



ТЕОРІЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>G Інженерія, виробництво та будівництво</i>
Спеціальність	<i>G10 Металургія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютеризовані процеси лиття</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6 кредитів ECTS (180 годин), лекції – 60 год., практичні – 16 год., лабораторні – 14 год., СРС – 90 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: Іванченко Дмитро Вікторович, 050-99-88-615, cortdm77@gmail.com Лабораторні: Іванченко Дмитро Вікторович, 050-99-88-615, cortdm77@gmail.com Практичні: Іванченко Дмитро Вікторович, 050-99-88-615, cortdm77@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/u/0/c/NTkyNDMyNDUzODY1</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Процеси виробництва чавуну, сталі або інших металів і сплавів супроводжуються фізичними перетвореннями речовин (переходи із однієї кристалічної модифікації в іншу, плавлення, випаровування, розчинення, кристалізація) та хімічними реакціями. Необхідно проводити ці процеси так, щоб якомога повніше добувати з руд та сплавів цінні метали (залізо, марганець, хром, ванадій та інші), повніше переводити в шлак домішки, які погіршують якість металу(сірку, фосфор, неметалічні включення).

Якість вихідних руд та інших матеріалів поступово знижується, а вимоги до якості металу зростають. Задовольнити вказаним вимогам і провести процес за оптимальних параметрів можна, тільки знаючи термодинамічні та кінетичні особливості поведінки кожного компоненту в різних умовах плавки та розливки. Ці особливості допомагає розкрити теорія металургійних процесів, яка на основі фізико-хімічних законів та методів дозволяє проаналізувати найважливіші реакції та фазові переходи, що відбуваються при одержанні та подальшому переробленні металів.

Навчальна дисципліна «Теорія металургійних процесів» (ПО-08) є нормативною дисципліною і належить до циклу професійної підготовки. Вона у сукупності з теплофізикою та фізичним металознавством закликає сформулювати теоретичний базис металурга.

Її вивчення базується на знанні студентами основних законів хімії, фізичної хімії, фізики, застосуванні математичного апарату та обчислювальної техніки. Теоретичний матеріал курсу викладається на лекціях, практичні заняття присвячені розрахунку термодинамічних характеристик речовин і реакцій та аналізу термодинамічних процесів, в ході лабораторного практикуму студенти оволодівають методиками та технікою високотемпературного експерименту.

Для підвищення творчої активності та самостійності в роботі студентів при вивченні курсу передбачено виконання індивідуальних завдань з розрахунку термодинамічних та кінетичних характеристик простих та складних металургійних систем і процесів.

Набуті знання і вміння використовуються в подальшому при вивченні дисциплін професійної підготовки та вибіркових професійно-орієнтованих дисциплін.

Метою вивчення дисципліни є одержання знань щодо сучасних уявлень про фізико-хімічні і металургійні основи виробництва чорних і кольорових металів, щодо закономірностей та механізмів перебігу металургійних процесів, поведінки різних матеріалів під час виробництва металів і сплавів.

Предмет дисципліни: теоретичні закономірності та механізми процесів, що відбуваються під час отримання металів з руд та процесів плавки та рафінування металів.

Фахові компетентності (ФК)

- ЗК 11 – Здатність здійснювати безпечну діяльність, прагнути до збереження навколишнього середовища.
- ЗК 17 – Здатність працювати з інформацією: знаходити, оцінювати й використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для вирішення професійних завдань у галузі металургії.
- ФК 01 – Здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії.
- ФК 02 – Здатність вирішувати типові інженерні завдання відповідно до спеціалізації.
- ФК 04 – Здатність застосовувати і інтегрувати знання на основі розуміння інших інженерних спеціальностей.
- ФК 05 – Здатність застосовувати наукові і інженерні методи, а також комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення типових та комплексних завдань металургії за спеціалізацією, у тому числі в умовах невизначеності.
- ФК 07 – Здатність виявляти, класифікувати і описувати ефективність систем, компонентів і процесів в металургії на основі використання аналітичних методів і методів моделювання.
- ФК 08 – Усвідомлення контекстів, в яких можуть бути застосовані знання металургії (наприклад, управління процесами та обладнанням, менеджмент, розробка технології тощо).
- ФК 13 – Здатність управляти комплексними діями або проектами відповідно до спеціалізації для забезпечення досягнення поставленої мети з урахуванням всіх аспектів вирішуваної проблеми, у тому числі пов'язаних із виробництвом, експлуатацією, технічним обслуговуванням та утилізацією.
- ФК 14 – Здатність забезпечувати якість продукції.
- ФК 16 – Усвідомлення вимог до діяльності в сфері спеціалізації, зумовлених необхідністю забезпечення сталого розвитку.
- ФК 23 – Здатність обирати основні і допоміжні матеріали та/або здійснювати керування технологічними процесами з метою отримання продукції заданої якості
- ФК 26 – Здатність розробляти технологічні процеси виплавляння сплавів їх легування, модифікування та позапічного оброблення.

Програмні результати навчання

- ПРН 10 – Розуміння особливостей матеріалів, що застосовуються, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації.

- ПРН 22 – Навички прийняття рішень в нестандартних ситуаціях, зокрема, рішень, спрямованих на усунення або запобігання виникненню несприятливого (кризового, аварійного) стану металургійного обладнання.
- ПРН 23 – Розуміння питань впровадження ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють акумулювати ресурси, спрямовані на досягнення цілей в усіх напрямках діяльності металургійного підприємства
- ПРН 27 – Розуміння особливостей впливу хімічного складу металів і сплавів та технологічних процесів їх плавлення на експлуатаційні властивості ливарної продукції.
- ПРН 37 – Вміння розробляти і реалізовувати технологічні процеси виготовлення литих деталей.

