



# ТЕРМОДИНАМІКА МАТЕРІАЛІВ ТА КІНЕТИКА ПРОЦЕСІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий) рівень
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	136 Металургія
Освітня програма	Металургія
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, третій семестр
Обсяг дисципліни	6 кредитів ЕСКТС, 180 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Іспит/ МКР
Розклад занять	За розкладом ( <a href="http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx">http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</a> )
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., професор Могилатенко Володимир Геннадійович, <a href="mailto:mvg@iff.kpi.ua">mvg@iff.kpi.ua</a> , +38(066)-717-23-26 Практичні: д.т.н., професор Могилатенко Володимир Геннадійович, <a href="mailto:mvg@iff.kpi.ua">mvg@iff.kpi.ua</a> , +38(066)-717-23-26
Розміщення курсу	<a href="https://foundry.kpi.ua/courses/termodynamika-ta-kinetyka-metalurgijnyhprocesiv/">https://foundry.kpi.ua/courses/termodynamika-ta-kinetyka-metalurgijnyhprocesiv/</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Силабус навчальної дисципліни «Термодинаміка матеріалів та кінетика процесів» складено відповідно до освітньо-наукової програми підготовки ОКР «Доктор філософії з металургії» за спеціальністю 136 – Металургія галузі знань - 13 Механічна інженерія.

Термодинаміка та кінетика процесів є класичними основоположними розділами фізики, хімії та фізичної хімії, в тому числі і фізико-хімії процесів що відбуваються в металургії. На базі отриманих знань аспірант зможе самостійно проводити теоретичний аналіз будь-яких металургійних процесів, набуде здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі металургії, що передбачає переосмислення наявних і створення нових знань та/або професійної практики. Зможе плідно проводити науково-дослідну роботу у галузі металургія, що пов'язана з фізико-хімічними процесами та явищами, формуванням заданої структури та властивостей металургійної продукції.

Предметом навчальної дисципліни є термодинаміка, кінетика та механізми процесів взаємодії в металургійних системах, рафінування, розкиснення, дегазації, модифікування, кристалізації виливків.

Метою вивчення навчальної дисципліни є формування у аспірантів глибинних знань зі спеціальності.

Під час навчання здобувачі набувають поглиблених знань: законів і основних понять хімічної та статистичної термодинаміки металургійних систем; кінетики та механізмів металургійних процесів, їх теоретичного аналізу та розрахунків; закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення; методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем в широкому контексті металургійних та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації; сучасних методів теоретичного дослідження властивостей матеріалів, що відповідають наступним загальним і фаховим компетенціям:

- **ЗК 04** - Здатність розв'язувати комплексні проблеми металургії на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.
- **ЗК 06** – Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу та оцінки сучасних наукових досягнень, генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань.
- **ФК 04** – Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері металургії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
- **ФК 07** – Здатність узагальнювати результати досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни аспіранти після її засвоєння мають продемонструвати такі результати навчання:

- **РН 03** - Використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані;
- **РН 05** - Планувати і виконувати експериментальні дослідження з металургії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних обладнання та методик, аналізувати результати експериментів у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.
- **РН 06** - Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, бази даних та інформаційні системи;

Таким чином майбутній фахівець набуває здатностей використовувати апарат термодинаміки для розв'язання комплексних проблем в галузі металургії; застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії; узагальнювати результати досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення; самовдосконалюватися, презентувати результати досліджень фахівцям і не фахівцям, читати лекції, вести спеціалізовані навчальні і наукові семінари; до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, створення нових знань і розв'язування значущих наукових та інших проблем.

Аспірант набуває досвіду з прогнозування процесів, що відбуваються в металургійних системах, при різних технологічних впливах на них і визначення основних етапів та режимів технологічних процесів обробки розплаву для одержання якісної кінцевої продукції.

