

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Г.В. КАРПЕНКА

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ФМІ НАН України

З.Т. Назарчук
«19 вересня» 2024 р.


РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(Силабус)

Корозійно-електрохімічні аспекти структурної механіки руйнування та експлуатаційна деградація матеріалів
/код і назва навчальної дисципліни/
рівень вищої освіти: третій (доктор філософії)
галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія
/шифр і назва/
спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
/шифр і назва /
Спеціалізація Хімічний опір матеріалів та захист від корозії
/шифр і назва /
вид дисципліни за вибором
(обов'язкова / за вибором)
мова викладання українська

Львів – 2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)
«Корозійно-електрохімічні аспекти структурної механіки руйнування та експлуатаційна деградація матеріалів»

1. Реквізити навчальної дисципліни

| | |
|--|---|
| Галузь знань | 16 Хімічна та біоінженерія |
| Спеціальність | 161 Хімічні технології та інженерія |
| Освітня програма | Хімічні технології та інженерія |
| Рівень вищої освіти | Третій (доктор філософії) |
| Статус дисципліни | Обов'язкова навчальна дисципліна |
| Форма навчання | Змішана |
| Рік підготовки, семестр | 2 курс, весняний семестр |
| Обсяг дисципліни | 3 кредити (90 годин) |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи | Екзамен |
| Мова викладання | Українська |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор: проф., д.т.н., Никифорчин Григорій Миколайович, hnykyforchyn@gmail.com Практичні: проф., д.т.н., Никифорчин Григорій Миколайович, hnykyforchyn@gmail.com |
| Розміщення курсу | www.ipm.lviv.ua; вільний доступ |

2. Структура навчальної дисципліни

| Найменування показників | Всього годин |
|--|---------------------|
| Кількість кредитів/год. | 3/90 |
| Усього годин аудиторної роботи, у т.ч.: | 50 |
| • лекційні заняття, год. | 32 |
| • семінарські заняття, год. | - |
| • практичні заняття, год. | 18 |
| • лабораторні заняття, год. | - |
| Усього годин самостійної роботи, у т.ч.: | 40 |
| • контрольні роботи, к-сть/год. | - |
| • розрахункові (розрахунково-графічні) роботи, к-сть/год. | |
| • індивідуальне науково-дослідне завдання, к-сть/год. | |
| • підготовка до навчальних занять та контрольних заходів, год. | 40 |
| Екзамен | 1 |
| Залік | - |

3. Мета, завдання та результати навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Корозійно-електрохімічні аспекти структурної механіки руйнування та експлуатаційна деградація матеріалів» розроблена для аспірантів зі спеціальності «Хімічні технології та інженерія» і спрямована на набуття ними необхідних знань з інженерної електрохімії, на яких ґрутуються сучасні методи дослідження корозійних та електрохімічних властивостей та які складають основу вивчення закономірностей і механізмів корозійно-механічної деградації та руйнування металічних матеріалів на стадії росту тріщини, з метою використання їх у наукових дослідженнях в галузі корозії та протикорозійного захисту матеріалів. Аспіранти матимуть змогу освоїти різнопланові інженерні методи електрохімічних досліджень та свідомо їх використовувати для оцінювання корозійно-механічних властивостей металів та сплавів і розробляти адекватні методи прогнозування їх експлуатаційної деградації.

3.1. Мета дисципліни

Поглиблене вивчення теоретичних основ різнопланових методів корозійних, електрохімічних та корозійно-механічних на стадії росту тріщини досліджень для різного типу інженерних систем метал–корозивне середовище; розвинути практичні навички їх використання для встановлення загальних закономірностей та механізмів корозійно-механічного руйнування металічних матеріалів з урахуванням їх структурного чинника, а також для прогнозування їх експлуатаційної деградації; вміле застосування засвоєного для досліджень корозійно-механічних процесів при корозійному рості тріщини і виокремлення основних чинників впливу на інтенсивність їх реалізації та прийняття рішень з діагностики експлуатаційної деградації матеріалів.

3.2. Основні завдання вивчення навчальної дисципліни

- розкрити теоретичні засади електрохімічних методів дослідження корозійно-механічного руйнування металів і сплавів для їх усвідомленого використання при вирішенні практичних задач структурної механіки руйнування;
- розвинути навички використання корозійних, електрохімічних та мікроструктурних методів досліджень для встановлення природи корозійно-механічного руйнування;
- засвоїти електрохімічні підходи до встановлення стану тривало експлуатованого металу;
- розвинути навички практичного використання електрохімічних підходів для діагностування експлуатаційної деградації конструкційних матеріалів;
- засвоїти підходи до аналізу одержаних результатів досліджень і робити адекватні висновки стосовно їх інженерного використання;
- глибоко розуміти загальні принципи та інженерні методи структурної механіки корозійного руйнування, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у матеріалознавчій сфері корозійних процесів та у викладацькій практиці.