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

Пререквізити: мати щонайменше базовий рівень знань з фізичної-хімії, хімії елементів та фізики, у межах відповідних навчальних курсів, що передують даному; вміти використовувати математичні принципи і методи для виконання термодинамічних розрахунків; здатність застосовувати знання про основні принципи та методи термодинамічного аналізу фізико-хімічних систем і властивості хімічних елементів та сполук.

Постреквізити: теоретичне підґрунтя для розуміння і аналізу металургійних технологій; уміння з'ясовувати закономірності явищ у металургійних системах; здатність виконувати термодинамічні розрахунки для вирішення технологічних завдань; здатність застосовувати теоретичні знання для аналізувати поведінки металургійних систем; здатність теоретично обґрунтовувати технологічні рішення.

Після проходження дисципліни студенти зможуть використовувати знання з фундаментальних дисциплін та математичний апарат для опису та аналізу металургійних процесів для реалізації професійно-профільованих знань й практичних навичок при вирішенні завдань з управління металургійними технологіями, їх розробки та удосконалення; визначати основні параметри технологій на основі теоретичного аналізу металургійних процесів; теоретично обґрунтовувати вибір технологічних рішень.

3. Зміст навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Розділ 1 Статика і динаміка металургійних процесів

Тема 1.1 Вступ до курсу (2 години)

Тема 1.2 Можливості термодинамічного і кінетичного аналізів, розрахунки термодинамічних функцій і їх практичне використання (8 годин)

Розділ 2 Термічна міцність сполук

Тема 2.1 Загальні термодинамічні закономірності (2 години)

Тема 2.2 Утворення – дисоціація оксидів металів (8 годин)

Тема 2.3 Механізм і кінетика процесів (2 години)

Розділ 3 Склад і властивості високотемпературної газової фази

Тема 3.1 Процеси горіння в металургії (6 годин)

Тема 3.2 Кінетика процесів горіння (4 години)

Розділ 4 Термодинаміка і кінетика відновлювальних процесів

Тема 4.1 Основні відновники і відновні процеси (4 години)

Тема 4.2 Пряме і посереднє відновлення оксидів заліза (2 години)

Розділ 5 Металургійні розплави

Тема 5.1 Будова рідких металів (2 години)

Тема 5.2 Склад і природа шлаків (4 години)

Тема 5.3 Властивості металургійних розплавів (2 години)

Розділ 6 Основи теорії рафінування металів і сплавів

Тема 6.1 Теоретичні засади окиснювального рафінування (2 години)

Тема 6.2 Умови видалення шкідливих домішок з металу (2 години)

Тема 6.3 Розкиснення сталі та видалення неметалевих включень (4 години)

Розділ 7 Основи теорії рафінування металів і сплавів

Тема 7.1 Мета та методи позапічного рафінування металу. (2 години)

Тема 7.2 Продування сталі інертним газом (2 години)

Тема 7.3 Вакуумне оброблення сталі (2 години)

Практичні заняття

1. Окисно-відновні властивості газової фази та процеси горіння (2 години)
2. Окисно-відновні властивості складних газових сумішей (2 години)
3. Взаємодія вуглецю з газовою фазою, яка містить кисень (2 години)
4. Процеси дисоціації та утворення карбонатів і оксидів (2 години)
5. Відновлення оксидів металів (2 години)
6. Властивості складних металевих та оксидних розчинів (2 години)
7. Розрахунок активностей компонентів шлакового розплаву по молекулярній теорії будови розплавлених шлаків (2 години)
8. Розрахунок активностей компонентів шлаку як фази з колективізованими електронами (1 година)
9. Розрахунок активностей компонентів шлакового розплаву по теорії регулярних іонних розчинів (1 година)

Лабораторні заняття

1. Рівновага реакцій дисоціації карбонатів (2 години)
2. Термографічне дослідження реакції дисоціації карбонату (2 години)
3. Кінетика дисоціації карбонатів (2 години)
4. Поверхневий натяг водних розчинів (2 години)
5. Визначення вмісту водню у сталі методом вакуумного нагріву (2 години)
6. Рівновага реакції окислювання заліза діоксидом вуглецю (2 години)
7. Рівновага реакції газифікації вуглецю вуглекислим газом (2 години)

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Готвянський Ю.Я. Фізико - хімічні та металургійні основи виробництва металів. Навчальний посібник . - К.: ІЗМН, 1996. - 392 с.
2. Фізикохімія металургійних систем і процесів: Підручник/ В.Я.Шурхал, В.К.Ларін, Д.Ф.Чернега та ін. – К.: Вища школа, 2000. – 407с.: іл.
3. Теорія металургійних процесів: Підручник /В.Б.Охотський, О.Л.Костьолов, В.К.Сімонов та ін. - К.: ІЗМН, 1997. - 512 с.

Допоміжна література

4. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д. Ф. Чернега, В. С. Богусhevський, Ю. Я. Готвянський та ін.; За ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. - К.: Вища школа, 2006.-503с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Файл, що містить навчальні матеріали лекції передаються студентам після кожного заняття. Допоміжні матеріали до кожної теми розміщено на сайті навчального курсу у «Google classroom».

