



Структурна інженерія механічних властивостей матеріалів нового покоління

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	132 Матеріалознавство
Освітня програма	<i>Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві</i>
Статус дисципліни	Нормативна, цикл професійної підготовки, ПО 01
Форма навчання	очна(денна)/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	1 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	120 годин, 4 кредити ЕКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	залік
Розклад занять	rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доц. Холявко Валерія Вікторівна , контактні дані: м.тел.050-271-5474, e-mail: kholval@ukr.net Лабораторні: к.т.н., доц. Холявко Валерія Вікторівна , контактні дані: м.тел.050-271-5474, e-mail: kholval@ukr.net
Розміщення курсу	Google classroom на платформі Сікорські-дістанс (запрошувальне посилання можна отримати у викладача)

Програма навчальної дисципліни

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

Знання курсу необхідні для розуміння принципів структурної інженерії матеріалів нового покоління. Основна ідея курсу полягає у визначенні фізичних механізмів, що відповідають за структурну чутливість механічних властивостей матеріалів.

Особливість подання цієї проблематики студентам освітньої програми полягає у широкому використанні теорії дислокацій та сучасних моделей деформаційного зміцнення та руйнування. При побудові курсу широко використані феноменологічні та теоретичні уявлення, що відомі студентам з курсів загальної фізики, фізики металів та дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів», які в цьому спецкурсі уточнюються відповідно до його задач.

Мета вивчення дисципліни: набуття студентами компетентностей відповідно до освітньої програми:

КЗ.02 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

СК.01 Здатність виявляти та ставити проблеми в сфері матеріалознавства, приймати ефективні рішення для їх вирішення.

СК.02 Здатність планувати та проводити дослідження в сфері матеріалознавства у лабораторних та виробничих умовах на відповідному рівні з використанням сучасних методів і методик експерименту

СК.03 Здатність розробляти нові методи і методики досліджень, базуючись на знанні методології наукового дослідження та особливості проблеми, що вирішується.

СК.04 Здатність оцінювати та забезпечувати якість робіт, що виконуються

СК.09 Здатність обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів і виробів, для конкретних умов експлуатації

СК.16 Здатність на основі аналізу поставленої задачі по дослідженню матеріалів, виробів та покриттів з них вибрати необхідні методи, методики та апаратний комплекс.

СК.17 Здатність здійснювати експертні дослідження зруйнованих виробів, скласти заключення (технічні звіти) та розробляти пропозиції щодо підвищення надійності та довговічності виробів.

Предмет дисципліни: теорія та практика визначення рівня механічних властивостей металів та сплавів, що використовуються у техніці при навантаженнях, що можуть викликати деформування чи руйнацію.

Програмні результати навчання:

РН 1 Розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій.

РН 2 Виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі проблеми і задачі

РН 11 Використовувати сучасні методи для виявлення, постановки та розв'язування винахідницьких задач в галузі матеріалознавства

РН 13 Планувати і виконувати експериментальні матеріалознавчі дослідження, обирати відповідні обладнання та методики, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки

РН 17 Розв'язувати прикладні задачі виготовлення, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів і виробів

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

Для успішного опанування дисципліни студентам необхідно знати основні властивості дефектів кристалічної будови матеріалів різної розмірності та основні характеристики деформаційних процесів в матеріалі протягом навантаження. Бажано володіти математикою в обсязі знань середньої школи, вміти працювати в програмі Excel / Image Pro / Origin.

Міждисциплінарні зв'язки: Дисципліна **базується** на курсах бакалаврської програми: «Фізика», «Кристалографія, кристалохімія та мінералогія», «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів». Також вона **є базовою** для таких дисциплін: «Нові матеріали та методи досліджень», «Комп'ютерне моделювання структури металевих матеріалів» та виконання досліджень за темою магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Фізичні основи пластичності металічних матеріалів

Тема 1. Вступ. Предмет і завдання дисципліни. Місце науки про міцність в загальній системі людських знань. Діаграми деформування матеріалу в координатах «напруження-деформація».

Тема 2. Основні типи дефектів кристалічної будови: їх особливості, рух та взаємодія.

Тема 3. Еволюція дислокаційної структури в процесі деформування.

Тема 4. Фізичні закони деформування матеріалів.

Тема 5. Мікромеханізми зміцнення матеріалів.

Розділ 2. Фізичні основи забезпечення силової надійності елементів конструкції

Тема 1. Структурні перетворення протягом циклічного навантаження

Тема 2. Фізичні основи втомного руйнування

Тема 3. Зношування в парах тертя. Забезпечення зносостійкості

4. Навчальні матеріали та ресурси

Вся базова література є в електронній бібліотеці кафедри, у науково-технічній бібліотеці ім. Г.І. Денисенка КПІ ім. Ігоря Сікорського та в електронному вигляді у викладача.