3.3. Результати навчальної дисципліни

Після засвоєння дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі **результати навчання**:

Інтегральна компетентність: Здатність розв'язувати комплексні проблеми хімічних технологій та інженерії в галузі професійної та дослідницько-іноваційної діяльності, що

передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та професійної практики.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу та оцінювання сучасних наукових досягнень завдяки зворотньому зв'язку з аспірантами в процесі навчання.

ЗК03. Здатність генерувати нові ідеї (креативність) продукуванням інноваційних конструктивних ідей та застосовуванням нестандартних підходів до вирішення складних і нетипових завдань.

ЗК04. Здатність дотримуватись морально-етичних правил поведінки, етики досліджень, характерних для учасників академічного середовища, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях, незважаючи на можливий тиск обставин.

ЗК06. Здатність набувати універсальні навички дослідника, зокрема усної та письмової презентації результатів власного наукового дослідження українською мовою, застосування сучасних інформаційних технологій у науковій діяльності, пошуку та критичного аналізу інформації через уміння брати участь у наукових бесідах, дискусіях на належному фаховому рівні, презентувати результати наукових досліджень в усній та письмовій формі, організовувати та проводити навчальні заняття.

ЗК07. Здатність до формування наукових проектів на конкурси, що проводять вітчизняні та іноземні інституції, складання пропозицій щодо фінансування наукових досліджень, реєстрації прав інтелектуальної власності шляхом залучення в таку діяльність для тренінгу.

ЗК08. Здатність опанування іноземної мови в обсязі достатньому для представлення та обговорення результатів своєї наукової роботи в усній та письмовій формі, а також для повного розуміння іншомовних наукових текстів з вибраних напрямків досліджень.

Фахові компетентності спеціальності:

ФК01. Здатність виконувати (індивідуально або в науковій групі) оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у хімічній технології та інженерії та дотичних до них міждисциплінарних напрямках хімічної та біоінженерії, зокрема, хімічного опору матеріалів з наголосом на структурну механіку корозійного руйнування сталей та сплавів через глибинне розуміння теоретичних засад електрохімічних методів дослідження з урахуванням механічного чинника.

ФК02. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми у сфері корозійно-електрохімічних аспектів структурної механіки руйнування та експлуатаційної деградації матеріалів, вибрати перспективні напрямки досліджень та забезпечувати їх якість.

ФК04. Здатність засвоїти підходи до аналізу одержаних результатів досліджень і робити адекватні висновки про роботоздатність сталей та сплавів за дії агресивних корозивно-наводнювальних середовищ з урахуванням експлуатаційної деградації металоконструкцій.

ФК06. Здатність в практичній роботі розвивати та вдосконалювати свої здібності в галузі письмової наукової комунікації для написання, публікування та презентації статей у фахових журналах та наукометричних виданнях. Здатність забезпечувати збереження та використання авторських прав.

Програмні результати навчання:

Знання

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з хімічних технологій та інженерії, зокрема в галузі корозії матеріалів, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН02. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження корозії матеріалів та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми

РН04. Знати науково обґрунтовані критерії працездатності матеріалів та виробів; фізико-хімічних явищ, які зумовлюють корозійну деградацію матеріалів; умов експлуатації, які

спричиняють зниження працездатності виробів, методи і засоби технічної діагностики стану матеріалів і виробів.

PH05. Знати закономірності керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення, фізико-хімічними процесами в матеріалах для створення матеріалів із заданими структурами та властивостями.

PH07. Мати системні знання та навички сучасної методології досліджень в області хімічної технології та інженерії, хімічного опору матеріалів та у суміжних галузях. Оцінювати стан сучасних технологій хімічного виробництва та тенденцій їх розвитку з точки зору корозійних аспектів.

Уміння

PH09. Планувати й ефективно проводити інформаційно-пошукову роботу в рамках власного дослідження із використанням універсальних і спеціалізованих ресурсів наукової інформації, застосовуючи наукометричні показники і відповідне програмне забезпечення. Здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел

PH10. Самостійно виконувати наукові дослідження та застосовувати дослідницькі навички для професійного росту.

PH11. Аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованих завдань, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення.

Комунікація

PH14. Вміти вільно спілкуватися в іншомовному середовищі на професійному та соціальному рівнях, володіти навичками усної і письмової презентації результатів досліджень українською та іноземною мовами.

