

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЗАТВЕРДЖЕНО

Приймальною комісією

Протокол № 3

«25» 05 2026 р.



Голова Відбіркової комісії зі вступу
до аспірантури та докторантури

Дмитро ЯРИМБАШ

ПОГОДЖЕНО:

Відповідальний секретар Відбіркової
комісії

В. Буличова Вікторія БУЛИЧОВА

**ПРОГРАМА
ФАХОВОГО ІСПИТУ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ G10 «МЕТАЛУРГІЯ»**

при прийомі на навчання для здобуття
третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
на основі НРК7

Спеціальність: G10 «Металургія»

Гарант освітньо-наукової програми:

«Металургія» Віктор СКАЧКОВ

I. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Фаховий іспит – це форма оцінювання в Запорізькому національному університеті (далі – ЗНУ), що передбачає визначення рівня підготовленості вступника щодо здобутих раніше компетентностей та результатів навчання, необхідних для опанування освітньої програми третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

Метою проведення фахового іспиту зі спеціальності є перевірка рівня знань, умінь та інших фахових компетентностей вступника, що є достатніми для здобуття освітнього ступеня доктора філософії на основі НРК7 за спеціальністю G10 «Металургія», освітньо-науковою програмою «Металургія».

Фаховий іспит проводиться у формі комп'ютерного тестування із застосуванням технологій дистанційного навчання в системі електронного забезпечення навчання «Moodle» ЗНУ.

Тривалість фахового іспиту становить 60 хвилин.

Фаховий іспит проводиться в очному форматі в ЗНУ з обов'язковою відеофіксацією та подальшим оприлюдненням на офіційному вебсайті Приймальної комісії.

II. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Оцінювання результатів фахового іспиту здійснюється автоматично системою електронного забезпечення навчання «Moodle» за шкалою від 0 до 200 балів.

Тестове завдання генерується індивідуально для кожного вступника і містить 50 запитань із вибором однієї правильної відповіді. Кожна правильна відповідь оцінюється в 4 бали. Неправильна відповідь або її відсутність оцінюється у 0 балів. Максимально можливий результат за іспит становить 200 балів.

Мінімальний пороговий бал, необхідний для допуску до участі в конкурсному відборі, становить 100 балів, що відповідає 25 правильним відповідям. Вступники, які набрали від 0 до 96 балів, отримують результат «незадовільно» та не допускаються до участі в конкурсному відборі на навчання.

Таблиця переведення тестових балів у шкалу 0-200 балів

Тестовий бал	Бал за шкалою 0–200	Тестовий бал	Бал за шкалою 0–200
1	4	26	104
2	8	27	108
3	12	28	112

4	16	29	116
5	20	30	120
6	24	31	124
7	28	32	128
8	32	33	132
9	36	34	136
10	40	35	140
11	44	36	144
12	48	37	148
13	52	38	152
14	56	39	156
15	60	40	160
16	64	41	164
17	68	42	168
18	72	43	172
19	76	44	176
20	80	45	180
21	84	46	184
22	88	47	188
23	92	48	192
24	96	49	196
25	100	50	200

Тестовий бал (0-50)	Підсумковий бал (0-200)	Рівень навчальних досягнень
45–50	180–200	Високий
35–44	140–176	Достатній
25–34	100–136	Базовий
0–24	0–96	Недостатній

Вступники, які отримали оцінку менше 100 балів, до участі в конкурсному відборі не допускаються.

III. ЗМІСТ ПРОГРАМИ

1. Теоретичні основи металургії

1.1. Фізико-хімічні основи металургійних процесів

Будова речовини. Основи теорії твердого тіла. Кристалічна структура простих та складних оксидних фаз. Дефектність структури кристалів та її вплив на фізико-хімічні характеристики речовин. Термодинамічна система та термодинамічні параметри Функції стану. Термодинамічна рівновага. Закони термодинаміки. Термодинамічні потенціали (внутрішня енергія, ентальпія, ентропія, ізобарно-ізотермічний та ізохорно-ізотермічний потенціал).

Термодинаміка сплавів. Ідеальні та реальні розчини. Термодинамічна активність. Розрахунки рівноваги у розчинах. Фазові переходи. Діаграми фазової рівноваги двокомпонентних систем Діаграми станів Me-O, Me-S. Кінетика металургійних реакцій. Загальна характеристика гетерогенних металургійних реакцій .

