

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЗАГАЛЬНОЇ ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан математичного факультету

_____ С. І. Гоменюк

“ _____ ” _____ 2022 р.

ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНІ

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки бакалаврів
спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітньо-професійна програма Прикладна фізика

**Укладач: Яновський О.С., канд. ф.-м. наук, доцент, доцент кафедри
загальної прикладної фізики**

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри прикладної
фізики і наноматеріалів

Ухвалено науково-методичною радою
математичного факультету

Протокол № 1 від «22» серпня 2022 р.
Завідувач кафедри прикладної фізики і
наноматеріалів

Протокол № 1 від «03» вересня 2022 р..
Голова науково-методичної ради
математичного факультету

А. М. Андрєєв

О. С. Пшенична

2022 рік

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрямок підготовки, рівень вищої освіти,	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 7	Галузь знань 10 – Природничі науки	нормативна
		Цикл дисциплін професійної підготовки
Розділів – 2	Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали	Рік підготовки:
Загальна кількість годин - 210		4-й
		Лекції
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 11	Освітньо-професійна програма <u>Прикладна фізика</u>	28 год.
		Практичні
		28 год.
		Самостійна робота
		154 год.
	Рівень вищої освіти: бакалавр	Вид підсумкового контролю: залік

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Високотемпературні металокомпозитні матеріали та покриття» є навчити студента основним прийомам і засобам розв'язання типових задач з механіки деформівного твердого тіла з урахуванням його композитної або нанокompозитної структури.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Високотемпературні металокомпозитні матеріали та покриття» є: оволодіти основними поняттями механіки твердих тіл: переміщеннями, деформаціями і напруженнями, найпоширенішими методами розв'язання задач механіки, основними ідеями і концепціями композитів і нанокompозитів; виробити навички практичного розв'язання задач механіки нанокompозитів, а також дати необхідні знання для подальшого їх застосування у навчанні та на виробництві.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати**: різні структури металокомпозитних матеріалів, їхні відмінні характеристики й особливості деформування та руйнування; визначальні співвідношення процесу деформування різних композиційних матеріалів і критерії їхнього руйнування; методи розв'язання крайових задач у механіці композиційних матеріалів.

вміти: проводити науково-дослідну діяльність в галузі механіки металокомпозитних матеріалів з використанням сучасних математичних моделей і методів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей:**

- засвоєння основних понять механіки деформівного твердого тіла;
- знання основ експериментальних досліджень взаємодії волокнистих армованих середовищ та матричних важкоплавких металів (сплавів);
- знання основних теорій механіки: теорії пружності, пластичності та повзучості;
- засвоєння основних положень теорії композитів та нанокompозитів;
- навичок розв'язання задач механіки композитів та нанокompозитів із застосуванням чисельного методу скінченних елементів;
- вміння застосувати сучасний математичний апарат для розв'язання задач механіки нанокompозитів.

Міждисциплінарні зв'язки. Курс «Високотемпературні металокомпозитні матеріали та покриття» потребує знань та навичок, які набули студенти при вивченні основних та професійних дисциплін освітньо-професійної програми підготовки бакалавра спеціальності Прикладна фізика, а також пов'язаний із класичними розділами фізики і математики та курсами «Програмне та математичне моделювання», «Моделювання фізичних процесів», а також природничо-наукової підготовки за дисципліною «Фізика твердого тіла» і «Механіка».

3. Програма навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи механіки суцільних середовищ

Тема 1. Основи теорії пружності

Поняття пружності. Вектор переміщень. Тензор напружень. Тензор деформацій. Позначення для сил і напружень. Закон Гука. Співвідношення Коші. Плоский напружений стан та плоска деформація. Плоска деформація. Постановка плоскої задачі теорії пружності. Диференційні рівняння рівноваги. Енергія деформації. Постановка тривимірної задачі теорії пружності. Варіаційні принципи Лагранжа і Кастільяно. Аналітичні та наближені методи розв'язку задач теорії пружності.