PH15. Вміти доступно, на високому науковому рівні доносити сучасні наукові знання та результати досліджень до професійної та непрофесійної аудиторії.

Автономія і відповідальність

PH18. Здатність усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань.

PH19. Дотримуватись етичних норм, авторського права та норм академічної доброчесності під час наукових досліджень, презентації результатів, у своїй науково-педагогічній діяльності загалом.

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

Для успішного засвоєння дисципліни аспіранту необхідні знання та уміння, що були отримані під час вивчення дисциплін «Іноземна мова професійного спрямування», «Організація наукової діяльності», «Менеджмент і презентація наукових та освітніх проєктів».

Навчальна дисципліна є підготовчою для написання кваліфікаційної роботи аспіранта.

Перелік попередніх та супутніх і наступних навчальних дисциплін

| № з/п | Попередні навчальні дисципліни | Супутні і наступні навчальні дисципліни |
|--------------|--|---|
| 1. | Іноземна мова професійного спрямування | Основні принципи розроблення методів та засобів протикорозійного захисту металів. |
| 2. | | Методи моделювання процесів на межі розділу фаз на атомно-молекулярном рівні |
| 3. | | Фізико-хімічні аспекти корозійно-механічного руйнування металів та сплавів |

5. Анотація навчальної дисципліни

Дисципліна «Корозійно-електрохімічні аспекти структурної механіки руйнування та експлуатаційна деградація матеріалів» дає аспірантам глибоке розуміння корозійних та

електрохімічних аспектів до вивчення закономірностей та механізмів росту тріщин з використанням підходів механіки руйнування. Вона охоплює основні положення механіки руйнування матеріалів стосовно фізичних тріщин з урахуванням структурного чинника. Дисципліна розкриває можливості методів як лінійної, так і нелінійної механіки руйнування і цим охоплює широкий діапазон матеріалів за їх механічними властивостями, для яких коректно застосовувати ці методи. Вона дає можливість аспірантам освоїти релаксаційні методи з позицій механічної ситуації у вершині тріщини, пов'язані зі складною морфологією корозійних тріщин, а також реалізацією закриття втомних тріщин. Предмет показує їм можливість використання в рамках неруйнівного методу контролю електрохімічних вимірювань для досліджень експлуатаційної деградації конструкційних сталей за дії корозивно-наводнювальних робочих середовищ. При розляді теоретичного підґрунтя експлуатаційної деградації сталей зроблено акценти на особливу деструктивну роль водню як чинника зниження опору крихкому руйнуванню. Дисципліна також знайомить аспірантів з методом визначення швидкості корозії за поляризаційним опором як особливими електрохімічними показниками, які корелюють з експлуатаційними змінами стану металу.

6. Опис навчальної дисципліни

6.1. Лекційні заняття

| № з/п | Назви тем | Кількість годин |
|-------|--|-----------------|
| 1. | Вступ. Підходи лінійної механіки руйнування та їх використання для визначення опору росту корозійних тріщин. | 2 |
| 2. | Основні закономірності та механізми росту корозійних тріщин. Особливості прояву адсорбційного ефекту, локального анодного розчинення та водневого окрихчення. Декогезійний та посилення локальної пластичності як альтернативні механізми дії корозивно-наводнювальних середовищ | 4 |
| 3. | Роль структурного чинника у формуванні опору росту корозійних тріщин в сталях за тривалого статичного навантаження. | 2 |
| 4. | Роль структурного чинника у формуванні опору росту корозійних тріщин в сталях за циклічного навантаження | 2 |
| 5. | Особливості прояву корозійно-механічного чинника у формуванні напружено-деформованого стану у вершині тріщини: - галуження тріщини; - затуплення тріщини; - криволінійності траєкторії тріщини; - закриття втомної тріщини. | 4 |
| 6. | Діаграми конструкційної міцності конструкційних металів і сплавів за тривалого статичного навантаження і дії корозивних середовищ. | 2 |
| 7. | Діаграми конструкційної міцності конструкційних металів і сплавів за циклічного навантаження і дії корозивних середовищ. | 2 |
| 8. | Основні закономірності деградації конструкційних матеріалів за тривалої експлуатації. | 2 |
| 9. | Роль корозивно-наводнювальних середовищ в деградації конструкційних матеріалів за тривалої експлуатації. | 2 |
| 10. | Механічні, корозійні та електрохімічні показники, чутливі до експлуатаційної деградації конструкційних матеріалів. | 2 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| 11. | Інженерні методи використання електрохімічних підходів до оцінювання експлуатаційної деградації конструкційних матеріалів. | 3 |
| 12. | Особливості використання методу J -інтеграла для оцінювання опору росту корозійних тріщин в пластичних матеріалах. Методи з використанням одного зразка і серії зразків. Побудова J - R кривих. | 3 |
| 13. | Особливості використання методу J -інтеграла для оцінювання опору росту тріщин в пластичних матеріалах за дії наводнювання. | 2 |
| Усього годин | | 32 |

