



**ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА**  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-фізичний факультет  
Кафедра «Фізичне матеріалознавство»

## **СИЛАБУС**

**навчальної дисципліни (вибіркова)**

### **ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНА КОРОЗІЯ МАТЕРІАЛІВ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК**

Обсяг освітнього компоненту (3 кредити / 90 годин)

Освітня програма «Прикладне матеріалознавство»  
першого рівня вищої освіти  
Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

## **ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКЛАДАЧА**

***Ткач Дар'я Володимирівна, доцент, к.т.н.***

***Контактна інформація:***

- номер телефону 096 368 2086;*
- [dvt@zp.edu.ua](mailto:dvt@zp.edu.ua);*
- головний навчальний корпус, аудиторія 154*

## **ОПИС КУРСУ**

Дисципліна вивчає основні процеси корозійного руйнування та методи захисту матеріалів, що працюють при високих температурах в агресивних середовищах газотурбінних установок.

Курс охоплює термодинаміку та кінетику високотемпературного окислення, вплив зовнішніх факторів на процеси окислення, теорії жаростійкого легування та механізми високотемпературної корозії. Значна увага приділяється вивченню впливу легувальних елементів на стійкість сплавів та методам захисту матеріалів за допомогою захисних покриттів.

Практична частина курсу включає лабораторні роботи з макро- та мікроскопічного дослідження зразків з різними видами корозійних пошкоджень, оцінки жаростійкості дослідних сплавів, визначення характеристик жаростійкості параметричним методом та аналізу фазового складу продуктів корозії.

Отримані знання та навички необхідні для розуміння процесів деградації матеріалів при високих температурах та розробки методів підвищення їх



корозійної стійкості, що є важливим для сучасного газотурбінобудування та енергетичної галузі.

### **МЕТА, КОМПЕТЕНТНОСТІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ**

Мета курсу: формування у здобувачів вищої освіти системних знань про процеси високотемпературної корозії матеріалів газотурбінних установок та методи підвищення їх корозійної стійкості. Курс ґрунтується на знаннях з матеріалознавства, фізичної хімії та хімії металів, забезпечуючи комплексне розуміння процесів високотемпературного окислення матеріалів.

Компетентності та результати навчання:

Загальні компетентності:

Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

Здатність приймати обґрунтовані рішення

Фахові компетентності:

Здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем

Здатність використовувати практичні інженерні навички

Здатність застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій

Результати навчання:

Вміння використовувати знання фундаментальних наук для розуміння процесів високотемпературної корозії

Здатність проводити дослідження структури та властивостей матеріалів

Вміння використовувати сучасні методи визначення характеристик жаростійкості

Здатність розробляти рекомендації щодо підвищення корозійної стійкості матеріалів.

### **ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

Для успішного вивчення дисципліни здобувач вищої освіти повинен мати базові знання з загальної фізики, хімії, фізичної хімії та матеріалознавства. Зокрема, розуміти основи термодинаміки, кінетики фізико-хімічних процесів, окисно-відновних реакцій, електрохімічних процесів, структури та властивостей матеріалів.

Необхідними є знання методів дослідження матеріалів, включаючи металографічний та рентгеноструктурний аналіз, вміння працювати з оптичними мікроскопами та проводити механічні випробування.



Здобувач вищої освіти повинен вміти виконувати базові фізико-хімічні розрахунки, аналізувати діаграми стану, користуватися довідковою літературою та оформлювати результати експериментальних досліджень.

Ці базові знання та навички є фундаментом для розуміння процесів високотемпературної корозії та методів захисту матеріалів газотурбінних установок. Викладач не пояснюватиме ці базові питання в рамках даного курсу.

