

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНІКА**



Фізико-технічний факультет

Кафедра матеріалознавства і новітніх технологій

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мікромеханічні дослідження матеріалів

<u>Освітня програма</u>	Інженерне матеріалознавство
<u>Спеціальність</u>	G8 Матеріалознавство
<u>Галузь знань</u>	G Інженерія, виробництво та будівництво

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства і новітніх
технологій

Протокол № 5 від «12» грудня 2024 р.

м. Івано-Франківськ – 2024

ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Опис дисципліни
3. Структура курсу
4. Система оцінювання курсу
5. Оцінювання відповідно до графіку навчального процесу
6. Ресурсне забезпечення
7. Контактна інформація
8. Політика навчальної дисципліни

1. Загальна інформація

Назва дисципліни	Мікромеханічні дослідження матеріалів
Освітня програма	Інженерне матеріалознавство
Спеціалізація (за наявності)	
Спеціальність	G8 Матеріалознавство
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Освітній рівень	бакалавр
Статус дисципліни	вибіркова
Курс / семестр	2/4
Розподіл за видами занять та годинами навчання (якщо передбачені інші види, додати)	Лекції – 14 год. Семінарські заняття – 0 год. Лабораторні роботи – 16 год. Самостійна робота – 60 год.
Мова викладання	українська
Посилання на сайт дистанційного навчання	www.d-learn.pnu.edu.ua https://test-d-learn.pnu.edu.ua/

2. Опис дисципліни

Мета та цілі дисципліни
<p>Мета предмету "Мікромеханічні дослідження матеріалів": Надати студентам теоретичні та практичні знання в галузі мікромеханічних методів випробування матеріалів, включно з вимірюванням мікротвердості (Віккерс, Кнуп), наноіндетуванням, визначенням тріщиностійкості методом вдавлення індентора, склерометрією, твердістю за Шором, а також неруйнівними методами оцінки твердості.</p> <p>Цілі предмету: Ознайомити з класифікацією мікро- та нано-методів дослідження механічних властивостей. Розкрити фізичні принципи контактної взаємодії індентора і поверхні матеріалу. Навчити проводити випробування на мікротвердість (Віккерс, Кнуп) та аналізувати відбитки. Ознайомити з методами наноіндетування: побудова кривих "навантаження–розвантаження" та оцінка модуля Юнга, твердості тощо. Розглянути методи прямого вимірювання тріщиностійкості, склерометрії (scratch tests), твердості за Шором. Дати уявлення про неруйнівні методи оцінки твердості (ультразвук, вихрові струми). Навчити основ аналізу та інтерпретації експериментальних даних, включно зі статистичними методами та відповідними стандартами.</p>
Компетентності
<p>Інтегральна компетентність</p> <p>КІ.01 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 теорій та методів фізики, хімії та механічної</p>

інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності

- K3.01 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- K3.02 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- K3.03 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- K3.04 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- K3.11. Здатність працювати в команді

Спеціальні компетентності

- КС.01. Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань.
- КС.02. Здатність ефективно використовувати технічну літературу та інші джерела інформації в галузі матеріалознавства.
- КС.06. Здатність використовувати практичні Інженерні навички при вирішенні професійних завдань
- КС.08 Здатність застосовувати знання і розуміння міждисциплінарного інженерного контексту і його основних принципів у професійній діяльності.
- КС.11. Здатність організувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці.
- КС.13. Здатність розуміти і враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на реалізацію технічних рішень.

Програмні результати навчання

- РН01. Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.
- РН02. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.
- РН06. Знати вимоги галузевих нормативних документів.
- РН10. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання.
- РН20. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.
- РН25. Володіти і застосовувати системи якості продукції, методи її забезпечення та контролю