№ з/п	Назва теми лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС
1	<p>Розділ 1. Основні поняття і методи теорії металургійних процесів</p> <p><i>Лекція 1 – Предмет та задачі курсу. Історія розвитку та сучасне становище металургійних технологій в Україні та за її межами. Роль науки та вчених у підвищенні ефективності металургійного виробництва. Фізико-хімічна сутність процесів виплавки чавуну та сталі.</i></p> <p><i>Лекція 2 – Можливості термодинамічного та молекулярно-кінетичного аналізів. Грунтовні поняття. Розрахунок зміни ентальпії і ентропії для будь-якого процесу при заданих температурах.</i></p> <p><i>Лекція 3 – Концентрація речовини в розчині. Коефіцієнти активності і параметри взаємодії. Рівняння ізотерми Вант-Гоффа і його аналіз.</i></p> <p><i>Лекція 4 – Кінетичний аналіз гомогенних та гетерогенних процесів.</i></p> <p><i>Завдання на СРС</i></p> <p><i>Засвоїти: можливості термодинамічного аналізу; ґрунтовні поняття термодинаміки; термодинамічні функції та їх застосування для аналізу ймовірності процесів в багатокомпонентних системах; розрахунок зміни ентальпії, ентропії та енергії Гіббса при будь-якій заданій температурі.</i></p> <p><i>Проаналізувати: визначення ступеню завершеності хімічної взаємодії; константу рівноваги; форми виразу концентрації учасників взаємодії.</i></p> <p><i>Розглянути: активність речовини в розчині; коефіцієнти активності та параметри взаємодії; вплив нестандартності на термодинаміку процесу; рівняння ізотерми хімічної реакції.</i></p>
2	<p>Розділ 2. Теоретичні основи утворення і дисоціації складних хімічних сполук</p> <p><i>Лекція 5 – Пружність дисоціації хімічних сполук. Вплив температури, розчинності та подрібненості взаємодіючих речовин на їх процеси утворення- дисоціації.</i></p> <p><i>Лекція 6 – Стійкість оксидів. Принцип Байкова Поліморфізм заліза та характеристика його оксидів.</i></p> <p><i>Лекція 7 – Побудова та докладний аналіз діаграми стану системи залізо-кисень. Ізотермічне окиснення заліза. Високо- та низькотемпературні схеми окиснення.</i></p> <p><i>Лекція 8 – Термодинаміка утворення – дисоціації оксидів заліза. Залежність пружності дисоціації оксидів заліза від температури та вмісту кисню.</i></p> <p><i>Лекція 9 – Манган і кремній. Їх характеристика та значення для залізобуглецевих сплавів. Поліморфізм мангану та оксиду кремнію Термодинаміка утворення оксидів цих металів. Порівняльний аналіз спорідненості до кисню.</i></p>

	<p><i>Лекція 10 – Спорідненість металів до кисню; порівняльний аналіз узагальненої залежності зміни енергії Гіббса від температури. Вуглець – як універсальний відновлювач оксидів металів.</i></p> <p><i>Лекція 11 – Умови виникнення нових фаз. Гомо- та гетерофазні флуктуації в системі. Критичний розмір зародка нової фази. Кінетика кристалохімічного перетворення.</i></p> <p><i>Завдання на СРС</i></p> <p><i>Засвоїти: особливості термодинаміки утворення–дисоціації карбонатів, сульфідів, нітридів, карбідів та боридів; будову та фазовий склад системи залізо-кисень. Провести оцінку впливу температури та зміни концентрації кисню в системі на процеси розчинності кисню та окиснення заліза.</i></p> <p><i>Проаналізувати: особливості високотемпературного окиснення металів.</i></p> <p><i>Розглянути: принципи захистного легування сплавів.</i></p>
3	<p>Розділ 3. Склад і властивості високотемпературної газової фази металургійних агрегатів</p> <p><i>Лекція 12 – Процеси горіння в металургії. Горіння вуглецю. Склад продуктів горіння в залежності від умов спалювання вуглецю. Термодинамічний аналіз системи С-О.</i></p> <p><i>Лекція 13 – Рівноважний стан реакцій догорання оксиду вуглецю. Розрахунок ступеня дисоціації вуглекислого газу. Газифікація вуглецю вуглекислим газом. Керування складом продуктів горіння.</i></p> <p><i>Лекція 14 – Горіння в системі Н-С-О. Термодинаміка процесу. Рівновага реакції горіння водню та порівняння ступеня дисоціації пари водню і вуглекислого газу в різних температурних умовах. Рівновага реакції водяного газу.</i></p> <p><i>Лекція 15 – Реакції газифікації вуглецю водяною парою. Вплив температури та тиску на рівноважний стан процесу. Горіння і конверсія металу. Одержання газової фази з високими відновлювальними властивостями, технологічна схема процесу.</i></p> <p><i>Лекція 16 – Теорія ланцюгових взаємодій. Вплив температури і тиску на займання горючої газової суміші.</i></p> <p><i>Завдання на СРС</i></p> <p><i>Розглянути: вуглець та його модифікації; механізм утворення та кінетику взаємодій вуглецю з окиснювальною газовою фазою; утворення та руйнування поверхневих комплексів.</i></p>
Контрольна (модульна) робота за розділами 1-3	
4	<p>Розділ 4. Термодинаміка і кінетика відновних процесів</p> <p><i>Лекція 17 – Основні відновники та відновні процеси, що використовуються в металургії: загальна теорія та основні типи відновних реакцій, термодинамічні умови процесу. Пряме і посереднє відновлення оксидів заліза.</i></p> <p><i>Лекція 18 – Навуглецьовування заліза при його відновлюванні оксидом вуглецю та вуглицем. Відновлення оксидів заліза воднем. Переваги та недоліки монооксиду вуглецю та водню як відновлювачів.</i></p> <p><i>Завдання на СРС</i></p> <p><i>Ознайомитись та засвоїти принципи: металотермічного відновлення і самопоширюючийся високотемпературний синтез; підвищення теплопродуктивності шихти; отримання феросплавів.</i></p> <p><i>Проаналізувати: процеси, що відбуваються при вакуумметалотермії.</i></p> <p><i>Розібрати: особливості механізму і кінетики відновлювальних процесів</i></p>
5	<p>Розділ 5. Металургійні розплави</p> <p><i>Лекція 19 – Розвиток теорії рідкого стану речовини. Будова і властивості рідких металів. Функції радіального розподілу атомів.</i></p>