Тема 2. Основи теорії пластичності

Поняття пластичності. Умови пластичності. Основні теорії пластичності. Основні співвідношення теорії пластичності. Просте і складне навантаження. Теорія малих пружно-пластичних деформацій. Теорія пластичного плину. Розвантаження. Постановка задачі теорії пластичності. Варіаційні принципи теорії пластичності. Теорема про просте навантаження.

Теорема про розвантаження. Метод пружних рішень. Гранична деформація. Побудова графіків граничних деформацій з урахуванням пружньо-деформівного стану.

Тема 3. Поняття розмірної залежності кінетичних та механічних властивостей фазових перетворень металокераміки. Поняття в'язкопружності

Залежність між напруженнями і деформаціями при одновісному напруженому стані в'язкопружних тіл. Співвідношення між напруженнями й деформаціями при об'ємному напруженому стані. Принцип Вольтерри. Варіаційні принципи теорії в'язкопружності. Плоска задача в'язкопружності. Розмірна залежність кінетичних властивостей. Параметри самодифузії в нанокристалічній міді та нікелі. Розмірна залежність механічних властивостей. Розмірний ефект в діелектриках і магнетиках. Фазові переходи в феромагнетиках і фероелектриках як функції розміру зерен. Нанодисперсні системи. Основні параметри геометричної структури. Характеристики полідисперсності ансамблю частинок.

Тема 4. Основи механіки руйнування

Загальні відомості про механіку руйнування. Класифікація наноструктурних систем за топологічними ознаками. Розмірні ефекти в наноструктурних системах. Механічне диспергування твердих тіл. Класифікація методів механічної дії на тверде тіло. Механо-хімічний синтез. Процеси, що базуються на топологічних гетерогенних частково твердофазних реакціях. Параметри геометричної структури і площа поверхні дисперсної системи. Фрактали і фрактальні структури в нанодисперсних системах. Приклади побудови фракталів на основі найпростішого елемента (трикутника). Залежність фракталу від його середньої щільності та масштабу.

Тема 5. Взаємодія волокнистих армованих середовищ та матричних важкоплавких сплавів

Фізичні властивості та топологія поверхні високомодульних волокон важкоплавких сполук. Поверхні розділу у надвисокотемпературних композиційних матеріалах, які армовані волокнами важкоплавких сполук. Матричні метали і сплави надвисокотемпературних композиційних матеріалів. Властивості важкоплавких металів та сплавів на їхній основі. Будова та властивості армуючих середовищ надвисокотемпературних композиційних матеріалів. Взаємодія вуглецевих волокон та тканин із газовими середовищами. Вуглецеві матеріали, які застосовуються у виробництві надвисокотемпературних композитів. Графіт: структура та властивості. Ідеальна структура графіту. Трьохвимірна структура графіту. Поверхнева енергія графітів.

Розділ 2. Механіка композитів та нанокompозитів

Тема 6. Основи розрахунку в'язкопружних тіл

Визначення композитного матеріалу. Типи композитів і нанокompозитів. Композит як механічне середовище. Побудова композитів і нанокompозитів. Правило суміші. Теорія комірок. Теорія ортотропних матеріалів. Механіка багатошарових пластин. Методи розв'язання задач механіки композитів і нанокompозитів. Оцінка термодинамічної стабільності сполук. Основні ідеї та концепція методу скінченних елементів (МСЕ). Алгоритм застосування МСЕ. Типи скінченних елементів (СЕ). Функції форм СЕ.

Тема 7. Основні положення теорії композитів та нанокompозитів

Теоретичні основи процесів отримання композиційних та нанокompозиційних матеріалів. Класифікація композиційних матеріалів за способом отримання та орієнтації арматури в матриці. Температурні області ефективної експлуатації конструкційних композиційних та нанокompозиційних матеріалів. Теоретичні основи і методи нанесення жаростійких та зносостійких покриттів на поверхню конструкційних композиційних матеріалів.