3. Структура дисципліни

№	Тема	Результати навчання	Завдання
1.	<p>Вступ до мікромеханічних досліджень. Основні механічні властивості на макро-, мікро- та нано-рівнях Міцність, пластичність, твердість, в'язкість руйнування. Взаємозв'язок між структурою та властивостями матеріалу.</p> <p>Огляд методів вимірювання твердості Класифікація: класичні (Брінелль, Роквелл) та спеціалізовані (Віккерс, Кнуп, Шор, склерометрія).</p> <p>Загальні принципи контактної взаємодії індентора з матеріалом.</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.</p> <p>Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Знати вимоги галузевих нормативних документів.</p> <p>Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання.</p> <p>Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки. Володіти і застосовувати системи якості продукції, методи її забезпечення та контролю</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
2	<p>Методи вимірювання мікротвердості (Віккерс, Кнуп). Мікротвердість за Віккерсом (HV). Піраміда Віккерса, розрахунок твердості з розміру відбитка. Стандарти (ISO 6507, ASTM E384), режим навантаження та час витримки. Практичні аспекти вимірювання: точність, калібрування приладу, вплив поверхні.</p> <p>Мікротвердість за Кнупом (HK). Ромбічна піраміда Кнупа, особливості подовженого відбитка. Порівняння з методом Віккерса, коли варто використовувати Кнуп. Вплив мікроструктури та покриттів Товщина шару, ефект підкладки, шорсткість поверхні. Інтерпретація результатів при неоднорідній структурі.</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.</p> <p>Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Знати вимоги галузевих нормативних документів.</p> <p>Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання.</p> <p>Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки. Володіти і застосовувати системи якості продукції, методи її забезпечення та контролю</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
3	<p>Наноіндетування Фізичні основи наноіндетування. Контрольоване вдавлювання (instrumented indentation). Криві “навантаження–розвантаження” (P–h) і метод Олівера-Фарра (Oliver-Pharr). Типи інденторів (Berkovich, конічний), аналіз пружної та пластичної деформації. Визначення модуля Юнга та нанотвердості</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання.</p> <p>Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Знати вимоги галузевих нормативних документів.</p> <p>Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання.</p> <p>Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні,</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні

	<p>Методика розрахунків із кривих P-h. Калібрування індентора, врахування його відхилень та фактора жорсткості. Застосування в дослідженні тонких плівок і покриттів Вплив жорсткості підкладки, багат шарових структур. Аналіз глибинної залежності механічних характеристик.</p>	<p>розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки. Володіти і застосовувати системи якості продукції, методи її забезпечення та контролю</p>	<p>запитання</p>
4	<p>Визначення тріщиностійкості, склерометрія та твердість за Шором. Прямий метод вимірювання тріщиностійкості (Indentation Fracture Toughness). Формування радіальних тріщин під дією індентора Віккерса. Поняття про фрактографічні дослідження. Розрахунок K_{IC} на основі довжини тріщини, залежності для різних типів матеріалів (кераміка, композити). Склерометрія (Scratch Test) Принцип створення подряпини під контрольованим навантаженням. Критичне навантаження, фазові переходи, руйнування покриттів. Застосування для оцінки зносостійкості. Твердість за Шором (Shore hardness) Динамічний метод вимірювання (пружний удар), шкали (A, D тощо). Застосування для полімерів, гум, деяких металів.</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Знати вимоги галузевих нормативних документів. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки. Володіти і застосовувати системи якості продукції, методи її забезпечення та контролю</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання
5	<p>Неруйнівні методи оцінки твердості Ультразвукові методи UCI (Ultrasonic Contact Impedance), принцип вимірювання. Переваги: швидкість, відсутність видимого відбитка, застосування на об'єктах з обмеженим доступом. Обмеження та калібрування. Вихрострумкові методи. Основи вихрострумової дефектоскопії. Оцінка зміни електропровідності та кореляція з твердістю (або іншими механічними властивостями).</p>	<p>Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Знати вимоги галузевих нормативних документів. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки. Володіти і застосовувати системи якості продукції, методи її забезпечення та контролю</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання

	Порівняння неруйнівних методів із традиційними Галузі застосування (енергетика, авіабудування, великогабаритні конструкції). Точність, стандарти, витрати.		
6	Обробка результатів, стандартизація та перспективи мікромеханічних досліджень Обробка та інтерпретація експериментальних даних Статистичний аналіз, визначення похибок, побудова залежностей. Порівняння з літературними даними, урахування особливостей. Стандарти та нормативи ISO 6507 (Vickers), ISO 4545 (Knoop), ISO 14577 (Instrumented indentation), ASTM E384 тощо. Вимоги до протоколів випробувань, оформлення звітів, калібрування обладнання. Сучасні тенденції та перспективи. Наноіндетування за підвищених/знижених температур. Мікромеханічні дослідження композиційних, багаточарових та біоматеріалів. Поєднання методів: in-situ SEM/ТЕМ наноіндетування, кореляція зі структурними дослідженнями.	Демонструвати володіння логікою та методологію наукового пізнання. Знати та вміти використовувати знання фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації матеріалознавства, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Знати вимоги галузевих нормативних документів. Здатність поєднувати теорію і практику' для розв'язування інженерного завдання. Уміти обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні), правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки. Володіти і застосовувати системи якості продукції, методи її забезпечення та контролю	<ul style="list-style-type: none"> • Тестові завдання • Завдання для індивідуальної роботи • Завдання для практичних занять • Завдання для лабораторних занять • Завдання для самостійної роботи • Контрольні запитання