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

Дисципліна «Термодинаміка матеріалів та кінетика процесів» відноситься до циклу навчальних дисциплін для здобуття глибинних знань зі спеціальності і базується на знаннях, уміннях та визначених навичках, одержаних аспірантами під час вивчення у бакалавраті та магістратурі дисциплін: вища математика, фізика, хімія, фізична хімія, теорія і технології металургійного виробництва, теоретичні основи ливарного виробництва; теоретичні основи плавки і виробництва виливків тощо.

Дисципліна забезпечує вивчення навчальних дисциплін освітнього компоненту 2 Ф-каталогу та створення наукової складової дисертації.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

**Вступ.** Загальна характеристика металургійних процесів. Основні завдання термодинаміки і кінетики металургійних реакцій.

#### **Розділ 1. Хімічна термодинаміка** Тема

1.1. Перший закон термодинаміки.

Тема 1.2. Другий закон термодинаміки.

Тема 1.3. Хімічна рівновага.

Тема 1.4. Елементи статистичної термодинаміки.

#### **Розділ 2. Хімічна кінетика**

Тема 2.1. Хімічна кінетика елементарних реакцій.

Тема 2.2. Хімічна кінетика складних реакцій.

#### **Розділ 3. Фізико-хімія металургійних систем**

Тема 3.1. Взаємодія газових атмосфер в металургійних процесах

Тема 3.2. Відновлення металів

Тема 3.3. Закономірності науглецювання та знеуглецювання металів, карбіди металів

Тема 3.4. Основи теорії взаємодії металевих, оксидних і сульфідних розплавів.

Тема 3.5. Розкислення металу, неметалеві і газові вclusions в металах

Тема 3.6. Процеси рафінування металів і сплавів

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### *Базова література:*

1. В.Я. Шурхал, В.К.Ларін, Д.Ф.Чернега та ін.. Фізико-хімія металургійних систем і процесів. К.: Вища школа, 2000. – 407 с.
2. Харлашин П. С. Основи термодинаміки і кінетики сучасних сталеплавильних процесів / Підручник для ВУЗів / П. С. Харлашин, В. С. Волошин, М. Я. Меджибожський. - Маріуполь, 2012 - 340 с.
3. М.П.Волкотруб, Д.Ф. Чернега, В.Г.Могилатенко, В.О. Шаповалов. Процеси спеціальної електрометалургії. К.: Хімджест, 2014. 282 с.
4. Готвянський Ю.Я. Фізико - хімічні та металургійні основи виробництва металів. Навчальний посібник . - К.: ІЗМН, 1996. - 392 с.

#### *Допоміжна література:*

1. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов. - Киев-Донецк; Вища школа,1979. – 277с.

### Інформаційні ресурси

*Література є у вільному доступі в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та Методичному кабінеті кафедри ЛВ.*

*Додатково можна опрацьовувати літературу з інтернет джерел:<https://foundry.kpi.ua>;  
<http://bookash.pro>; <http://techlib.org/lite>.*

Аспіранти можуть самостійно шукати матеріали за окремими питаннями курсу, що забезпечує розвиток здатності до пошукової та дослідницької діяльності, критичного аналізу інформації.

## 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Структуру курсу наведено за посиланням: <https://foundry.kpi.ua/courses/termodynamika-takinetyka-metalurgijnyh-procesiv/>, а розподіл годин між аудиторною і самостійною роботою наведено в табл. 1.

Освоєння дисципліни «Термодинаміка матеріалів та кінетика процесів» будується на різнобічному підході: теоретичному (лекції і самостійна робота з літературою), і практичному (термодинамічні розрахунки процесів, що відбуваються при виробництві металів та сплавів та їх кінетики, аналіз одержаних результатів).

Викладання дисципліни побудовано таким чином, що наступний матеріал може бути засвоєний тільки після пророблення попереднього, у цих умовах успіх вивчення дисципліни залежить від систематичної самостійної роботи аспіранта з матеріалом лекцій і рекомендованою літературою.

Систематичному поглибленню та накопиченню нових знань та умінь сприяє і самостійна підготовка до практичних занять, що містить:

- вивчення теорії питання;
- освоєння розрахункового апарата.

Для більш ефективної комунікації викладача та аспірантів використовується електронна пошта, месенджер Viber,Telegram, папка зі спільним доступом на Google-диску, в якій розміщуються необхідні матеріали.