Тема 8. Застосування математичного апарату для чисельного аналізу задач механіки композитів і нанокompозитів

Алгоритм застосування МСЕ для розв'язку контактних задач. Умови Куна-Таккера та не проникнення. Алгоритм застосування методу пружних рішень спільно з МСЕ. Поняття лінеаризації. Інші методи лінеаризації. Математичне моделювання процесів непружної поведінки та накопичення пошкоджень матеріалу. Узагальнена модель непружності. Теорії пластичності, повзучості та непружності при складному навантаженні. Накопичення пошкоджень при ізотермічному та неізотермічному циклічному та тривалому навантаженнях. Чисельне вирішення задач складного навантаження тонкостінних конструкцій. Формулювання вирішувальної системи рівнянь.

Тема 9. Фізико-механічні властивості наноматеріалів різних методів (технологій) виготовлення та напрямків застосування

Розробка нових полімерних нанокompозиційних наноматеріалів з комплексом заданих властивостей. Сучасні уявлення про структуру та властивості полімерних матеріалів та вплив на них магнітних полів. Критерії оцінки конструкційних матеріалів за умовами їхньої експлуатації в області високих та надвисоких температур. Методи визначення міцності вуглецевих волокон. Формування властивостей міцності графітів. Проектування фізико-

механічних властивостей піровуглецевої матриці та пучків вуглецевих ниток. Вплив термомагнітного оброблення на деякі властивості полімерів та полімерних композиційних матеріалів. Вплив сильних магнітних полів на процеси утворення надмолекулярних структур.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тематичних розділів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	практ.	сам. роб.			л	сем./пр./лаб. (обрати вид занять відповідно до навчального плану)	сам. роб.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Розділ 1. Основи механіки суцільних середовищ										
Тема 1. Основи теорії пружності.	18	4	2	6	6	-	-	-	-	-
Тема 2. Основи теорії пластичності.	22	2	2	9	9	-	-	-	-	-
Тема 3. Поняття розмірної залежності кінетичних та механічних властивостей фазових перетворень металокераміки. Поняття в'язкопружності.	26	6	2	9	9	-	-	-	-	-
Тема 4. Основи механіки руйнування.	25	6	1	9	9	-	-	-	-	-
Тема 5. Взаємодія волокнистих армованих середовищ та матричних важкоплавких сплавів.	25	6	1	9	9	-	-	-	-	-
Разом за розділом 1	116	24	8	42	42	-	-	-	-	-
Розділ 2. Механіка композитів та нанокompозитів										

Тема 6. Основи розрахунку в'язкопружних тіл.	28	4	2	11	11	-	-	-	-	-
Тема 7. Основні положення теорії композитів та нанокompозитів.	22	2	2	9	9	-	-	-	-	-
Тема 8. Застосування математичного апарату для чисельного аналізу задач механіки композитів і нанокompозитів.	21	6	1	7	7	-	-	-	-	-
Тема 9. Фізико-механічні властивості наноматеріалів різними методами (технологій) виготовлення та напрямків застосування.	23	6	1	8	8	-	-	-	-	-
Разом за розділом 2	94	18	6	35	35	-	-	-	-	-
Усього годин	210	42	14	77	77	-	-	-	-	-

5. Теми лекційних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Основи теорії пружності.	4
2	Основи теорії пластичності.	2
3	Поняття розмірної залежності кінетичних та механічних властивостей фазових перетворень металокераміки. Поняття в'язкопружності.	6
4	Основи механіки руйнування.	6
5	Взаємодія волокнистих армованих середовищ та матричних важкоплавких сплавів.	6
6	Основи розрахунку в'язкопружних тіл.	4
7	Основні положення теорії композитів та нанокompозитів.	2
8	Застосування математичного апарату для чисельного аналізу задач механіки композитів і нанокompозитів.	6
9	Фізико-механічні властивості наноматеріалів різними методами (технологій) виготовлення та напрямків застосування.	6
Разом		42

