Котречко Сергій Олексійович, Email:serkotr@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&ir_own</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Вивчаючи дисципліну, студенти узагальнюють власні знання з різних дисциплін та набувають навички експериментально досліджувати та теоретично аналізувати процеси пластичної деформації та руйнування матеріалів на різних структурних рівнях з урахуванням напружено-деформованого стану матеріалу.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей:

- проводити теоретичний аналіз процесів пластичної деформації і руйнування з урахуванням ієрархії структурних рівнів реалізації цих процесів у конструкційних матеріалах та макроскопічного напружено-деформованого стану матеріалу; розробляти кількісні моделі цих процесів;*
- планувати та проводити експериментальні дослідження впливу мікроструктурного стану матеріалу на його міцність та пластичність;*
- вибирати методи механічних випробувань для визначення міцності і пластичності матеріалу в залежності від його хімічного складу, атомної будови, мікро-та мезоструктури;*

розвиток загальних компетентностей, які полягають у:

- здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;*
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;*

а також розвиток фахових компетентностей, які полягають у:

- здатності виявляти та ставити проблеми в сфері матеріалознавства, приймати ефективні рішення для їх вирішення;
- здатності планувати та проводити дослідження в сфері матеріалознавства у лабораторних та виробничих умовах на відповідному рівні з використанням сучасних методів і методик експерименту;
- здатності розуміти та використовувати математичні та числові методи моделювання властивостей, явищ та процесів;
- здатності організовувати та здійснювати комплексні випробування матеріалів і виробів;

Предметом навчальної дисципліни є мікро- і макропроцеси пластичної деформації та руйнування матеріалів; роль мікроструктури конструкційних сплавів у формуванні їх здатності чинити опір пластичній деформації та руйнуванню. При цьому акцент робиться на висвітленні структурної ієрархії формування цих властивостей матеріалу, що має ключове значення для фахівців з матеріалознавства. Розглядаються основи теоретичних уявлень щодо зв'язку між властивостями полікристалічного металу на мікро.-мезо. - та макрорівнях. Даються основи статистичного підходу до прогнозування напруження макроплинності та крихкого руйнування виходячи із аналізу елементарних актів ковзання в кристалічній ґратці та утворення зародкових тріщин. Ці задачі розглядаються у найбільш загальному випадку складного напруженого стану та неоднорідного розподілу напружень і деформацій, оскільки саме за таких умов має місце порушення цілісності типових елементів конструкцій. Робиться акцент на викладі уявлень щодо фізичної природи впливу факторів конструкції на міцність металів та сплавів, оскільки студентам - матеріалознавцям необхідно знати яким чином здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації та руйнуванню змінюється в залежності від його напружено-деформованого стану, наявності конструктивних концентраторів напружень, тріщиноподібних дефектів, тощо.

Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен:

- розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій;
- виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі проблеми і задачі;
- вільно спілкуватись державною та англійською мовами усно і письмово при обговоренні професійних проблем і результатів діяльності у сфері матеріалознавства та ширшого кола інженерних питань, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів;
- Застосовувати сучасні інформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач матеріалознавства;
- приймати ефективні рішення в нових ситуаціях або непередбачуваних умовах з урахуванням їх можливих наслідків, оцінювати і порівнювати альтернативи, оцінювати технічні, економічні, екологічні та правові ризики;
- наукові навички у галузі інженерії для того, щоб успішно проводити наукові дослідження як під керівництвом так і самостійно;
- використовувати сучасні методи для виявлення, постановки та розв'язування винахідницьких задач в галузі матеріалознавства;

- формулювати та розв'язувати науково-технічні задачі для розробки, виготовлення, випробування, сертифікації, утилізації матеріалів, створення та застосування ефективних технологій виготовлення виробів;
- планувати і виконувати експериментальні матеріалознавчі дослідження, обирати відповідні обладнання та методику, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки;
- обґрунтовано призначати та контролювати показники якості матеріалів та виробів;
- проектувати нові матеріали, розробляти, досліджувати та використовувати фізичні та математичні моделі матеріалів та процесів;
- розв'язувати прикладні задачі виготовлення, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів та виробів;
- володіти методами комплексного дизайну нових матеріалів і виробів на їх основі з урахуванням експлуатаційних властивостей та умов використання;

набути досвід:

- вибору методу механічних випробувань матеріалу в залежності від його мікроструктури, рівня пластичності та міцності.
- експериментального визначення характеристик міцності і пластичності конструкційних матеріалів за результатами їх механічних випробувань.
- формування вимог до мікроструктурного стану конструкційного сплаву для отримання необхідного рівня його міцності, пластичності та тріщиностійкості.

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

Дисципліна викладається в першому семестрі підготовки за другим (магістерським) рівнем вищої освіти.