## ПЕРЕЛІК ТЕМ (ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН) ДИСЦИПЛІНИ

Таблиця 1 – Загальний тематичний план аудиторної роботи

Номер тижня	Теми лекцій, год.	Теми лабораторних робіт, год.
<b>Змістовий модуль 1</b>		
1	Термодинаміка та кінетика високотемпературного окислення (ВТО), (1 год.)	Макроскопічне та мікроскопічне дослідження зразків та деталей ГТУ з різними видами корозійних пошкоджень, (2 год.)
2	Вплив зовнішніх факторів на процес ВТО. Основні показники корозійної стійкості, (2 год.)	Оцінка жаростійкості (корозійної стійкості) дослідних сплавів, (3 год.)
3	Окислення сплавів та теорії жаростійкого легування, (2 год.)	
4	Основні особливості ВТК жароміцних сплавів, (2 год.)	Оцінка жаростійкості (корозійної стійкості) дослідних сплавів, (3 год.)
<b>Змістовий модуль 2</b>		
5	Вплив ВТК на жароміцність сплавів, (2 год.)	
6	Механізми ВТК, (2 год.)	Визначення характеристик жаростійкості сплавів параметричним методом, (3 год.)
7	Вплив складу сплавів на їх стійкість до ВТК. Методи визначення стійкості сплавів в умовах ВТК, (2 год.)	Визначення фазового складу продуктів високотемпературної корозії та окислення, (3 год.)
8	Захисні покриття, (1 год.)	

Таблиця 2 – Орієнтовні теми індивідуальних занять

Тема заняття	Зміст роботи
1. Аналіз механізмів руйнування лопаток турбін в умовах високотемпературної корозії	Аналіз зразків зруйнованих лопаток; визначення типів корозійних пошкоджень; вивчення мікроструктури в зонах руйнування; побудова схем механізмів руйнування
2. Дослідження впливу складу захисних покриттів на корозійну стійкість жароміцних сплавів	Дослідження мікроструктури покриттів різного складу; аналіз розподілу елементів у покритті; оцінка адгезії покриттів; визначення ефективності захисту



3. Вивчення особливостей формування оксидних плівок на поверхні нікелевих сплавів	Дослідження кінетики росту оксидних плівок; аналіз фазового складу оксидів; оцінка суцільності та адгезії плівок; визначення захисних властивостей
4. Методи оцінки жаростійкості матеріалів в умовах циклічного нагріву	Проведення циклічних випробувань; оцінка втрати маси зразків; аналіз структурних змін; побудова кривих жаростійкості
5. Аналіз впливу легуючих елементів на корозійну стійкість жароміцних сплавів	Дослідження сплавів різного складу; аналіз продуктів корозії; визначення оптимального вмісту елементів; побудова залежностей властивостей від складу
6. Дослідження структури та властивостей дифузійних покриттів	Металографічний аналіз покриттів; вимірювання мікротвердості; оцінка товщини та рівномірності; аналіз дифузійної зони
7. Вивчення механізмів сульфідної корозії жароміцних сплавів	Проведення випробувань в сульфідному середовищі; аналіз продуктів корозії; дослідження глибини проникнення сірки; визначення швидкості корозії
8. Аналіз впливу технологічних параметрів нанесення захисних покриттів	Дослідження режимів нанесення; оцінка якості покриттів; визначення оптимальних параметрів; аналіз дефектів покриттів
9. Дослідження кінетики окислення нових композиційних покриттів	Випробування на жаростійкість; аналіз структури покриттів; оцінка захисних властивостей; визначення механізмів окислення
10. Методи підвищення довговічності деталей газових турбін	Аналіз існуючих методів захисту; дослідження комбінованих покриттів; оцінка ефективності методів; розробка рекомендацій

Таблиця 3 – Орієнтовні теми контрольних робіт

№	Тема контрольної роботи	Зміст роботи
1	Термодинаміка та кінетика процесів високотемпературного окислення матеріалів	Теоретичні основи окислення; розрахунок термодинамічних параметрів; аналіз кінетичних кривих окислення
2	Вплив зовнішніх факторів на процеси високотемпературної корозії	Аналіз впливу температури, тиску та складу середовища; розрахунок швидкості корозії; практичні випадки впливу експлуатаційних факторів
3	Механізми високотемпературної корозії жароміцних сплавів	Основні механізми корозії; розрахунок параметрів корозійного процесу; аналіз конкретних випадків руйнування
4	Методи оцінки корозійної стійкості матеріалів при високих температурах	Методики випробувань; розрахунок показників корозійної стійкості; аналіз результатів випробувань
5	Роль легуючих елементів у забезпеченні корозійної стійкості	Вплив легуючих елементів; розрахунок оптимального складу; аналіз промислових сплавів
6	Захисні покриття для деталей газотурбінних установок	Види покриттів; розрахунок параметрів покриттів; аналіз ефективності захисту