6. Теми практичних занять

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Основи теорії пружності.	2
2	Основи теорії пластичності.	2
3	Поняття розмірної залежності кінетичних та механічних властивостей фазових перетворень металокераміки. Поняття в'язкопружності.	2
4	Основи механіки руйнування.	1
5	Взаємодія волокнистих армованих середовищ та матричних важкоплавких сплавів.	1
6	Основи розрахунку в'язкопружних тіл.	2
7	Основні положення теорії композитів та нанокompозитів.	2
8	Застосування математичного апарату для чисельного аналізу задач механіки композитів і нанокompозитів.	1
9	Фізико-механічні властивості наноматеріалів різних методів (технологій) виготовлення та напрямків застосування.	1
Разом		14

7. Самостійна робота

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість годин
1	Основи теорії пружності.	6
2	Основи теорії пластичності.	9
3	Поняття розмірної залежності кінетичних та механічних властивостей фазових перетворень металокераміки. Поняття в'язкопружності.	9
4	Основи механіки руйнування.	9
5	Взаємодія волокнистих армованих середовищ та матричних важкоплавких сплавів.	9
6	Основи розрахунку в'язкопружних тіл.	11
7	Основні положення теорії композитів та нанокompозитів.	9
8	Застосування математичного апарату для чисельного аналізу задач механіки композитів і нанокompозитів.	7
9	Фізико-механічні властивості наноматеріалів різних методів (технологій) виготовлення та напрямків застосування.	8
Разом		77

Індивідуальне завдання

Підготовка доповіді за обраною студентом темою (за змістом теми 9 – «Фізико-механічні властивості наноматеріалів різних методів (технологій) виготовлення та напрямків застосування»). Захист індивідуального завдання відбувається у формі доповіді. Тема доповіді обговорюється окремо з кожним студентом з урахуванням назви дипломної роботи.

8. Види контролю і система накопичення балів

	Вид контрольного заходу	Кількість контрольних заходів	Кількість балів за 1 захід	Усього балів
1	Підготовка завдання самостійної роботи (з представленням результатів на практичному занятті)	8	5	40
2	Контрольне тестування у письмовому вигляді 1-2; 3-4; 5-6; 7-8; 9 (письмові відповіді на запитання)	10	2	20
3	Захист індивідуального завдання	1	20	20
	Екзамен		20	20
	Усього	19		100

Критерії оцінювання

1. Для **самостійної роботи** кожен студент отримує завдання, що включає теоретичне питання і практичне завдання. Завдання вирішуються письмово на практичному занятті. Максимальна кількість балів за самостійну роботу – 5 балів. При оцінюванні враховується: логічність і послідовність відповіді на теоретичне питання (2 бали), уміння використовувати теоретичні знання під час розв'язування розрахункових та якісних задач (2 бали), якість оформлення роботи (1 бал).

2. **Контрольне тестування** проводиться письмово по закінченню вивчення тем:

- 1) теми №1 та №2 – I контрольне тестування;
- 2) теми №3 та №4 – II контрольне тестування;
- 3) теми №5 та №6 – III контрольне тестування;
- 4) теми №7 та №8 – IV контрольне тестування;
- 5) тема №9 - V контрольне тестування.

Максимальна кількість балів за одне тестування – 2 бали. Критеріями оцінювання є логічність, послідовність, повнота розкриття теоретичних питань (1 бал), правильність відповіді та рівень теоретичного обґрунтування при відповіді на практичні питання (1 бал).

3. Підсумковий контроль здійснюється за результатами виконання індивідуального завдання (20 балів) та екзамену (20 балів).

Індивідуальне завдання — підготовка доповіді за змістом теми 9 - «Фізико-механічні властивості наноматеріалів різних методів (технологій) виготовлення та напрямків застосування». Захист відбувається на практичному занятті у формі колоквіуму: студент робить доповідь, по закінченню якої відповідає на питання викладача та групи (при цьому дозволяється користуватися самою роботою та графічними матеріалами). Оцінюються загальний науковий рівень, зміст і якість доповіді (максимально 12 балів) та повнота, чіткість і обґрунтованість відповідей на запитання (максимально 8 балів).