Студент повинен мати компетентності першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни "Фізика міцності і руйнування" необхідні для виконання курсових і дипломних робіт, як складова інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль (розділ) 1. Загальні поняття із механічних властивостей.

Тема 1.1 Ієрархія структурних рівнів міцності. Основні чинники, які знижують рівень міцності матеріалу при його навантаженні в конструкції.

Змістовий модуль (розділ) 2. Фізичні основи пластичної деформації полікристалічних металів та сплавів

Тема 2.1 Мікромеханізми пластичної деформації металів і сплавів.

Тема 2.2 Зв'язок між мікро-та макропластичною деформацією в полікристалічному металі.

Тема 2.3 Фізична природа пластичної деформації при складному напруженому стані.

Змістовий модуль (розділ) 3. Руйнування металів та сплавів

Тема 3.1 Види руйнування та їх класифікація.

Тема 3.2 Фізична теорія крихкого руйнування конструкційних сплавів.

Тема 3.3 Фізична природа тріщиностійкості конструкційних сплавів.

Тема 3.4 Експериментальне визначення тріщиностійкості.

Змістовий модуль (розділ) 4. Повзучість металів та сплавів

Тема 4.1. Фізичні основи повзучості.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Котречко С. А. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, элементы конструкций [Текст] / С. А. Котречко., Ю. Я. Мешков – Киев : Наук. думка, 2008. – 295 с.
2. Майборода В. С. Механіка руйнування матеріалів [Текст] : навчальний посібник / В. С. Майборода, М. М. Бобіна, Н. В. Мініцька – Київ : Політехніка, 2010. – 150 с.

Додаткова література

3. Ashby M. Engineering Materials. An Introduction to Properties, Application and Design [Electronic resource] / M. Ashby, D. Jones. – University of Cambridge, UK, Third edition, 2005. – 421p. – Mode of access : <http://materialstandard.com/wp-content/uploads/2019/06/AshbyEngineering-Materials-1.pdf>.
4. Котречко С. А. Влияние объемного напряженного состояния на текучесть железа и углеродистых сталей. Сообщение 1. Физическая модель текучести поликристалла при сложном напряженном состоянии [Текст] / С. А. Котречко, Ю. Я. Мешков // Проблемы прочности. – 1994. – №11. – С. 25–37.
5. Писаренко Г. С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии [Текст] / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев. – Київ : Наук. думка, 1976. – 412 с.
6. Котречко С. А. Основы физической теории квази хрупкого разрушения поликристаллических металлов в неоднородных силовых полях, создаваемых концентраторами напряжений [Текст] / С. А. Котречко, Ю. Я. Мешков // Металлофизика и новейшие технологии. – 1999. – 20, №12. – С.45–58.
7. Котречко С. А. Локальный подход к анализу хрупкого разрушения и его физическая интерпретация [Текст] / С. А. Котречко // Проблемы прочности. – 2003. – №4. – С.14–31.
8. Котречко С. А. Механика и физика квазихрупкого разрушения металлов в условиях концентрации напряжений. Сообщение 2. Теоретические представления [Текст] / Котречко С. А., Мешков Ю. Я. // Проблемы прочности. – 1999. – №3. – С. 5–16.
9. Механика и физика квази хрупкого разрушения металлов в условиях концентрации напряжений. Сообщение 3. Вязкость металлов и сплавов [Текст] / Котречко С. А., Мешков Ю. Я., Меттус Г. С., Никоненко Д. И. // Проблемы прочности. – 2000. – №1. – С. 72–92.

10. Котречко С. А. Механическая стабильность — универсальная мера сопротивления переходу в хрупкое состояние металла [Текст] / С. А. Котречко, Ю. Я. Мешков, А. В. Шиян // Успехи физики металлов. – 2009. – Т. 10. – С. 211–233.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зміст лекційних занять

Лекція 1. Вступ. Предмет та задачі курсу. Організація вивчення дисципліни у очному/дистанційному режимі, рейтингова система оцінювання. Ієрархія структурних рівнів міцності. Основні чинники, які знижують рівень міцності матеріалу при його навантаженні в конструкції. Література: [1]-[3].

Лекція 2. Фізична природа пластичної деформації при складному напруженому стані. Статистичні закономірності мікропластичної деформації в полікристалічних металах та сплавах. Зв'язок між мікро- та макропластичною деформацією в полікристалічному металі. Мікроскопічна інтерпретація критерія Мізеса. Ефект перенапруження. Література: [4],[5].

Лекція 3. Руйнування металів та сплавів. Види руйнування та їх класифікація. В'язко-крихкий перехід [1]-[3].

Лекція 4. Фізична теорія крихкого руйнування металів та сплавів. Міцність у крихкому стані $R_{мс}$. Критерій в'язко-крихкого переходу. Література: [1], [3],[5].