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота аспіранта (загальна тривалість 102 години) з дисципліни полягає в: - підготовці до лекційних занять – з розрахунку 2 година на 1 лекцію (39 годин), підготовці до практичних занять - з розрахунку 2 година на 1 заняття (39 годин), підготовці до МКР та календарного контролю – 14 годин, підготовці до підсумкової атестації – екзамену (10 годин).

Самостійна робота здійснюється протягом всього семестру в рамках годин відповідно до робочого навчального плану підготовки.

Підготовка до лекцій: ознайомлення з матеріалами попередніх лекцій.

Підготовка до практичних робіт: ознайомлення з матеріалами лекцій стосовно тематики практичних робіт та освоєння необхідного розрахункового апарату.

Таблиця 1. – Розподіл годин між аудиторною і самостійною роботою

Назви змістовних модулів	Кількість годин				
	Всього	У тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабораторні	СРС
<b>Вступ.</b> Загальна характеристика металургійних процесів. Основні завдання термодинаміки і кінетики металургійних реакцій.	4	2	-	-	2
<b>Розділ 1.</b> Хімічна термодинаміка	52	12	14	-	26
<b>МКР</b>	7	1		-	7
<b>Розділ 2.</b> Хімічна кінетика	12	6	-	-	6
<b>Розділ 3.</b> Фізико-хімія металургійних систем і процесів	88	19	25	-	44
Календарний контроль 2	7	1		-	7

Екзамен	10			-	10
ВСЬОГО	180	39	39	-	102

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Відвідування лекційних занять є вільним, відвідування всіх видів занять фіксується, але не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал, який необхідний для поглиблення їх знань та виконання практичних занять.
- За відвідування практичних занять аспіранти не отримують бали: рейтинг аспіранта формує активна участь на практичних заняттях й підготовленість до них, а також виконання завдань протягом заняття.
- Пропуск практичного заняття не дає можливості отримати аспіранту бали у семестровий рейтинг, проте кожен аспірант має право відпрацювати пропущені лише з поважної причини (лікарняний, офіційний дозвіл деканату) заняття за рахунок самостійної роботи під час консультацій, передбачених навчальним навантаженням викладача.
- Допуск до практичних робіт здійснюється коротким опитуванням за матеріалом роботи.
- Захист практичних робіт проводиться на наступному занятті (заповненні таблиці, наведені необхідні розрахунки, побудовані графічні залежності, сформульовані висновки за результатами).
- Політика дедлайнів та перескладань: захист практичних робіт – в процесі виконання наступної роботи, або на консультаціях; МКР переписують на консультаціях; іспит, як форма підсумкового контролю відбувається відповідно до розкладу екзаменаційної сесії, перескладання відповідно до графіку перескладань у додаткову сесію;
- політика щодо академічної доброчесності згідно:
  - Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/files/honorcode.pdf>)
  - Положення про систему запобігання академічному плагіату ([https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Pologen\\_pro\\_plagiat.pdf](https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Pologen_pro_plagiat.pdf))
- інші вимоги: Правила внутрішнього розпорядку в студентських гуртожитках НТУУ "КПІ" (<https://kpi.ua/admin-rule-hostel>) та нормативні документи Університету (<https://kpi.ua/web-document>): виконання вимог техніки безпеки під час виконання лабораторних робіт; дотримання правил внутрішнього розпорядку.

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

Структура навчальної дисципліни

	Навчальний час	Розподіл навчальних годин	Контрольні заходи
--	----------------	---------------------------	-------------------

Семестр	кредити	академічних годин	Лекції	Практичні	Лабораторні	СРС	МКР	Семестрова атестація
3	6	180	39	39	-	102	1	екзамен

Рейтинг успішності здобувачів складається із двох частин семестрового рейтингу,  $R_C$ , та іспиту, коли  $0,4 \leq R_E < 0,6R_C$ .

Поточний контроль здобувачів відбувається на 6 та 12 тижні навчання.