Екзамен проходить в кінці навчання. Екзаменаційний білет включає 2 теоретичних питання і 1 практичне завдання за різними темами вивченого курсу. Викладач може задавати додаткові питання. Максимальна кількість балів за екзамен – 20 балів. *Рівень теоретичних знань* оцінюється максимально у 15 балів: засвоєння основних положень теорії композитів та нанокompозитів (8 балів) та використання цих знань при аналізі фізичних процесів (7 балів). Також виявляється *рівень практичних умінь*, а саме сформованість навичок розв'язання задач механіки композитів та нанокompозитів (5 балів).

Таким чином, сумарна кількість балів, яку отримує студент протягом семестру, складає 100.

В залежності від отриманої суми балів до екзаменаційної відомості та в залікову книжку виставляється оцінка за національною шкалою.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

За шкалою ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	
E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		

9. Рекомендована література

Основна:

1. Костиков В.И. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы / В.И. Костиков, А.Н. Варенков. - М.: Интермет Инжиниринг, 2003.-560 с.
2. Наноматериалы (Том 2) (Сборник докладов Харьковской нанотехнологической ассамблеи - 2008). – Харьков: ННЦХФТН, 2008.-231с.
3. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудвер. –М.: Наука, 1976. – 575 с.
4. Фудзин Т.Н. Механика разрушения композиционных материалов. – М.: Мир, 1982. – 316 с.
5. Ильющин А.А. Пластичность. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 271 с.
6. Стадник А.Д. Полимерные композиты и нанокompозиты магнитных полях / А.Д. Стадник, Г.В. Кирик. – Сумы: ИТД «Университетская книга», издательство «Слобожанщина», 2005. – 240 с.
7. Виноградов А.Н. Магнитооптические и магнитные свойства нанокompозитов гранилированный кобальт – пористый кремний // Техника, № 27. – С. 84-89.

Додаткова:

1. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности. – М.: Высш. шк., 1990. – 400с.
2. Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя / І.К. Походня, А.Г. Косторнов, В.І. Махненко. – К.: Наукова думка, 1998. – 458 с.
3. Наноматериалы и нанотехнологии: получение, строение, применение. Монография коллектива авторов / Н.Е. Калинина, В.Т. Калинин, З.В. Вилищук, А.В. Калини, О.А. Кавац. –Дн-вск: Изд-во Маковский. 2012. –192 с.
4. О построении теории разрушения нанокompозитов при сжатии / А.Н. Гузь, А.А. Роджер, И.А. Гузь, Прикладная механика. – Том 41. – №3. – 2005. – С. 3-33

Інформаційні ресурси:

1. Механика композитных материалов [Электронный ресурс]: Международный научный журнал; ред. В.П. Тамуж. – Рига: Latvijas Universitates, Polimeru Mehanikas Instituts, 2003. – Рубрика: 55.09.43 – Композиционные материалы. – Режим доступа к журн.: http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7896
2. Механика композиционных материалов и конструкций [Электронный ресурс]: Всероссийский научный журнал; ред. Ю.Г. Яновский. – М.: Учреждение Рос. акад. наук Институт прикл. мех. РАН, 1995. – Режим доступа к журн.: <http://mkmk.ras.ru/Default.html>
3. Победря Б.Е. О вычислительной механике нанокompозитов [Электронный ресурс]: Композиты и наноструктуры. – М.: Изд-во МГУ, 2009, – № 2. – С 44–46.– Режим доступа к журн.: http://www.issp.ac.ru/journal/composites/2009/2009_2/pobedrya.pdf
4. Материалы семинара "Механика композитов и применение технологий DIGIMAT", 7 апреля 2011 г. – СПб.: Национальный исслед. университет СПбГПУ, 2011. – Режим доступа: <http://www.digimat.compmechlab.ru/news/2298>

Погоджено

з навчальним відділом

« _____ » _____