Лекція 5. Окрихчення металу в умовах складного напруженого стану та неоднорідних силових полів, створюваних концентраторами напружень. Література [6],[8], [9], [10].

Лекція 6. Фізична природа тріщиностійкості конструкційних матеріалів. Прогнозування опору поширенню тріщини в матеріалі методами лінійної і нелінійної механіки. Особливості методики експериментального визначення тріщиностійкості (в'язкості руйнування) конструкційних матеріалів. Література [2],[3], [7].

Лекція 7. Повзучість. Види повзучості. Закономірності впливу рівня напружень та температури на характеристики повзучості. Мікромеханізми повзучості. Випробування на повзучість. Параметр Ларсона-Міллера. Література: [3].

Лекція 8. **Модульна контрольна робота.**

Лекція 9. **Залік.**

Основні завдання циклу лабораторних занять:

- навчитися визначати характеристики міцності та пластичності конструкційних матеріалів;
- засвоїти методи статистичної обробки експериментальних даних та визначення похибок прямих і непрямих вимірів при механічних випробуваннях матеріалів;
- навчитися методикам визначення характеристик зламів та фрактографічного аналізу їх поверхні;
- отримати досвід класифікації видів руйнування.

Зміст лабораторних занять

1. Визначення характеристик міцності та пластичності конструкційних сплавів за результатами випробувань на одновісний розтяг. Побудова умовних та істинних діаграм деформації. Розрахунок похибок прямих та непрямих вимірів (10 годин).

2. Визначення характеристик міцності та пластичності конструкційних матеріалів за результатами механічних випробувань на згин (8 годин).

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Самостійна робота здобувачів (загальна тривалість 54 годин) з дисципліни полягає в:

- *самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для детального ознайомлення з сучасними тенденціями розвитку фізики міцності та руйнування – в розрахунку 1 година на 1 годину лекційного заняття, всього- 18 годин;*
- *підготовці до виконання лабораторних робіт – в розрахунку 1 години на 1 годину виконання лабораторного заняття, всього - 18 годин;*
- *підготовці до МКР (12 годин);*
- *підготовці до семестрового контролю – заліку (6 годин).*

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед здобувачем:

- *Відвідування усіх видів занять є бажаним.*
- *Пропущену лабораторну роботу здобувач повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.*
- *Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час практичних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних хмарних ресурсів, тощо.*
- *Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання опрацьованих методик дослідження для розв'язання реальних задач за тематикою власних наукових досліджень. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 10 балів.*
- *Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Усі письмові завдання мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.*
- *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>.*

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

Поточний контроль:

- *Здача лабораторних робіт, сумарна максимальна кількість балів – 40.*
- *Модульна контрольна робота – максимальна оцінка 10 балів. Перелік питань, які виносяться на МКР знаходиться в Додатку А.*
- *Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Мінімальна кількість балів для отримання позитивної оцінки на 1 та 2 календарних контролях, які проводяться на 7 і 14 тижні навчання має скласти по 12 балів. Відповідно, по 6 балів за результатами експрес-опитування на лекціях і по 6 балів за результатами тестування на лабораторних роботах. Мінімальна позитивна оцінка складає 60 % від максимальної*

- **Семестровий контроль: залік.**

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг не менше 42 балів за умови виконання усіх лабораторних робіт.

Залікова контрольна робота проводиться для підвищення рейтингової оцінки.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку. На останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи або співбесіди.

З метою посилення зацікавленості здобувачів у якісному виконанні індивідуальних семестрових завдань, передбачених індивідуальним навчальним планом здобувача, рейтингову оцінку, у разі виконання залікової контрольної роботи, можна визначати як суму балів за залікову контрольну роботу та балів за індивідуальне семестрове завдання. У цьому випадку розмір шкали оцінювання залікової контрольної роботи зменшується на максимальне значення балів, передбачених за виконання відповідного індивідуального семестрового завдання.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи.

Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, то здобувач отримує більшу з оцінок, що отримані за результатами залікової контрольної роботи або за рейтингом.

Залік проводиться у вигляді письмового завдання; завдання включає 3 теоретичні питання зі списку Додатку Б; відповідь на кожне питання оцінюється на 33,3 бали за 100 бальною системою; на підготовку виділяється 1 академічна година.