	<p><i>Лекція 20 – Характеристика мінералогічного складу шлаків чорної металургії, силікатна природа шлаків. Моделі завершеного іонного розчину та мікронеоднородного електроліту.</i></p> <p><i>Лекція 21 – Аналіз діаграм стану оксидних систем: $\text{SiO}_2\text{-FeO}$; $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$; $\text{SiO}_2\text{-CaO}$. Принцип побудови потрібної діаграми стану. Загальна характеристика діаграми стану $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Шляхи кристалізації розплавів у трикомпонентній системі.</i></p> <p><i>Лекція 22 – Поверхневі властивості розплавів: поверхневий та міжфазний натяг; змочування та розтікання; проникнення рідких фаз в поруваті матеріали; робота адгезії і когезії.</i></p> <p><i>Лекція 23 – Методи визначення поверхневих властивостей розплавів. Фізико-хімічний аналіз шлакових систем. Хімічні властивості шлаків.</i></p> <p><i>Завдання на СРС</i></p> <p><i>Розглянути і засвоїти: фізичні властивості металургійних розплавів: в'язкість, її залежність від складу та температури системи, методи виміру; поверхневий натяг.</i></p>
6	<p>Розділ 6. Основи теорії рафінування металів і сплавів</p> <p><i>Лекція 24 – Розподіл кисню між розплавами шлаку і металу. Зневуглецювання металу в ванні сталеплавильного агрегату: термодинаміка процесу; місце проходження процесу; механізм процесу в умовах мартенівської та конвертерної плавки сталі. Загальні термодинамічні закономірності окиснення домішок сталеплавильної ванни.</i></p> <p><i>Лекція 25 – Термодинаміка та кінетика видалення сірки і фосфору із металу. Роль складу металу, шлаку і температури. Позапічні методи видалення шкідливих домішок.</i></p> <p><i>Лекція 26 – Взаємодія газів з металом та шлаком. Шкідлива дія газів на фізико-механічні властивості металів. Розчинність водню та азоту в залізі. Термодинаміка та технологічні засоби дегазації металу.</i></p> <p><i>Лекція 27 – Теорія процесів розкиснення сплавів. Неметалеві включення, їх класифікація та механізм видалення із металу. Методи рафінування металу від неметалевих включень.</i></p> <p><i>Завдання на СРС</i></p> <p><i>Ознайомитись: з процесами рафінування металів ліквідацією, тужавінням, екстракцією, випаровуванням та конденсацією.</i></p> <p><i>Розглянути: основні принципи рафінування металів у ході переплавних процесів.</i></p>
7	<p>Розділ 7. Позапічне рафінування металів і сплавів</p> <p><i>Лекція 28 – Мета та методи позапічного рафінування металу. Основні завдання оброблення та методи їх розв'язання. Підготовлення металу до позапічного оброблення.</i></p> <p><i>Лекція 29 – Продування сталі інертним газом. Технологія продування та обладнання. Гідродинаміка ванни. Вплив продування на якість сталі. Захист поверхні металу під час продування. Аргонно-кисневе рафінування.</i></p> <p><i>Лекція 30 – Вакуумне оброблення сталі. Термодинаміка дегазації сталі. Термодинаміка зневуглецювання і розкислювання у вакуумі. Видалення неметалевих включень. Вакуумування у ковші.</i></p>
<p>Контрольна (модульна) робота за розділами 4-7</p>	

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента у загальному обсязі 90 годин полягає у підготовці до лекційних, практичних та лабораторних занять шляхом опрацювання рекомендованої літератури і підготовці відповідей на контрольні запитання для кожного виду занять. 30 годин із загального обсягу надається для підготовки до складання екзамену.

Вид самостійної роботи студента	Кількість годин	Норма часу на підготовку, год.	Термін часу, год.
Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань	60	0,5	30
Підготовка до практичних робіт	16	0,5	8
Підготовка до лабораторних робіт	14	1,3	18
Підготовка до МКР	2	2	4
Підготовка до екзамену	30	-	30
Всього			90

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вивчення навчальної дисципліни відбувається згідно графіку навчального процесу. Відвідування всіх видів занять рекомендовано для успішного засвоєння навчальних матеріалів.

У разі спізнення на заняття, студенту необхідно, не заважаючи іншим, зайти в клас та зайняти своє місце. Користуватись мобільним телефоном під час занять можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефону повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там.