Базова література:

1. Дяченко С.С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч. посібник / С.С. Дяченко. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
2. Вакуленко И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2007. – 191 с.
3. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пуллюя, 2011. – 322 с.
4. Холявко В.В. Конспект лекцій з дисципліни «Структурна інженерія механічних властивостей матеріалів» [рукопис] / В.В. Холявко. – К. : «Політехніка», 2019. – 275 с.

Додаткова література:

1. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем : монографія / [Л.М. Мамаєв [та ін.] ; Міністерство освіти і науки України, Дніпровський державний технічний університет "ДДТУ". – Кам'янське : ДДТУ, 2017. – 182 с.
2. Панасюк, В. В., Дослідження з теорії міцності та руйнування квазікрихких тіл з тріщинами : монографія / В.В. Панасюк ; Національна академія наук України, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка. – Львів : Видавництво "Простір", 2020. – 214 с.
3. Вакуленко, Ігор Олексійович., "Втома металевих матеріалів в конструкціях рухомого складу." (2011). – 154 с.
4. Козак, Л. Ю. "Нові погляди на пластичність металів." Physics and chemistry of solid state 11.4. (2010). – P. 1007-1016. Режим доступу:
https://pnu.edu.ua/inst/phys_che/start/pcss/vol11/1104-32.pdf
5. Марущак, М. В., Основні принципи деформаційного зміцнення металів. Аналіз методів та пристроїв, які використовуються для пластичного поверхневого деформування. Diss. ВНТУ, 2018. – 5 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни

Лекцій – 36 годин,

Лабораторних робіт – 18 годин

Для опанування лекційного матеріалу студентам пропонується опрацювати конспект відповідної лекції та презентацію.

Розділ 1. Фізичні основи пластичності металічних матеріалів

Тема 1. Лекція 1. Структура дисципліни, РСО. Вступ. Багаторівневий аналіз механічної поведінки матеріалів. Особливості поведінки матеріалів протягом деформування. Типи деформаційних кривих.

Тема 2. Лекція 2. Типи дефектів кристалічної будови матеріалів. Дислокації в металах, їх рух та взаємодія.

Тема 2. Лекція 3. Дефекти пакування та розтягнуті дислокації: їх виникнення, рух та взаємодія.

Тема 2. Лекція 4. Особливості будови границь зерен. Атмосфери точкових дефектів.

Тема 3. Лекція 5. Дислокаційна модель пластичної деформації. Інші механізми деформації.

Тема 3. Лекція 6. Структурні перетворення в матеріалі під час деформування. Еволюція дислокаційної структури в процесі деформування.

Тема 4. Лекція 7. Фізичні закони деформування матеріалів. Феноменологія діаграм зміцнення матеріалів.

Тема 4. Лекція 8. Особливості деформування полікристалічних матеріалів. Формування коміркової структури.

Тема 5. Лекція 9. Мікромеханізми зміцнення матеріалів. Принцип адитивності Кокса. Сила тертя ґратки.

Тема 5. Лекція 10. Дислокаційне зміцнення матеріалів.

Тема 5. Лекція 11. Твердорозчинне зміцнення матеріалів.

Тема 5. Лекція 12. Дисперсійне зміцнення матеріалів.

Тема 5. Лекція 13. Зернограничне зміцнення матеріалів.

Розділ 2. Фізичні основи забезпечення силової надійності елементів конструкції

Тема 1. Лекція 14. Основні параметри циклічного навантаження. Основні параметри та фрактографія поверхні втомного руйнування.

Тема 2. Лекція 15. Структурні перетворення про мало-та великоциклової втомі.

Тема 2. Лекція 16. Фізичні основи втомного руйнування. Фактори впливу на втомну міцність матеріалів

Тема 3. Лекція 17. Зношування: основні параметри, визначення та класифікація.

Тема 3. Лекція 18. Структурні перетворювання в процесі зношування. Вторинні структури. Фізичні основи зношування та методи покращення зносостійкості.

Для виконання лабораторних робіт студенти знайомляться з матеріалом в методичних вказівках та готують протокол відповідної роботи.

Лабораторна робота 1. Вплив розподілу напружень навколо дислокації на характер взаємодії двох паралельних дислокацій одного типу. Дислокаційні взаємодії.

Лабораторна робота 2. Вплив щільності дислокацій на процеси самоорганізації дислокаційних субструктур.