На перший поточний контроль за виконання всіх вимог – не менше 15 балів

На другий поточний контроль за виконання всіх вимог – не менше 45 балів

Семестровий рейтинг успішності студента,  $R_C$ , формується як сума балів, нарахована студенту за роботу протягом семестру: за написання модульної контрольної роботи, за виконання 20-ти практичних робіт.

Отже семестровий рейтинг з дисципліни  $R_C$ , розраховують за формулою:

$$R_C = M + \sum_{i=1}^{20} \text{ПР},$$

де МКР – бали за виконання модульної контрольної роботи;

ПР – сума балів за виконання практичних робіт;

#### Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота складається із 2-х питань теоретичного характеру. Кожне питання оцінюється 1,5-ма балами.

Критерії оцінювання:

- бездоганна відповідь з поясненнями – 1,5 балів;
- незначні неточності у відповіді, відсутність пояснень тощо – 1,0 бали; - загальна схема відповіді наведена, але відсутні будь-які пояснення – 0,5 балів; - відповідь відсутня або цілком помилкова – 0 балів.

Отже максимальна оцінка МКР складає 3,0 бали. Максимальний бал за МКР складає 3 бали.

Практичні роботи. Аспірант самостійно (в рамках СРС) готується до виконання практичних робіт. Оцінка складається з оцінювання здобувача до виконання практичної роботи в рамках аудиторних годин:

- бездоганно написаний зміст практичної роботи із усіма необхідними рисунками, таблицями, формулами для розрахунків та задовільна підготовка до її виконання – 2,85 бали;
- незначні невідповідності (відсутній рисунок, таблиця тощо) або неточності у відповідях – 2 бали;
- задовільний протокол але аспірант не готовий до виконання практичної роботи, не володіє лекційним матеріалом і не зміг виконати відповідні розрахунки – 0 балів;

Розрахунок шкали (R) рейтингу: Сума вагових балів контрольних заходів для студента, який зразково виконав їх (МКР та ПР) і який не має пропусків занять без поважних причин максимально складає:

$$R_C = 3,0 + 20 \cdot 2,85 = 60 \text{ балів}$$

Таким чином, рейтингова шкала,  $R_C$ , з дисципліни складає 60 балів.

Необхідною умовою одержання оцінки є виконання та зарахування модульної контрольної і оформлених розрахунків з практичних робіт а також стартовий ( $R_C$ ) рейтинг студента має бути не менше 60% від максимального рейтингу  $R_C$ , тобто 36 балів.

За умови, коли стартовий рейтинг  $R_C < 36$  балів, студента не допускають до іспиту. Для складання іспиту студент повинен через виконання додаткових завдань набрати рейтинг  $\geq 36$  балів.

Іспит складається із 3-х завдань теоретичного характеру. Максимальна кількість балів за кожне питання – 13.

Критерії оцінювання:

- бездоганна відповідь з поясненнями 13,3 балів;
- незначні неточності у відповіді, відсутність повних пояснень – 11 балів; - загальна схема відповіді викладена, але без будь-яких пояснень – 8 балів; - відповідь відсутня або помилкова – 0 балів.

Залежно від фактично набраного рейтингу успішність студента встановлюють (ECTS та традиційну) відповідно до таблиці.

Таким чином рейтингова шкала з дисципліни складає:

$$R = R_C + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Залежно від фактично набраного рейтингу оцінку студенту встановлюють (ECTS та традиційну) відповідно до таблиці.

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 (освітнього компонента) Перелік

питань, які виносяться на підсумковий контроль:

1. Які термодинамічні функції називаються термодинамічними потенціалами?
2. Які вихідні дані потрібні для обчислення ступеня повноти перебігу хімічної реакції?
3. Яка термодинамічна функція називається спорідненістю хімічної реакції?
4. Опишіть зв'язок хімічного потенціалу речовини з енергією Гіббса.
5. Які термодинамічні функції називаються стандартними?
6. За якою системою рівнянь обчислюється рівноважний склад газової фази хімічної реакції типу  $A_{\Gamma} + B_{\Gamma} = AB_{\Gamma}$ ?
7. Як змінюються термодинамічні функції (ентальпія, ентропія, енергія Гіббса) при змішуванні двох речовин з утворенням ідеального розчину?
8. Як змінюються термодинамічні функції при утворенні неідеального розчину?
9. Які термодинамічні функції називають надлишковими?
10. Чи впливає наявність у розчині речовини  $j$  на активність речовини  $i$  в ньому?
11. Що відображують концентраційні параметри взаємодії?
12. Сформулюйте визначення поняття пружності дисоціації хімічної сполуки.
13. Чи є пружність дисоціації хімічної сполуки характеристикою її термодинамічної стійкості?