При очній формі навчання лабораторні роботи проводяться в комп'ютерному класі також згідно розкладу занять, в якому необхідно дотримуватись правил техніки безпеки. Допускається використання власних ноутбуків. Результати лабораторних робіт студенту необхідно оформити у вигляді протоколу та захистити його. У разі пропуску занять з лабораторних робіт необхідно попередити викладача і домовитись про їх відпрацювання. Безпосередньо відпрацювання та захист лабораторних робіт здійснюється виключно очно, у відповідності до розкладу занять. Студент, що не захистив попередню лабораторну роботу не допускається до відпрацювання наступної.

Під час проведення контрольних заходів забороняється користуватися мобільними телефонами, і допомогою інших. У випадку пропуску контрольних заходів, необхідно за домовленістю з викладачем пройти їх в інший час. Контрольні роботи та залік проводяться за окремими правилами які викладач повинен довести до слухачів на попередньому занятті і які залежать від форми проведення навчання.

У разі змішаного/дистанційного навчання, студент повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету і встановленим програмним забезпеченням ZOOM, GOOGLE MEET та будь-яким браузером.

Під час навчання студенту необхідно дотримуватись Правил внутрішнього розпорядку (<https://kpi.ua/admin-rule>) та політики академічної доброчесності, які визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/code>).

Пропущені контрольні заходи та/або завдання, які виконані студентом із незадовільною оцінкою, можуть додатково складатися для виконання та/або отримання задовільної оцінки (для підвищення оцінки) під час навчання до завершення термінів графіку освітнього процесу.

В разі порушення термінів і невиконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до складання екзамену в основну сесію.

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи	
	кредити	академічних годин	Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	СРС	Модульна контрольна робота	Семестрова атестація
4	6	180	60	16	14	90	1	екзамен

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист 7 лабораторних робіт;
- роботу на практичних заняттях, що передбачає виконання та захист 9 блоків розрахункових завдань під час практичних занять;
- контрольні роботи (1 МКР поділяється на дві одногодні контрольні роботи);
- відповідь на екзамені;
- 10 балів за сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- штрафні бали не нараховуються.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Лабораторні роботи

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $7 \cdot 2 = 14$ балів.

Критерії оцінювання:

- Протокол не підготовлений, студент не знає послідовності виконання лабораторної роботи – 0 балів. Такий студент не допускається до виконання роботи;
- Після виконання лабораторної роботи студент опрацював результати, правильно заповнив таблиці, побудував і правильно оформив графіки, зробив відповідні розрахунки, виконав грамотно висновки та відповів на запитання – 2 бали;
- Після виконання лабораторної роботи студент опрацював результати, правильно заповнив протокол, але не зміг повною мірою викласти висновки і відповісти на запитання викладача – 1 бал.

Робота на практичних заняттях

Ваговий бал кожного розрахункового завдання – 2. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює $8 \cdot 2 = 16$ балів.

Критерії оцінювання:

- Студент не виконав завдання, або неправильно розв'язав усі задачі, виконав не свій варіант – 0 балів.
- Студент виконав завдання у повному обсязі, зробив необхідні розрахунки та відповів на запитання – 2 бали;

– Студент виконав завдання не в повному обсязі, зробив помилки у розрахунках, які вплинули на кінцевий результат, не зміг повною мірою викласти висновки і відповіді на запитання викладача – 1 бал.

Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота поділена на 2 частини.

Модульна контрольна робота. Частина 1.

Проводиться на лекційному занятті безпосередньо перед початком першої атестації весняного семестру.

Ваговий бал 10. Максимальна кількість балів за МКР. Ч.1 складає 10 балів. МКР. Ч.1 складається з 5 питань, що максимально оцінюються по 2 бал кожне. Перелік питань наведено у додатку А.

Модульна контрольна робота. Частина 2.

Проводиться на лекційному занятті безпосередньо перед початком другої атестації весняного семестру.

Ваговий бал 10. Максимальна кількість балів за МКР. Ч.2 складає 10 балів. МКР. Ч.2 складається з 5 питань, що максимально оцінюються по 2 бал кожне. Перелік питань наведено у додатку А.

Система оцінювання питань МКР. Ч.1 та МКР. Ч.2 наступна:

Критерії	Бали
правильна відповідь, можливо з несуттєвими зауваженнями, повнота відповіді більша 90%	2
є принципів зауваження, але можна вважати що суть питання розкрита, повнота відповіді не менша 60%	1
суть питання не розкрито та/або повнота відповіді менша 60%	0

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 14 + 16 + 10 + 10 = 50 \text{ балів}$$

Умовою допуску до екзамену є виконання всіх практичних робіт, виконання та захист усіх лабораторних робіт, здані 2 частини МКР та сумарний семестровий рейтинг від 30 балів.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить чотири теоретичних і одне практичне питання. Кожне питання оцінюється у 10 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно» - повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 балів;
- «добре» - достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 балів;
- «задовільно» - неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 6 балів;
- «незадовільно» - загалом неправильна відповідь, або її відсутність – 0...5 балів.

Сума стартових балів і балів за іспит переводиться до іспитової оцінки згідно з таблицею:

Рейтингова оцінка здобувача (бали) $R_D = R_C + R_E$	Універсальна шкала оцінок рівня здобутих компетентностей (результатів навчання)
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перерахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перерахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає «Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».