Відповідь на письмове завдання оцінюється за 100-бальною шкалою, відповідно:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними недоліками);
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 10-5 балів, за неправильне використання термінів на 5 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль знаходиться в Додатку Б.
- Лабораторні роботи виконуються в використанні сучасного обладнання ЦККНП «Дослідження механічних властивостей» при Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України.
- Лекційний курс планується таким чином, щоб розглянути проблему міцності і пластичності матеріалів у зв'язку з їх структурою та напружено-деформованим станом в конструкції, при цьому, рівень подання матеріалу повинен забезпечувати

http://compnano.kpi.ua/pdf_files/sylab/mp22/po02_phys_strength.pdf

можливість використання набутих знань як у наукових дослідженнях (навчання в аспірантурі), так і для практичного використання на виробництві.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професор, д.ф.-м.н., професор Котречко Сергій Олексійович

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 21 від 08 липня 22 р.)

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

Перелік питань на модульну контрольну роботу

по курсу: “Фізика міцності і руйнування”

1. Основні фактори, які контролюють міцність на атомному, субмікрорівні, мікро-та макрорівнях.
2. Основні чинники, які знижують рівень конструкційної міцності матеріалів.
3. Джерела неоднорідних силових полів в елементах конструкцій.
4. Зв'язок між умовами плинності на макро -та макрорівнях. Основні фактори, які визначають рівень границі текучості полікристалічного металу.
5. Статистичний критерій переходу від пружних до пластичних деформацій.
6. Критерій Мізеса, його фізичний зміст.
7. Ефект перенапруження при багатовісному розтязі.
8. Коефіцієнт жорсткості.
9. Плоский напружений стан (співвідношення деформацій та напружень).
10. Плоский деформований стан (співвідношення деформацій та напружень).
11. Основні ознаки крихкого руйнування.
12. Основні ознаки в'язкого руйнування.
13. Ознаки в'язко-крихкого переходу.
14. Опір металу крихкому руйнуванню. Міцність металу у крихкому стані R_{MC} . Коефіцієнт в'язкості K_B металу.
15. Фізична природа окрихчення металу в околі концентратора напружень. Параметр окрихчувальної дії концентратора напружень E_t .
16. Вплив міцності конструкційних сталей на рівень їх в'язкості.
17. Зв'язок між запасом міцності і запасом в'язкості конструкційних сталей.
18. Коефіцієнт інтенсивності напружень.
19. Критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень. Тріщиностійкість (в'язкість руйнування).
20. Основні чинники, які визначають розмір області локальної плинності в околі вершини тріщини.
21. Вимоги лінійної механіки щодо товщини зразка для коректного визначення тріщиностійкості K_{IC} .
22. Види повзучості та температурно-силові області їх реалізації.
23. Стадії повзучості. Характер залежності деформації від часу на кожній стадії повзучості.
24. Основні механізми повзучості.
25. Основні механічні характеристики, які визначаються за результатами випробувань на повзучість.

Перелік питань на семестровий контроль

по курсу: "Фізика міцності і руйнування"

1. *Ієрархія структурних рівнів міцності.*
2. *Конструкційна міцність.*
3. *Основні чинники, які знижують рівень конструкційної міцності.*
4. *Закон Шміда. Системи ковзання.*
5. *Закономірність переходу від пружної до пластичної деформації в полікристалічному агрегаті. Статистичний критерій пластичної деформації металів і сплавів.*
6. *Фізична інтерпретація критерію Мізеса.*
7. *Пластична деформація в умовах складного напруженого стану. Ефект перенапруження. Плоский деформований та плоский напружений стани.*
8. *Види руйнування та їх класифікація.*
9. *В'язко-крихкий перехід.*
10. *Опір руйнуванню в крихкому стані. Міцність металу у крихкому стані R_{MC} . Коефіцієнт в'язкості K_V металу.*
11. *Методика експериментального визначення R_{MC} .*
12. *Властивості R_{MC} , вплив мікроструктури на величину R_{MC} .*
13. *Фізична природа окрихчення металу в околі концентратора напружень. Параметр Етокрихчувальної дії концентратора напружень.*
14. *Вплив міцності конструкційних сталей на рівень їх в'язкості.*
15. *Зв'язок між запасом міцності і запасом в'язкості конструкційних сталей.*
16. *Напружено-деформований стан матеріалу в околі вершини тріщини.*
17. *Коефіцієнт інтенсивності напружень.*
18. *Критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень. Тріщиностійкість (в'язкість руйнування).*
19. *Локальна пластична деформація в околі вершини тріщини.*
20. *Обмеження на розміри області локальної плинності в лінійній механіці руйнування*
21. *Методика експериментального визначення тріщиностійкості металів та сплавів. Вимоги до розмірів зразків.*
22. *Основні фактори, які впливають на рівень тріщиностійкості металів та сплавів. Два основних механізми ініціювання руйнування металу в околі макротріщини.*
23. *Види повзучості та температурно-силові області їх реалізації.*
24. *Стадії повзучості. Характер залежності деформації від часу на кожній стадії повзучості.*
25. *Основні механізми повзучості.*
26. *Основні механічні характеристики, які визначаються за результатами випробувань на повзучість.*