14. За яких умов термодинамічно можлива дисоціація (утворення) хімічної сполуки за стандартного стану системи?
15. Як впливає взаємна розчинність хімічної сполуки і продукту її дисоціації на пружність дисоціації?
16. У чому полягає суть принципу ступінчастості О. О. Байкова?
17. Які оксиди утворюються в системі залізо — кисень? Як вони називаються?
18. Нарисуйте та опишіть діаграму стану системи залізо — кисень.
19. Напишіть рівняння хімічних реакцій заліза з киснем за температур, нижчих і вищих від 843 К.
20. Як змінюється термодинамічна стійкість оксидів одного й того самого металу від нижчого до вищого оксиду?
21. Зіставте термодинамічну стійкість відповідних оксидів заліза і мангану.
22. Які оксиди утворюються в системі силіцій — кисень?
23. Схарактеризуйте поліморфізм кремнезему.
24. У чому полягає відмінність між конденсатною і газовою дисоціацією хімічної сполуки?
25. Схарактеризуйте термодинамічну стійкість карбонатів металів.
26. В якій послідовності змінюється спорідненість хімічних реакцій металів із киснем?
27. В якій послідовності змінюється термодинамічна стійкість нітридів металів?
28. Опишіть кінетичні особливості високотемпературного окислення металів киснем.
29. За яких умов може утворюватись оксидна плівка на металах, яка захищає їх від подальшого окислення?
30. У чому полягають особливості окислення сплавів металів?
31. Які форми існування вуглецю в природі ви знаєте?
32. Нарисуйте і прокоментуйте графіки зміни приросту енергії Гіббса залежно від температури для хімічних реакцій у системі вуглець — кисень.
33. Як впливає нестандартність умов на зміну приросту енергії Гіббса хімічної реакції неповного окислення вуглецю?
34. Проаналізуйте та відобразіть графічно вплив фізичних параметрів (температури і тиску) на рівноважний склад газової фази реакції Белла — Будуара.
35. Нарисуйте і прокоментуйте графіки зміни приросту енергії Гіббса для хімічних реакцій вуглецю з водяною парою.
36. Як змінюється спорідненість хімічної реакції водню з киснем залежно від температури?
37. Від яких параметрів залежить рівноважний склад газової фази реакції водяного газу?
38. Виведіть рівняння для обчислення ступеня дисоціації метану.
39. Які хімічні реакції відбуваються в системі метан — кисень?
40. Нарисуйте і прокоментуйте графіки залежності приросту енергії Гіббса від температури для реакцій взаємодії метану з вуглекислим газом і водяною парою.
41. Нарисуйте і прокоментуйте графіки функції  $\Delta G^\circ = f(T)$  для хімічних реакцій у системі азот — кисень.
42. Які газові атмосфери називаються контрольованими? Схарактеризуйте їх склад та способи отримання.



43. За якими рівняннями можна обчислити кисневий потенціал сумішей газів CO — C O<sub>2</sub> і H<sub>2</sub> — H<sub>2</sub>O?

44. За яких умов термодинамічно можливе ланцюгове самозаймання сумішей водню з киснем?

45. За яких умов можливе теплове самозаймання сумішей газів?

46. Опишіть особливості механізмів окислення оксиду вуглецю (II) і метану.

47. Опишіть механізм окислення вуглецю киснем.

48. Напишіть і прокоментуйте рівняння, за яким можна обчислити швидкість витрачання кисню під час його хімічної взаємодії з вуглецем.