- Студенти можуть отримати 10 балів за сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професор, доктор технічних наук, доцент, Костецький Юрій Віталійович, кандидат технічних наук, асистент, Іванченко Дмитро Вікторович

Ухвалено кафедрою ливарного виробництва (протокол № 7 від 19.02.2026 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 02/26 від 20.02 2026 р.)

Перелік питань модульної контрольної роботи.

Проводиться у вигляді двох одногодинних контрольних робіт перед 1 та 2 атестаціями.

1. Що називають термодинамічною системою? Охарактеризуйте термодинамічну систему?
2. Опишіть зміну вільної енергії системи і наведіть її розрахунок у стандартних умовах.
3. Наведіть зв'язок між зміною ізобарно-ізотермічного потенціалу системи ΔG та константою рівноваги реакції K .
4. Яким є зв'язок між в'язкістю і термодинамічними властивостями у металевих розплавах?
5. Опишіть густину рідких шлаків.
6. Які термодинамічні функції Ви знаєте? Опишіть їх.
7. Які величини концентрацій реагуючих речовин Ви знаєте? Опишіть їх.
8. Опишіть методи визначення константи рівноваги.
9. Опишіть питомий електричний опір рідких металів і сплавів.
10. Опишіть міжфазовий натяг на межі поділу шлакового і металевого розплавів.
11. Наведіть визначення першому, другому та третьому законам термодинаміки.
12. Які розчини компонентів, що взаємодіють Ви знаєте. Дайте їм опис.
13. Опишіть метод визначення активності оксиду заліза (II) у шлаку.
14. Наведіть правила Нордгейма, Лінде та Матіссена, що описують зміни питомого електричного опору у рідких сплавах.
15. Опишіть змочуваність твердих оксидів розплавами металів.
16. Опишіть тепловий ефект хімічної реакції. Запишіть закон Гесса.
17. Опишіть рівняння закону дії мас.
18. Міра хімічної спорідненості компонентів на прикладі зміни ізобарно-ізотермічного потенціалу реакцій утворення оксидів.
19. Дайте визначення та опишіть поверхневий натяг на межі поділу рідкої та газоподібної фаз.
20. Опишіть розподіл фосфору між шлаковим та металевим розплавами.
21. Наведіть і опишіть закон Кірхгофа.
22. Опишіть залежність константи рівноваги від температури.
23. Опишіть будову та енергетичні характеристики речовин у різному стані.
24. Опишіть міжфазний натяг у системі метал-шлак.
25. Розподіл кремнію та марганцю між шлаковим та металевим розплавами.
26. Дайте визначення та опис поняттю ентропія.
27. Наведіть закони Генрі та Рауля.
28. Які модельні теорії будови рідких металів Ви знаєте? Опишіть їх.
29. Опишіть дифузію у рідких металах і сплавах.
30. Яким чином відбувається десульфурація металів.
31. Наведіть розрахунок ентальпії та її зміни у різних процесах.
32. Опишіть закони фізико-хімічної рівноваги для реальних систем.
33. Опишіть методи дослідження структури рідких сплавів.
34. Електропровідність у рідких металах і сплавах.
35. Дайте опис взаємодії у системі $Me_1 - Me_{11} - S$.
36. Наведіть розрахунок ентропії та її зміни у різних процесах.
37. Які методи визначення активності Ви знаєте? Опишіть їх.

38. Опишіть в'язкість сплавів на основі заліза у рідкому стані.
39. Опишіть в'язкість шлаків у порівнянні з в'язкістю металів у рідкому стані.
40. Дайте опис взаємодії у системі $Me - S - O$.
41. Опишіть процес окиснення вуглецю. Наведіть реакції взаємодії вуглецю з киснем.

Запишіть формулу констант рівноваги відповідних реакцій.

42. Дайте опис взаємодії у системі $Me_1 - Me_2 - S$.
43. Дайте опис взаємодії у системі $Me - S - O$.
44. Дайте опис взаємодії у системі $Me_1 - Me_2 - S - O$.
45. Опишіть кінетику окислення вуглецю.
46. Опишіть головні стадії та окремі процеси зневуглецювання сталі та їх відносну швидкість.

47. Яким є вміст кисню у сталі при квазістаціонарному процесі зневуглецювання.
48. Назвіть та опишіть фактори, які сприяють прискоренню вигорання вуглецю.
49. Нарисуйте типи зливків, наведіть їх макроструктурний склад та вкажіть методи розкислення сталі.

50. Опишіть основи осаджуючого розкислення.

51. Наведіть умови видалення зі сталі неметалевих включень.

52. Опишіть технологію та кінетику процесу дифузійного розкислення сталі при обробці її синтетичним шлаком у ковші.

53. Опишіть десульфурацію сталі рідким синтетичним шлаком.

54. Опишіть десульфурацію чавуну та сталі кальцієм та магнієм.

55. Якими є теоретичні засади окислювального рафінування металів та сплавів.

56. Опишіть розподіл кисню між шлаковим і металевим розплавами.

57. Наведіть та опишіть завдання позапічного оброблення та методи їх розв'язання.

58. Що входить до підготовки металу до позапічного оброблення?

59. Опишіть метод відсікання шлаку при випуску із конвертора.

60. Наведіть та опишіть схему відсікання шлаку при випуску сталі із мартенівської печі.

61. Яким чином здійснюється відсікання шлаку в електродугових печах.

62. Опишіть спосіб скачування шлаку із ковша після випуску плавки.

63. Опишіть спосіб продування сталі інертним газом для її рафінування від розчинених у ній газів.