7	Сульфідна корозія жароміцних сплавів	Механізми сульфідної корозії; розрахунок швидкості руйнування; аналіз випадків сульфідної корозії
8	Взаємозв'язок структури та корозійної стійкості	Структурні фактори корозії; розрахунок структурних параметрів; аналіз впливу структури на стійкість
9	Методи підвищення жаростійкості матеріалів	Способи захисту; розрахунок ефективності методів; аналіз практичних рішень
10	Сучасні методи захисту деталей гарячого тракту ГТУ	Нові методи захисту; розрахунок параметрів захисту; аналіз промислового впровадження

### САМОСТІЙНА РОБОТА

Тема	Завдання для самостійної роботи	Тижні навчання	Кількість годин
1. Термодинаміка та кінетика високотемпературного окислення	Опрацювання теоретичного матеріалу, аналіз механізмів окислення, розв'язання задач	1-2	9
2. Вплив зовнішніх факторів на процес ВТО	Аналіз впливу умов експлуатації на корозійну стійкість, підготовка до лабораторної роботи	3-4	5
3. Окислення сплавів та теорії жаростійкого легування	Вивчення основних теорій легування, опрацювання наукових статей	5-6	8
4. Основні особливості ВТК жароміцних сплавів	Аналіз морфології корозійних пошкоджень, підготовка до лабораторної роботи	7-8	9
5. Вплив ВТК на жароміцність сплавів	Вивчення впливу корозії на механічні властивості, аналіз літературних даних	9-10	8
6. Механізми ВТК	Опрацювання механізмів корозійного руйнування, підготовка до лабораторної роботи	11-12	5
7. Вплив складу сплавів на їх стійкість до ВТК	Аналіз впливу легуючих елементів, підготовка до лабораторної роботи	13-14	9
8. Захисні покриття	Вивчення сучасних методів захисту, аналіз ефективності покриттів	15	9
<b>Разом</b>			<b>62</b>



## РЕКОМЕНДОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТА НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ ДЖЕРЕЛА

Навчально-методичні матеріали:

1. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Високотемпературна корозія матеріалів газотурбінних установок" / Укл.: С.Б. Беліков, Л.П. Степанова, Д.В. Ткач.
2. Конспект лекцій з дисципліни "Високотемпературна корозія матеріалів газотурбінних установок" / Укл.: С.В. Гайдук.

Література:

1. Гайдук, С.В. Наукові основи проектування ливарних жароміцних нікелевих сплавів з необхідним комплексом службових властивостей. Монографія / С.В. Гайдук, С.Б. Беліков. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – 80 с.
2. Гайдук, С.В. Розвиток і застосування наукових принципів легування для розробки жароміцних нікелевих сплавів з гарантованими властивостями : дисертація на здобуття наук. ступеня д-ра. техн. наук : 05.02.01 / Гайдук Сергій Валентинович. - Запоріжжя, 2018. - 404 с.
3. Беліков С.Б. Розвиток наукових принципів легування ливарних жароміцних никельових сплавів з метою підвищення корозійної стійкості деталей: автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.02.01. - Запоріжжя, 1996. - 48 с.
4. Коваль А.Д. Научные основы легирования жаропрочных никелевых сплавов, стойких против высокотемпературной коррозии (ВТК). - К.: УМК ВО, 1990. - 56 с.

## ОЦІНЮВАННЯ

Оцінювання знань здобувачів вищої освіти здійснюється за 100-бальною шкалою. Підсумкова оцінка складається з поточного контролю, який проводиться протягом семестру.