4. Система оцінювання курсу

Накопичування балів під час вивчення дисципліни	
Види навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Лекція	20
Семінарські заняття	0
Практичні заняття	60
Самостійна робота	10
Індивідуальне завдання	10
Іспит	0
Максимальна кількість балів	100

5. Оцінювання відповідно до графіку навчального процесу

Види навчальної роботи	Навчальні тижні (3 семестр)																	Разом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17			
Лекції	4		4		4		4		4									20
Практичні з-тя				10		10		10		10		10		10				60
Самостійна р-та															10			10
Індивідуальні завдання											10							10
Всього за тиждень	4		4	10	4	10	4	10	4	10	10	10		10	10			100

Примітка: не рекомендується на один тиждень планувати кілька форм контролю.

Критерії оцінювання за 100-бальною шкалою:



- *90-100 балів* – Студент вільно володіє навчальним матеріалом; висловлює свої думки; творчо виконує індивідуальні та колективні завдання; самостійно знаходить додаткову інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань; вільно використовує нові інформаційні технології для поповнення власних знань; комунікативні уміння та навички сформовані на високому рівні; може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання завдання і оцінити результати власної практичної діяльності; виконує завдання, не передбачені навчальною програмою; вільно використовує знання для розв'язання поставлених перед ним завдань.
- *70-89 балів* – Студент вільно володіє навчальним матеріалом, застосовує знання на практиці; узагальнює і систематизує навчальну інформацію, але допускає незначні граматичні помилки у порівняннях, формулюванні висновків, застосуванні теоретичних знань на практиці; за зразком самостійно виконує практичні завдання, передбачені програмою; має стійкі навички виконання завдань.
- *50-69 балів* – Студент володіє навчальним матеріалом поверхово, фрагментарно; на рівні запам'ятовування відтворює певну частину навчального матеріалу з елементами логічних зв'язків; знайомий з основними поняттями навчального матеріалу; комунікативні уміння та навички сформовані частково; під час відповіді допускаються суттєві граматичні помилки; має елементарні нестійкі навички виконання завдань; планує та виконує частину завдань за допомогою викладача.
- *Менше 50 балів* – У студента не сформовані комунікативні уміння та навички; студент допускає велику кількість граматичних помилок, що ускладнює розуміння; студент не володіє навчальним матеріалом; виконує лише елементарні завдання, потребує постійної допомоги викладача.

6. Ресурсне забезпечення

Матеріально-технічне забезпечення	Мультимедіа (відеофайли, електронні ресурси унаочнень, Autodesk Fusion)
Література:	
Базова <ol style="list-style-type: none">1. Долгов О. М. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів [Електронний ресурс] : навч. посіб. / О. М. Долгов, Д. Л. Колосов ; Мін-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. – 70 с.2. Холявко, В. В. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів [Електронний ресурс] : підручник / В. В. Холявко, І. А. Владимирський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 11,97 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 270 с. – Назва з екрана.3. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. / В. О. Пчелінцев, А. І. Дегула. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 247 с. ISBN 978-966-657-449-04. Oliver W.C., Pharr G.M. “An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments.” <i>Journal of Materials Research</i>, 7 (1992): 1564–1583.5. ISO 6507 (Vickers), ISO 4545 (Knoop), ISO 14577 (Instrumented indentation), ASTM E384.6. Денисюк, В. Ю., Симонюк, В. П., Лапченко, Ю. С., & Шибковський, І. А. (2020). Метрологічне забезпечення вимірювання механічних та трибологічних властивостей матеріалів на субмікронному і нанометровому діапазонах лінійних розмірів. Перспективні технології та прилади, (17), 33-41.	
Додаткова <ol style="list-style-type: none">1. ASTM E384 – Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.2. Lawn, B. R. (1998). Indentation of ceramics with spheres: a century after Hertz. <i>Journal of the American Ceramic Society</i>, 81(8), 1977-1994.3. Jayaram, V. (2022). Small-scale mechanical testing. <i>Annual Review of Materials Research</i>, 52(1), 473-523.4. ASTM C1624 – Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single-Point Scratch Testing5. ISO 20502 – Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Determination of adhesion of ceramic coatings by scratch testing.6. Bull, S. J. (1997). Failure mode maps in the thin film scratch adhesion test. <i>Tribology international</i>, 30(7), 491-498.7. Kumpati, R., Skarka, W., & Ontipuli, S. K. (2021). Current trends in integration of nondestructive testing methods for engineered materials testing. <i>Sensors</i>, 21(18), 6175.	