49. Опишіть механізм окислення вуглецю у вологому середовищі за нерозгалуженою ланцюговою реакцією.

50. Опишіть механізми хімічної взаємодії вуглецю з водяною парою та оксидом вуглецю

(IV).

51. За яким механізмом відбувається процес розкладання оксиду вуглецю (II)?

52. Опишіть особливості окислення (горіння) вуглецю в шарі вугілля та коксу в доменній печі.

53. За яких умов термодинамічно можлива реакція відновлення оксиду металу MeO відновником В?

54. Опишіть вплив нестандартних умов на перебіг у системі хімічної реакції відновлення металу з оксиду відновником В.

55. В якому разі термодинамічно ймовірніше відновлення металу: з простої чи із складної хімічної сполуки?

56. Відновлений метал утворює хімічну сполуку з іншим елементом. Чи сприяє це процесу відновлення?

57. Які хімічні елементи чи сполуки можуть бути використані як відновники заліза з його оксиду FeO?

58. У чому полягає суть металотермічного відновлення металів? За яких умов це термодинамічно можливе? Наведіть приклади таких процесів.

59. За яких умов термодинамічно можливе відновлення металу з оксиду MeO газуватим відновником В?

60. На які групи поділяються оксиди металів за їх здатністю до відновлення воднем?

61. Напишіть рівняння хімічних реакцій відновлення оксидів заліза воднем та зобразіть графічно зміну рівноважних складів газової фази для них залежно від температури.

62. Нарисуйте та прокоментуйте діаграму зміни складу рівноважної газової фази реакцій відновлення оксидів заліза оксидом вуглецю (II).

63. За якими рівняннями можна обчислити склад рівноважної газової фази для реакцій відновлення оксидів заліза сумішами газів CO і H<sub>2</sub>?

64. Чи можна використати метан як відновник заліза з його оксидів?

65. За якими механізмами може відбуватися карботермічне відновлення оксиду металу?

66. Нарисуйте і прокоментуйте діаграму, яка відображує відновлення оксидів заліза вуглецем за посередністю реакції Белла — Будуара.

67. Опишіть послідовність хімічних реакцій під час відновлення металу вуглецем із розплаву оксидів.

68. Опишіть особливості карботермічного відновлення металів у вакуумі.

69. Опишіть механізм твердофазового відновлення оксиду металу (на прикладі відновлення оксиду нікелю залізом).
70. Напишіть і проаналізуйте рівняння Мак-Кевана.
71. З яких ланок складається процес відновлення оксиду металу газуватим відновником з позицій адсорбційно-каталітичної та двостадійної теорій?
72. На чому ґрунтується загальна математична модель відновлення оксиду металу газуватим відновником (модель професора С. Т. Ростовцева)?
73. Порівняйте швидкості відновлення оксидів заліза воднем та оксидом вуглецю (II).
74. Як впливає температура на швидкість відновлення оксидів заліза газуватим відновником?
75. Як впливає розмір часточок рудного матеріалу на кінетику процесу відновлення?
76. Як впливає склад газової фази на швидкість відновлення оксидів заліза?
77. Відомо, що реакції відновлення оксидів воднем відбуваються без зміни числа молів газуватих компонентів. Чим пояснити експериментально встановлений факт впливу тиску на кінетику реакцій відновлення оксидів заліза?
78. Як називаються розчини вуглецю в залізі?
79. Які карбіди утворюються в системі залізо — вуглець? їх термодинамічна стійкість.
80. Якими способами отримують карбіди металів? Для чого вони використовуються?
81. Як розподіляються метали за термодинамічною стійкістю їхніх карбідів?
82. Якими хімічними реакціями супроводжується процес навуглецювання заліза в середовищі суміші газів CO і CO<sub>2</sub>?
83. Нарисуйте та опишіть діаграму, яка ілюструє процес навуглецювання заліза в середовищі суміші газів CO і CO<sub>2</sub>.
84. За яких співвідношень потенціалів вуглецю в конденсованій і газовій фазах термодинамічно можливе навуглецювання (зневуглецювання) металу?
85. За якою схемою відбувається процес навуглецювання металу в суміші газів CH<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>?
86. Нарисуйте та опишіть діаграму, яка ілюструє процес навуглецювання заліза в складних газових середовищах типу H<sub>2</sub>— H<sub>2</sub>O — CO — CO<sub>2</sub> — CH<sub>4</sub>.
87. Наведіть приклади технологічних процесів навуглецювання та зневуглецювання металів.
88. Який зв'язок між атомами називається металічним?
89. Якими параметрами характеризується упорядкованість розміщення атомів (іонів) у кристалічній решітці?
90. На яких експериментальних фактах ґрунтується гіпотеза про близькість будови розплаву металу і твердого тіла поблизу температури ліквідусу?
91. Яку інформацію несе в собі функція радіального розподілу атомів (ФРРА)?
92. Які дані про ФРРА різних металів свідчать про подібність їх будови у рідкому стані?
93. Сформулюйте основні положення молекулярної теорії будови оксидних розплавів (шлаків).
94. Які експериментальні факти свідчать на користь іонної теорії будови шлаків у стані рідини?
95. Яку структуру мають силікати залежно від співвідношення MeO:SiO<sub>2</sub>?