Лабораторна робота 3. Аналіз процесу локалізації деформації в матеріалі за допомогою умови Консидера.

Лабораторна робота 4. Дислокаційна модель зернограничного зміцнення матеріалів.

Лабораторна робота 5. Твердорозчинне зміцнення матеріалів.

Лабораторна робота 6. Зміцнення металевих матеріалів когерентними частинками другої фази.

Лабораторна робота 7. Зміцнення металевих матеріалів некогерентними частинками другої фази.

Лабораторна робота 8. Зернограничне зміцнення.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів в рамках даної дисципліни складається з підготовки до лекційних та лабораторних занять, виконання експрес-тестів до кожної лекції в гугл-формах, проведенні розрахунків в процесі виконання лабораторних робіт та підготовки до МКР та заліку.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни

- *доступ до матеріалів курсу*

Дисципліна у повному обсязі є на платформі дистанційного навчання «Сікорський». Приєднатися можна за запрошувальним посиланням, яке надає викладач. В рамках застосування елементів дистанційного навчання, заняття проводяться у форматі відеоконференцій в Zoom / Meet. Весь необхідний матеріал (презентації, текстовий конспект, тести тощо) викладений у відповідному курсі в G Suite for Education.

Лабораторні заняття проводяться в офлайн форматі. Весь необхідний матеріал (презентації, протоколи робіт, індивідуальні вихідні дані тощо) викладений у відповідному курсі в G Suite for Education.

Викладач вчасно надає студентам доступ до навчальних матеріалів, тестів, МКР тощо.

Протягом лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує за необхідності додаткові ресурси для лабораторних робіт

- *правила відвідування занять:*

Пропускати заняття без поважної причини не рекомендується.

Якщо з якихось причин студент не може бути присутнім на онлайн /офлайн занятті, він має самостійно опанувати матеріал, виконати тест до лекції. Якщо була пропущена лабораторна робота - виконати розрахунки для відповідного варіанту індивідуального завдання. Наявність увімкненої камери на дистанційних заняттях не є обов'язковою, за виключенням контрольних робіт та заліку.

Якщо протягом онлайн заняття оголошується повітряна тривога – заняття припиняється, студенти та викладач швидко йдуть в укриття. Заняття продовжується після закінчення тривоги (якщо є час), або приймається рішення щодо інших методик відпрацювання матеріалу.

Якщо сигнал тривоги звучить протягом онлайн заняття, воно може бути продовжено тільки у випадку, якщо всі присутні перебувають в безпечному місці. Якщо це не так – заняття переривається. Матеріал лекції студенти опановують самостійно, користуючись презентаційними матеріалами, текстовим конспектом лекції та відповідними відеоматеріалами, які знаходяться в папці лекції в класрумі.

- *правила поведінки на заняттях:*

Протягом заняття студент повинен уважно слухати викладача, відповідати на запитання, не запускати та не переглядати презентації чи інші записи, які не стосуються теми заняття.

Власний рукописний конспект лекцій студент веде за власним бажанням.

Протягом самостійної роботи студентам необхідно уважно опрацьовувати інформацію з конспекта лекцій та за потреби користуватися іншою літературою. Після кожної лекції студенти повинні виконати тест, який знаходиться у розділі «Тести до лекцій» в класрумі. Студент має виконати тестове завдання до лекційного матеріалу, навіть якщо він був відсутній на лекції;

Для допуску до виконання лабораторної роботи студент повинен мати роздрукований протокол відповідної роботи.

Студенти можуть задавати запитання як протягом заняття, так і в інший час у створеному для цього чаті в Телеграм;

- *правила захисту лабораторних робіт;*

Лабораторні роботи захищаються індивідуально. Захист можливий як протягом відеоконференції, так і в режимі спілкування в реальному часі в телеграмі чи в аудиторії. Студент повинен надати викладачу заповнений протокол роботи з виконаними розрахунками, побудованими графіками залежностей та написаними висновками. Після перевірки правильності розрахунків та висновків викладач задає студенту запитання за темою роботи. Після захисту роботи студент заповнений протокол завантажує у відповідний розділ в класрум.

- *правила призначення заохочувальних та штрафних балів;*

Штрафні бали нараховуються за:

- несвоєчасний захист лабораторної роботи: -1 бал/тиждень

Заохочувальні бали призначаються за:

- підготовку тез для участі у науковій конференції за темою, що дотична до матеріалів дисципліни: + 5 балів / тези;
- допомогу у створенні відео-, аудіо- контенту з дисципліни: +5 балів / заняття;
- виконані всі тести до лекцій більше ніж на 80% балів +5 бали;
- захист лабораторної роботи до кінця тижня в якому вона задавалася +2 бали;
- захист лабораторної роботи до дня наступної лабораторної роботи +1 бал

- *політика дедлайнів та перескладань;*

На захист кожної лабораторної роботи дається місяць. Захист пізніше цього терміну оцінюється з врахуванням штрафних балів.