За виконання та захист лабораторних робіт можна отримати до 30 балів (4 роботи по 7-8 балів). При оцінюванні враховується підготовка до роботи, якість виконання експериментальної частини, правильність розрахунків, оформлення звіту та захист роботи.

Тестовий контроль за змістовими модулями дає можливість отримати до 40 балів (два тести по 20 балів). Перший тест охоплює теми 1-4, другий - теми 5-8.

За виконання індивідуального завдання можна отримати до 15 балів. Оцінюється повнота виконання завдання, якість оформлення та захист роботи.

Контрольна робота оцінюється максимум у 15 балів. Враховується повнота розкриття теоретичних питань та правильність розв'язання практичного завдання.

Для отримання заліку необхідно: виконати та захистити всі лабораторні роботи; написати тести за змістовими модулями; виконати індивідуальне завдання та контрольну роботу; набрати не менше 60 балів за всі види робіт

При сумі балів 60 і вище ставиться оцінка "зараховано", менше 60 балів - "незараховано". У випадку отримання менше 60 балів здобувач має можливість перескласти залік відповідно до встановленого порядку.



## **ПОЛІТИКИ КУРСУ**

При вивченні дисципліни здобувачі вищої освіти мають відвідувати практичні заняття та активно в них брати участь. У разі пропуску занять студент зобов'язаний самостійно опрацювати матеріал та може відпрацювати пропущене заняття через індивідуальні консультації з викладачем.

Для ефективного опанування курсу необхідно дотримуватися встановленого графіку виконання лабораторних робіт та індивідуальних завдань. При виникненні складнощів з дотриманням термінів, потрібно завчасно узгодити з викладачем можливість їх перенесення. Всі роботи мають бути подані не пізніше встановленого терміну наприкінці семестру. У випадку поважних причин можливе індивідуальне узгодження термінів виконання завдань.

У курсі суворо дотримується політика академічної доброчесності. Здобувачі зобов'язані самостійно виконувати всі види навчальних завдань, завдання поточного та підсумкового контролю. При виконанні індивідуальних завдань та контрольних робіт допускається обговорення ідей та консультації, але розрахунки та аналіз кожен студент має виконувати самостійно. Списування під час тестів заборонено. Також необхідно дотримуватися норм законодавства про авторське право та давати достовірну інформацію про результати власної навчальної діяльності.

Комунікація з викладачем здійснюється через електронну пошту, Telegram та під час консультацій у робочий час. Здобувачі можуть створювати групи для спільного навчання та обміну досвідом, дотримуючись принципів академічної доброчесності. Важливою умовою ефективної роботи є толерантне та доброзичливе ставлення до однокурсників та викладачів.

Детальніше з політикою академічної доброчесності можна ознайомитися в Кодексі академічної доброчесності НУ "Запорізька політехніка" ([https://zp.edu.ua/uploads/dept\\_nm/Nakaz\\_N253\\_vid\\_29.06.21.pdf](https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Nakaz_N253_vid_29.06.21.pdf)).

## **ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДЛЯ РОБОТИ НА КУРСІ**

Для роботи на курсі необхідно мати особистий доступ до університетської навчальної платформи Moodle, де розміщені всі матеріали курсу, завдання та методичні рекомендації. На платформі також публікуються оголошення та відбувається здача виконаних робіт. Допускається надавати роботи електронною поштою та через Telegram.

Для онлайн-консультацій та комунікації з викладачем використовується Telegram. Рекомендується мати комп'ютер або ноутбук з операційною системою Windows 10/11 або macOS та стабільне інтернет-з'єднання. Для оформлення звітів знадобляться програми для роботи з документами - Microsoft Office або безкоштовні аналоги.

На платформі Moodle ви знайдете детальні інструкції щодо встановлення та налаштування всього необхідного програмного забезпечення. Якщо виникнуть технічні проблеми, завжди можна звернутися за консультацією до викладача.