96. Опишіть модель досконалого іонного розчину (розплаву), яка ґрунтується на іонній теорії будови шлаків.
97. Опишіть модель мікронеоднорідності електролітів.
98. Які властивості шлаків належать до хімічних?
99. Нарисуйте та опишіть діаграму стану системи  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ .
100. Чи однаково впливає температура на в'язкість основного і кислого шлаків?
101. Який вигляд мають ізотерми в'язкості розплаву залежно від типу сплаву в стані твердого тіла?
102. Як впливають домішки на в'язкість заліза?
103. Як впливає основність шлаку на його в'язкість?
104. Напишіть і прокоментуйте рівняння Юнга.
105. Чи залежить поверхневий натяг металів від їхньої електронної будови в стані твердого тіла?
106. Як впливають домішки на поверхневий натяг розплавленого заліза?
107. Яким рівнянням описується вплив температури на поверхневий натяг розплаву заліза?
108. Напишіть і прокоментуйте рівняння, яке описує правило Антонова.
109. Як впливають оксиди та сульфідні заліза і мангану на міжфазовий натяг у системі розплав шлаку — розплав заліза?
110. В яких випадках розплав металу змочує поверхню твердого оксиду?
111. Які хімічні реакції лежать в основі окислювального рафінування металів?
112. Якими факторами визначається послідовність і повнота окислення елементів-домішок у розплаві заліза?
113. Які фактори впливають на розподіл кисню між шлаковим та металевим розплавами?
114. Виведіть рівняння для коефіцієнта розподілу хімічного елемента між шлаковим та металевим розплавами.
115. Яким рівнянням відображується залежність між концентраціями вуглецю і кисню в розплаві заліза?
116. Опишіть механізм окислення вуглецю, розчиненого в залізі (на прикладі мартенівської плавки сталі).
117. Виведіть формулу для визначення коефіцієнта розподілу мангану між шлаковим та металевим розплавами. Які фактори сприяють переходу мангану із шлаку в метал?
118. Напишіть і поясніть формулу для визначення коефіцієнта розподілу силіцію між шлаковим і металевим розплавами.
119. Які фактори впливають на коефіцієнт розподілу фосфору між шлаковим та металевим розплавами?
120. В якому порядку розміщуються (в міру зростання) хімічні елементи за спорідненістю їх хімічних реакцій до сірки?
121. В якій послідовності зростає термодинамічна стійкість сульфатів металів?
122. Які хімічні реакції відбуваються під час окислення піриту киснем?
123. За яких умов термодинамічно ймовірна хімічна реакція  $\text{Me}_I\text{S} + \text{Me}_{II} = \text{Me}_{II}\text{S} + \text{Me}_I$ .
124. В якому разі термодинамічно ймовірна хімічна взаємодія між оксидом і сульфідом одного й того самого металу?
125. Які фактори впливають на коефіцієнт розподілу сірки між розплавами шлаку і металу (заліза)?
126. З якою метою проводиться розкислення металу?
127. Які методи застосовуються для розкислення сталі?
128. У чому полягає суть осадового розкислення металу?