МКР зараховується, якщо набрано не менше 50% балів. Переписування контрольної роботи можливе протягом семестру. При цьому студент отримує інший варіант завдання. Якщо при переписуванні отримано більше 50% балів, то оцінка виставляється як середнє арифметичне першої та останньої спроби, але не менше половини від максимальної кількості балів.

Тести до лекцій не перескладаються.

- *політика щодо академічної доброчесності;*

При виявленні в роботах (лабораторних чи МКР) ознак списування, робота у того, хто списав не зараховується. В разі неможливості встановлення факту хто у кого списав, робота не зараховується у всіх причетних.

- *інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Університету.*

Немає

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

Поточний контроль:

- тести до лекцій – 5 балів / тест
- МКР – 20 балів,
- Лабораторна робота – 10 балів / робота

Рейтингова система оцінювання результатів навчання з дисципліни

Семестровий рейтинг студента складається з балів за:

- виконання тестів до лекцій;
- виконання модульної контрольної роботи;
- виконання та захист 9 лабораторних робіт;
-

Критерії нарахування балів

Для кожного виду контролю застосовується шкала оцінювання ступеню виконання завдання.

1. Лабораторна робота:

Лабораторні роботи виконуються протягом семестру згідно розкладу. Протоколи робіт та індивідуальні вихідні дані для виконання роботи знаходяться у розділі «Лабораторні роботи» в classroom. Індивідуальне завдання для розрахунків отримує кожен студент (або бригада, якщо група велика і була поділена на бригади). Всі результати розрахунків заносяться до відповідних таблиць, наведених в протоколі. Висновки пишуться по пунктах відповідно до переліку проблем, перелічених у теоретичній частині протоколу. Захист роботи здійснюється у вказані строки. За кожну роботу можна отримати до 5 балів. Рейтингові бали виставляються відповідно до критеріїв:

правильно оформлений протокол і виконані всі завдання, правильно написані висновки	5 балів
неповно оформлений протокол, неправильно побудовані графічні залежності, висновки написані не повно	4 бали
неповно виконане завдання, середнє опанування матеріалу, помилки у розрахунках та висновках, але основне завдання виконано	3 бали
неправильно оформлений протокол, поверхнєве опанування матеріалу, висновки часткові	2-1 бали
Студент не орієнтується в питаннях роботи, розрахунки не виконані, висновки не написані	0 балів

2. Модульна контрольна робота:

МКР проводиться після вивчення першого розділу. Кожен студент має індивідуальне завдання. Робота виконується протягом одного дня у розділі «Модульні контрольні роботи» в classroom. За виконання кожного завдання можна отримати зазначену кількість балів. Оцінка за МКР є сумою балів за кожне з виконаних завдань. Якщо завдання виконане не повно, або є помилки у розрахунках – студент отримує меншу кількість балів, відповідно до критеріїв:

- відповідь не повна, поверхнева – 50% балів;
- формула для розрахунків правильна, але є помилки при підрахунку конкретних значень – (50-75)% балів;
- не вказана розмірність отриманої величини – 75% балів;
- вказані лише загальні характеристики, тема не розкрита – 25% балів.

МКР зараховується, якщо студент набрав більше 50% балів.

3. Тести після лекцій:

Після кожної лекції в розділі «Тести після лекцій» студент в гугл-формі виконує тест. Запитання тесту складаються з тем, обговорених протягом лекції. Кожен тест складається з 10 запитань. Кожне запитання – 1 бал. Оцінка за тест – сума набраних балів за правильні відповіді на запитання.

До кінця семестру бажано виконати всі тести до лекцій не менше ніж на 5 балів кожен.

Застосування РСО з дисципліни

Сутність РСО з дисципліни доводиться до студентів на першій лекції. Рейтинг з дисципліни ведеться на сторінці «Журнал дисципліни» у розділі «Загальні питання» в classroom та в «Електронному кампусі». Студенти своєчасно інформуються про всі отримані рейтингові оцінки.

Календарний контроль:

- проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- позитивний результат – якщо набрано не менше 50% балів станом на дату контролю (для другого контролю обов'язково зарахування МКР, для обох контролів – зарахована визначена кількість лабораторних робіт). Вимоги для атестації на кожному календарному контролі викладач зазначає у відповідній колонці в «Журналі дисципліни» в класрумі.