64. Опишіть гідродинаміку ванни рідкого металу при її продуванні інертними газами.

65. Перерахуйте обладнання, яке використовується для продування рідкого металу інертними газами та наведіть схему процесу продування.

Перелік питань екзаменаційної контрольної роботи

1. Визначте яким повинно бути відношення CO_2/CO у газовій суміші, щоб при температурі $T=1400^\circ\text{C}$ рівноважний тиск кисню в ній дорівнював $P_{\text{O}_2} = 3 \cdot 10^{-5}$ та розрахуйте величину кисневого потенціалу газової суміші P_{O} за цих умов.

2. Визначте яким повинно бути відношення CO_2/CO у газовій суміші, щоб при температурі $T=1500^\circ\text{C}$ рівноважний тиск кисню в ній дорівнював $P_{\text{O}_2} = 2 \cdot 10^{-5}$ та розрахуйте величину кисневого потенціалу газової суміші P_{O} за цих умов.

3. Визначити рівноважний тиск кисню та кисневий потенціал газової суміші, яка складається з $C_A = 80\%$ відсотків газу CO_2 та $C_B=20\%$ відсотків газу CO при температурі $T=2000^\circ\text{C}$.

4. Визначити рівноважний тиск кисню та кисневий потенціал газової суміші, яка складається з $C_A = 70\%$ відсотків газу H_2O та $C_B=30\%$ відсотків газу H_2 при температурі $T=1900^\circ\text{C}$.

5. Визначити ступінь дисоціації газу CO_2 при температурі $T=2100^\circ\text{C}$. Розрахувати рівноважний парціальний тиск компонентів газової суміші, що утворилась за тиску 1 атм. та визначити її кисневий потенціал.

6. Визначити ступінь дисоціації газу H_2O при температурі $T=2300^\circ\text{C}$. Розрахувати рівноважний парціальний тиск компонентів газової суміші, що утворилась за тиску 1 атм. та визначити її кисневий потенціал.

7. Визначити напрямок протікання хімічної реакції між киснем і газом CO , якщо відомі вихідний склад газової фази ($C_{\text{CO}_2} = 70\%$ газу CO_2 , $C_{\text{CO}} = 20\%$ газу CO , $C_{\text{O}_2} = 10\%$ кисню), загальний тиск $P = 1$ атм. і температура $T=1900^\circ\text{C}$. Розрахувати значення константи рівноваги реакції, яка протікає, за визначених умов.

8. Визначити напрямок протікання хімічної реакції між киснем і газом H_2 , якщо відомі вихідний склад газової фази ($C_{\text{H}_2\text{O}} = 60\%$ газу H_2O , $C_{\text{H}_2} = 20\%$ газу H_2 , $C_{\text{O}_2} = 20\%$ кисню), загальний тиск $P = 1$ атм. і температура $T=2100^\circ\text{C}$. Розрахувати значення константи рівноваги реакції, яка протікає, за визначених умов.

9. У піч для термічної обробки, яка розігріта до температури $T=1250^\circ\text{C}$, подається газова суміш наступного складу: 35% CO , 8% CO_2 , 10% H_2 , 47% N_2 . Визначити рівноважний склад газової фази після її нагрівання до температури печі. Загальний тиск в печі дорівнює 105 Па.

10. У піч для термічної обробки, яка розігріта до температури $T=1280^\circ\text{C}$, подається газова суміш наступного складу: 30% CO , 10% CO_2 , 10% H_2 , 50% N_2 . Визначити рівноважний склад газової фази після її нагрівання до температури печі. Загальний тиск в печі дорівнює 105 Па.

11. У якому співвідношенні слід змішати CO_2 і H_2 , щоб при температурі $T=1373^\circ\text{C}$ у створеній газової суміші рівноважний парціальний тиск кисню дорівнював $0,8 \cdot 10^{-4}$ Па.

12. У якому співвідношенні слід змішати CO_2 і H_2 , щоб при температурі $T=1293^\circ\text{C}$ у створеній газової суміші рівноважний парціальний тиск кисню дорівнював $1,5 \cdot 10^{-5}$ Па.

13. Розрахувати рівноважний склад газової суміші, що утворюється в результаті газифікації вуглецю вуглекислим газом у визначених умовах (дивись таблицю) та побудувати графічну залежність ($\%\text{CO}$) – T .

P , атм.	T_1 , K	T_2 , K	T_3 , K	T_4 , K
0,2	710	760	810	860

14. Розрахувати рівноважний склад газової суміші, що утворюється в результаті газифікації вуглецю вуглекислим газом у визначених умовах (дивись таблицю) та побудувати графічну залежність ($\%\text{CO}$) – T .

P , атм.	T_1 , K	T_2 , K	T_3 , K	T_4 , K
0,4	730	780	830	880

15. Визначити температуру, за якої пружність дисоціації карбонату буде дорівнювати P . Визначити величину зміни стандартної енергії Гіббса реакції дисоціації за цієї температури (дивись таблицю).

Карбонат	P , атм.
BaCO ₃	1,5

16. Визначити температуру, за якої пружність дисоціації карбонату буде дорівнювати P . Визначити величину зміни стандартної енергії Гіббса реакції дисоціації за цієї температури (дивись таблицю).

Карбонат	P , атм.
MgCO ₃	1,2

17. Визначити значення константи рівноваги і рівноважний вміст CO у газовій фазі для реакції відновлення оксиду металу монооксидом вуглецю за температури T (дивись таблицю).