129. В якій послідовності розміщуються хімічні елементи за здатністю розкислювати залізо, мідь?
130. Які недоліки та переваги властиві осадовому розкисленню?
131. З урахуванням яких вимог підходять до вибору розкислювача для осадового розкислення металу?
132. У чому полягає суть дифузійного розкислення металу?
133. Які речовини можна використовувати для дифузійного розкислення заліза?
134. У чому полягає суть вакуумного розкислення вуглецевмісних сплавів?
135. З яких хімічних елементів і сполук складаються неметалеві включення в металах?
136. Які включення належать до ендогенних?
137. Внаслідок чого утворюються екзогенні неметалеві включення?
138. На які класи поділяються ендогенні неметалеві включення?
139. У чому полягає шкідлива дія неметалевих включень у металах?
140. Як можна досягти укрупнення неметалевих включень у розтоці металу?
141. Напишіть і прокоментуйте формулу Стокса.
142. Які гази можуть розчинятися в залізі (сталі)?
143. В якій формі існують гази в металах та сплавах?
144. Якими методами можна визначити вміст газу в металі?
145. У чому полягає негативний вплив водню на властивості металу?
146. Як змінюється вміст двохатомного газу в металі залежно від його парціального тиску в газовій фазі?
147. Опишіть вплив температури на розчинність водню в залізі.
148. У чому полягає вплив азоту на властивості сталей?
149. Як змінюється розчинність азоту в залізі залежно від температури?
150. Як впливають елементи-домішки на розчинність водню в залізі?
151. На які групи поділяються хімічні елементи за впливом на розчинність водню (азоту) в залізі (сталі)?
152. В якій послідовності відбувається процес видалення газу з металу?
153. В якій формі перебуває водень у розплаві шлаку?
154. Опишіть механізм переходу водню з атмосфери печі в розплавленій шлак.
155. Як впливає основність на розчинність водню в розплаві, до складу якого входять оксиди  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  та  $\text{FeO}$ ?
156. На які види (типи) поділяються процеси рафінування металів і сплавів?
157. У чому полягає суть явища ліквідації?
158. Дайте визначення коефіцієнта ліквідації речовини-домішки між двома рідинами, які контактують.
159. Від яких факторів залежить абсолютне значення коефіцієнта розподілу домішки між фазами, що контактують?
160. На які типи поділяються ліквідаційні процеси рафінування металів від свинцю?
161. Опишіть процес ліквідаційного рафінування цинку.
162. У чому полягає суть методу ліквідаційно-кристалізаційного рафінування металу?
163. Опишіть процес ліквідаційно-газифікаційного рафінування.
164. У чому полягає суть методу екстракційно-ліквідаційного рафінування?
165. Опишіть відомі вам методи рафінування металів кристалізацією із розплаву.
166. Яким рівнянням описується залежність пружності пари металу від температури?
167. У чому полягає суть методу розділення сумішей дистиляцією (перегонкою)?
168. Який процес розділення сумішей називається ректифікацією?
169. Через які реакційні зони проходить крапля металу, що відривається від торця електрода?

170. Якими показниками характеризується ефективність рафінування металу від домішки в переплавному процесі?

171. Опишіть особливості процесу рафінування металу при електрошлаковому перетопленні.

172. Чим зумовлена висока ефективність видалення газів із розплаву металу під час вакуумних перетопних процесів?

173. У чому полягають особливості рафінування та розкислювання металу в процесі позапічного вакуумування розплаву?

174. Опишіть механізм видалення водню з металу в процесі позапічного вакуумування розплаву металу.

175. Від яких факторів залежить залишкова концентрація сірки в металі після обробки його синтетичним шлаком?

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено професор, д.т.н., доцент Могилатенко Володимир Геннадійович**

посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ

**Ухвалено кафедрою ЛВ (протокол № 12 від 26.06.2024 р.)**

**Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 12/24 від 28 червня 2024 р.)**