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю:

- захищені всі лабораторні роботи та завантажені всі протоколи до класруму;
- зарахована МКР;
- сума балів за тести після лекцій перевищує 50% від максимально можливої кількості відповідних балів.

Студенти, які набрали протягом семестру недостатньо рейтингових балів з дисципліни, зобов'язані до початку заліку підвищити його. Якщо студент бажає підвищити свою оцінку, він може писати підсумковий заліковий тест, результати якого і будуть виставлені у відомість.

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

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);*

Теоретичні питання:

1. Структурні особливості етапів пластичної деформації.
2. Особливості пластичної деформації полікристалічних матеріалів.
3. Стадії деформаційного зміцнення.
4. Формування та особливості коміркової структури.
5. Еволюція структури при деформаційному зміцненні.
6. Закон Шміда-Боаса. Правило Кокса.
7. Закони деформаційного зміцнення.
8. Мікромеханізми зміцнення, що мають термоактиваційну природу.
9. Мікромеханізми зміцнення внаслідок силового подолання далекодіючих полів пружних напружень (окрім взаємодії з частками іншої фази).
10. Мікромеханізми зміцнення внаслідок створення концентрації напружень.
11. Матеріалознавчі основи зернограничного зміцнення.
12. Матеріалознавчі основи твердорозчинного зміцнення.
13. Матеріалознавчі основи дислокаційного зміцнення.
14. Типи та особливості циклічного навантаження матеріалів.
15. Особливості руйнування внаслідок малоциклової втоми.
16. Особливості руйнування внаслідок великоциклової втоми.
17. Особливості кривих Велера та петель гістерезису при втомному навантаженні. Втомне зміцнення та знеміцнення.
18. Вплив технологічних факторів на втомну міцність.
19. Вплив конструкційних факторів на втомну міцність.
20. Вплив експлуатаційних факторів на втомну міцність.
21. Шляхи підвищення довговічності.
22. Види зношування. Особливості процесу зношування.
23. Структурні перетворення при терті.
24. Фактори, що впливають на величину зносу.
25. Шляхи підвищення зносостійкості з позицій молекулярно-механічної теорії зношування.

Практичні питання:

1. Поле напружень навколо крайової дислокації.
2. Поле напружень навколо гвинтової дислокації.
3. Взаємодія двох крайових дислокацій з паралельними векторами Бюргерса.
4. Взаємодія двох крайових дислокацій з антипаралельними векторами Бюргерса.
5. Взаємодія двох крайових дислокацій з перпендикулярними векторами Бюргерса.
6. Взаємодія двох гвинтових дислокацій з перпендикулярними векторами Бюргерса.
7. Взаємодія двох гвинтових дислокацій з паралельними векторами Бюргерса.
8. Взаємодія крайової та гвинтової дислокацій з перпендикулярними векторами Бюргерса.
9. Рух дислокацій з порогами.
10. Процес формування в матеріалі розтягнутої дислокації. Дислокації Шотки.
11. Рух розтягнутої дислокації в кристалі. Ширина розтягнутої дислокації.
12. Поперечне ковзання розтягнутої дислокації.
13. Перетин двох розтягнутих дислокацій.
14. Виникнення та рух в кристалі дислокацій Франка та Ломер-Котрелла.
15. Атмосфери точкових дефектів в кристалі.

16. Моделі малокутових границь зерен.
17. Моделі великокутових границь зерен.
18. Перетин дислокацій з когерентними та напівкогерентними частинками іншої фази.
19. Перетин дислокацій з некогерентними частинками іншої фази.
20. Визначення щільності дислокацій в матеріалі.
21. Визначення розмірів структурних елементів (зерен, частинок тощо).
22. Визначення границі витривалості. Криві Велера (істинна та умовна границя витривалості).
23. Експериментальні методики визначення зносостійкості матеріалів (інтегральні).
24. Експериментальні методики визначення зносостійкості матеріалів (диференційні).

- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;*

Для зарахування сертифікатів онлайн курсів, студент повинен повідомити викладача до початку занять на курсах та надати перелік тем, що будуть розглядатися. Зарахування відбувається відповідно до «Положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній / інформальній освіті».

- *інша інформація для студентів/аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.*

немає

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри ФМТО, к.т.н., доц. Холявко Валерією Вікторівною.

Ухвалено кафедрою Фізичного матеріалознавства та термічної обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 32 від 21 червня 2024 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 12 від 28 червня 2024 р.)