Оксид	T , К
NiO	1400

18. Визначити значення константи рівноваги і рівноважний вміст CO у газовій фазі для реакції відновлення оксиду металу монооксидом вуглецю за температури T (дивись таблицю).

Оксид	T , К
FeO	1300

19. Розрахувати активності і коефіцієнти активності компонентів шестикомпонентного шлакового розплаву (дивись таблицю) для визначеної температури.

Хімічний склад шлаку, %						Температура, К
FeO	MnO	CaO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	
68,10	2,47	16,00	6,04	6,52	0,85	1720

20. Розрахувати активності і коефіцієнти активності компонентів шестикомпонентного шлакового розплаву (дивись таблицю) для визначеної температури.

Хімічний склад шлаку, %						Температура, К
FeO	MnO	CaO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	
35,00	8,20	24,80	10,50	20,50	1,00	1695

21. Дайте визначення поняттю термодинамічна система. Які елементи хімічної термодинаміки Ви знаєте?

22. Надайте характеристику термодинамічним системам.

23. Опишіть термодинамічні функції.

24. Наведіть три основні закони термодинаміки.

25. Опишіть поняття теплоємності термодинамічної системи.

26. Що ви знаєте про тепловий ефект хімічної реакції?

27. Яким чином розраховується тепловий ефект хімічної реакції?

28. Яким чином розраховується зміна ентропії системи?

29. За допомогою яких формул розраховується зміна вільної енергії Гіббса?

30. Які види розчинів Ви знаєте? Опишіть їх.

31. Наведіть та опишіть рівняння закону дії мас.

32. Наведіть рівняння залежності константи хімічної реакції від температури.

33. Дайте визначення поняттю активність. Яким чином розраховується активність елемента або хімічної сполуки у розчині?

34. Запишіть закони Нернста, Генрі та Рауля для реальних систем.

35. Перерахуйте та опишіть методи визначення активності.

36. Наведіть приклад застосування рівнянь фізико-хімічної рівноваги до сталеплавильних систем.

37. Опишіть зв'язок між зміною ізобарно-ізотермічного потенціалу системи ΔG та константою рівноваги хімічної реакції.
38. Наведіть методи визначення константи рівноваги.
39. Яким чином визначають активність оксиду заліза (II) у шлаку?
40. Надайте характеристику рідкого металу та форми існування домішок у ньому.
41. У чому відмінність твердих та рідких тіл. Що означає «ближній порядок» та «дальній порядок»?
42. Які модельні теорії рідких металів Ви знаєте? Опишіть модель жорстких сфер.
43. Які модельні теорії рідких металів Ви знаєте? Опишіть модель Дж. Бернала.
44. Які модельні теорії рідких металів Ви знаєте? Опишіть модель вільного об'єму та діркову теорію будови рідини.
45. Які модельні теорії рідких металів Ви знаєте? Опишіть теорію сиботаксисів та кластерну модель будови рідини.
46. Які модельні теорії рідких металів Ви знаєте? Опишіть квазіхімічну модель будови рідини та теорію Фішера.
47. Які модельні теорії рідких металів Ви знаєте? Опишіть осередкову теорію та метод визначення будови рідини за допомогою корелятивних функцій.
48. Опишіть термодинамічний метод дослідження структури рідких сплавів.
49. Опишіть дослідження структури рідких сплавів за допомогою аналізу діаграм плавкості.
50. Опишіть дослідження структури рідких сплавів за допомогою вивчення різноманітних структурночутливих хімічних властивостей розплавів.
51. Яким є зв'язок між в'язкістю і термодинамічними властивостями у металевих розплавах.
52. Опишіть питомий електричний опір рідких металів і сплавів.
53. Опишіть міжфазний натяг на межі металевого та шлакового розплавів.
54. Якою є дифузія шлакових розплавах?
55. Наведіть формулу зв'язку електропровідності із в'язкістю у шлакових розплавах.
56. Опишіть в'язкість і густину шлакових розплавів.
57. Опишіть вплив компонентів оксидного розплаву на між фазовий натяг між залізом і розплавом.
58. Якою є змочуваність твердих оксидів розплавами металів.
59. Опишіть розподіл фосфору між шлаковим та металевим розплавами.
60. Опишіть розподіл кремнію між шлаковим та металевим розплавами.
61. Опишіть розподіл мангану між шлаковим та металевим розплавами.
62. Якими є закономірності процесів видалення сірки з металів?
63. Яким є розподіл сірки між шлаковим та металевим розплавами?
64. Наведіть та опишіть реакції окиснення вуглецю.
65. Якими є механізм та кінетика окиснення вуглецю?
66. Наведіть та опишіть головні стадії та окремі ланки процесу зневуглецювання сталі.
67. Яким є вміст кисню в металі при квазістаціонарному процесі зневуглецювання?
68. Наведіть фактори, що сприяють прискоренню вигоряння вуглецю.
69. Зобразіть графічно типи злиwkів та наведіть методи розкислення сталі.
70. Наведіть основи осаджуючого розкислення. Перерахуйте вимоги до розкислювачів.
71. Вкажіть умови видалення металу з неметалевих включень.
72. Якими є технологія та кінетика процесу дифузійного розкислення сталі при обробці її синтетичним шлаком у ковші.
73. Опишіть технологію десульфурації сталі рідким синтетичним шлаком.
74. Опишіть процес десульфурації чавуну та сталі кальцієм та магнієм.
75. Опишіть розподіл кисню між шлаковим і металевим розплавами.