6.2. Практичні заняття

| № з/п | Назви тем | Кількість годин |
|---------------------|--|-----------------|
| 1. | Визначення основних показників лінійної механіки руйнування, чутливих до оцінювання агресивного впливу корозивних середовищ за статичного та циклічного навантажень. | 5 |
| 2. | Кількісний аналіз ефективних коефіцієнтів інтенсивності напружень, пов'язаних зі впливом на напружено-деформований стан у вершині тріщини морфології та закриття тріщин. | 4 |
| 3. | Визначення чутливості показників опору росту тріщин до прояву водневої крихкості за даними оцінок методом J -інтеграла. | 4 |
| 4. | Аналіз результатів досліджень експлуатаційної деградації конструкційних сталей на основі використання структурно-механічних, корозійних та електрохімічних методів. | 5 |
| Усього годин | | 18 |

6.3. Самостійна робота

| № з/п | Найменування робіт | Кількість годин |
|---------------------|---|-----------------|
| 1. | Підготовка до практичних занять | 20 |
| 2. | Підготовка до здачі семестрового заліку | 20 |
| Усього годин | | 40 |

7. Методи діагностики знань

1. Опитування та допуск до виконання практичних робіт.
2. Захист практичних робіт, в тому числі виконаних за індивідуальними завданнями.
3. Екзаменаційний контроль з письмовою та усною компонентами.

8. Критерії оцінювання результатів навчання студентів

| Максимальна оцінка в балах | | | | |
|---|-------------|-------------------------|---------------|---------------------|
| Поточний контроль (ПК) | | Екзаменаційний контроль | | Разом за дисципліну |
| Форма поточного контролю та максимальні бали за виконані завдання | Разом за ПК | письмова складова | усна складова | |
| | | | | |

| | | | | |
|---|----|----|----|-----|
| Підготовка, виконання та захист звітів з лабораторних і практичних робіт: – 1-2 бали за групову роботу; – 2-3 бали за роботу, виконану за індивідуальним завданням. | 40 | 50 | 10 | 100 |
|---|----|----|----|-----|

Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за навчальну діяльність | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою |
|------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 90-100 | +A, A, -A | |
| 82-89 | +B, B, -B | |
| 74-81 | +C, C, -C | |
| 64-73 | +D, D, -D | |
| 60-63 | E | |
| 35-59 | FX | |
| 0-34 | F | |

9. Навчально-методичне забезпечення

1. Вказівки до виконання практичних робіт.
2. Завдання до проведення практичних робіт.

10. Рекомендована література

Базова

1. Похмурський В.І., Хома М.С. Корозійна втома металів та сплавів. Монографія. — Львів: СПОЛОМ, 2008. — 304 с.
2. Андрейків О.С., Гембара О.В. Механіка руйнування та довговічність металічних матеріалів у водневмісних середовищах. — К.: Наук. думка, 2008. — 344с.
3. Дмитрах І.М., Тот Л., Білий О.Л., Сиротюк А.М. (2012) Працездатність матеріалів і елементів конструкцій з гострокінцевими концентраторами напружень. / Механіка руйнування та міцність матеріалів: Довідн. пос. / За заг. ред. В.В. Панасюка. —Т. 13. — Львів: Сполом, 2012. — 316 с.
4. Корозійно-воднева деградація нафтових і газових трубопроводів та її запобігання [Текст]: наук.-техн. посіб. у 3-х томах / Є. І. Крижанівський, Г. М. Никифорчин; під заг. ред. В. В. Панасюка. — Івано-Франківськ – Львів: вид-во Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, 2012. — Т. 1: Основи оцінювання деградації трубопроводів. — 2011. — С. 457.
5. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: довідн. пос. / Під заг. ред. З. Т. Назарчука. Т. 1: Є. І. Крижанівський, О. П. Остап, Г. М.Никифорчин, О. З.Студент, П. В. Ясній. Експлуатаційна деградація конструкційних матеріалів. — Львів: Простір-М, 2016. — 360 с.
6. Назарчук З. Т., Никифорчин Г. М. Структурна та корозійна механіка руйнування як складові фізико-хімічної механіки матеріалів // Фіз.-хім механіка матеріалів. — 2018. — № 1. — С. 17–30.

«ПОГОДЖЕНО»

Завідувач випускової кафедри
член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор

 Мирослав ХОМА