7. Контактна інформація

Кафедра	https://kmint.pnu.edu.ua/
---------	---

Викладач	Присяжнюк Павло Миколайович доктор технічних наук, професор
Контактна інформація викладача	 pavlo.prysiashniuk@pnu.edu.ua  Персональна сторінка викладача на сайті кафедри
Політика курсу	
Академічна доброчесність	<p>Дотримання академічної доброчесності засновується на ряді положень та принципів академічної доброчесності, що регламентують діяльність здобувачів вищої освіти та викладачів університету:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Кодекс честі Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, Наказ №530 від 27.09.2022 р. “Про введення в дію нової редакції Кодексу честі Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника” ✓ Положення про запобігання академічному плагіату та іншим порушенням академічної доброчесності у навчальній та науково дослідній роботі студентів Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника . ✓ Положення про Комісію з питань етики та академічної доброчесності Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника ✓ Положення про запобігання академічному плагіату у Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника . ✓ Склад комісії з питань етики та академічної доброчесності Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника . ✓ Лист МОН України “До питання уникнення проблем і помилок у практиках забезпечення академічної доброчесності”. <p>Ознайомитися з даними положеннями та документами можна за посиланням: https://pnu.edu.ua/polozhennia-pro-zapobihannia-plahiatu/</p>
Пропуски занять (відпрацювання)	<p>Можливість і порядок відпрацювання пропущених студентом занять регламентується Порядком організації та проведення оцінювання успішності здобувачів вищої освіти Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (наказом ректора Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника від 19 травня 2023 р. № 309) (https://nmv.pnu.edu.ua/wp-</p>

	<p>content/uploads/sites/118/2023/05/otzinnuvannja-uspishnosti.pdf) Ознайомитися з положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>
Виконання завдання пізніше встановленого терміну	<p>У разі виконання завдання студентом пізніше встановленого терміну, без попереднього узгодження ситуації з викладачем, оцінка за завдання - «незадовільно», відповідно до Порядку організації та проведення оцінювання успішності здобувачів вищої освіти Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (наказом ректора Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника від 19 травня 2023 р. № 309) (https://nmv.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/118/2023/05/otzinnuvannja-uspishnosti.pdf) Ознайомитися з положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>
Невідповідна поведінка під час заняття	<p>Невідповідна поведінка під час заняття регламентується рядом положень про академічну доброчесність (див. вище) та може призвести до відрахування здобувача вищої освіти (студента) «за порушення навчальної дисципліни і правил внутрішнього розпорядку вищого закладу освіти», відповідно до п.14 «Відрахування студентів» «Положення про порядок переведення, відрахування та поновлення студентів вищих закладів освіти» - ознайомитися із положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>
Додаткові бали	<p>Отримання додаткових балів за дисципліною можливе в разі виконання індивідуальних завдань, попередньо узгоджених з викладачем. Перелік індивідуальних завдань міститься у навчальній програмі до курсу. Також за рішенням кафедри студентам, які брали участь у науково-дослідній роботі (роботі конференцій, студентських наукових гуртків та проблемних груп, підготовці публікацій), а також були учасниками олімпіад, конкурсів, можуть присуджуватися додаткові бали відповідності Порядку організації та проведення оцінювання успішності здобувачів вищої освіти Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (наказом ректора Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника від 19 травня 2023 р. № 309) (https://nmv.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/118/2023/05/otzinnuvannja-uspishnosti.pdf) Ознайомитися з положенням можна за посиланням: https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>
Неформальна освіта	<p>Можливість зарахування результатів неформальної освіти регламентується Положення про визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної освіти в Прикарпатському національному університеті імені Василя Стефаника (Редакція 3) (введено в дію наказом ректора № 672 від 24.11.2022 р.) https://nmv.pnu.edu.ua/нормативні-документи/polozhenja/</p>