1.2. Теорія пірометалургійних процесів

Будова та властивості рідких металів. Рідкий стан як проміжний між твердим та газоподібним. Близькість властивостей рідких металів при невеликих перегрівках над лінією ліквідує до властивостей металів у твердому стані. Термодинаміка процесів плавлення та кристалізації. Будова рідких шлаків. Теорії будови шлаків. Хімічні та фізичні властивості шлаків. Основність та способи її вираження. Концепція ємностей шлаків. Способи розрахунку активності у шлакових системах. Твердофазні процеси. Загальне поняття про твердофазні процеси та їх роль у металургійних технологіях. Точкові дефекти твердих тіл. Дифузія у твердих тілах. Температурна залежність коефіцієнтів дифузії. Дифузія як одна із стадій твердофазних процесів. Твердофазні хімічні реакції, їхня класифікація. Методи розрахунку кінцевого стану. Експериментальні методи вивчення твердофазних процесів. Кінетика процесів у твердих тілах. Утворення та зростання гомогенних зародків. Дифузійно-кінетичний режим зростання фази. Рівняння ізотермічної кінетики. Загальна теорія окисно-відновних реакцій у твердому тілі. Феритоутворення у металургійних процесах. Утворення складних алюмосилікатів, аморфні тверді тіла. Основи процесів відновлення. Структура та властивості оксидів чорних, кольорових та рідкісних металів. Термодинаміка відновлення оксидів. Особливості відновлення монооксидом вуглецю, воднем та твердим вуглецем. Навуглецювання елементів.

Діаграми стану Me-S. Активність вуглецю у навууглецюванням металі. Процеси взаємодії в системах метал-шлак. В'язкість рідких металів та сплавів. Дифузійна рухливість компонентів у рідких металах та сплавах. Зовнішній та внутрішній масоперенос. Конвективна дифузія у рідині. Фізичні властивості шлаків. Електропровідність рідких металів та шлаків. Явища змочування та розтікання на міжфазних межах. Основи кінетики окисних процесів. Окислення вуглецю. Розшарування у рідких сульфідно-оксидних системах. Основи процесів випаровування та конденсації Очищення металів ректифікацією. Кристалізаційні методи очищення металів. Будова солей із проміжним типом зв'язку. Плавкість сольових систем. Основні типи діаграм у бінарних системах. Кріоскопія розплавлених солей. Найпростіші типи діаграм потрійних систем. Потрійна система з подвійним з'єднанням, що інконгруентно плавиться. Термодинамічні властивості розплавлених солей. Парціальні та інтегральні термодинамічні характеристики, зв'язок між ними. Активність та коефіцієнт активності, надлишкові функції. Статичні, динамічні та кінетичні методи визначення тиску пари. Визначення парціальних термодинамічних властивостей за наслідками вимірювань електрорушійних сил. Хімічні кола, їх конструкції. Взаємодія розплавлених солей з металами та газами. Розчинність металів у солях, методи вивчення, природа розчинів. Властивості систем метал-

сіль. Вплив розведення металевої або сольової фаз на взаємну розчинність та перебіг обмінних реакцій. Розчинність газів у розплавлених солях, природа цих розчинів.

1.3. Теорія гідрометалургійних процесів

Термодинаміка простого розчинення іонних кристалів у питній воді. Властивості води як розчинника, взаємодія іонів із молекулами води. Оцінка термодинамічної ймовірності перебігу процесів вилуговування. Методи розрахунку зміни вільної енергії Гіббса та константи рівноваги для реакцій розчинення металів, оксидів, сульфідів, реакцій з утворенням твердої фази. Кінетика та механізм процесів вилуговування. Стадії вилуговування, зовнішньодифузійна, внутрішньодифузійна та кінетична області протікання процесу. Узагальнююче вираз для швидкості взаємодії у системі тверде-рідина. Закономірності перебігу процесу у зовнішньодифузійній галузі. Основні положення теорії масопередачі. Теорія прикордонного шару рідини, що примикає до твердого тіла. Молекулярна та конвективна дифузія. Ознаки перебігу процесу у зовнішньодифузійній ділянці. Закономірності перебігу процесу у внутрішньодифузійній ділянці. Залежність швидкості вилуговування твердої речовини від наявності дефектів у його кристалічній решітці. Особливості механізму та узагальнене рівняння швидкості процесу за участю газоподібного реагенту. Области застосування кристалізації у гідрометалургії. Системи вода-сіль, вода-сіль(1)-сіль(2)м, трикутна та прямокутна діаграми для зображення трикомпонентних сольових систем. Ступені свободи та типи трикомпонентних систем із загальним іоном. Фазова діаграма розчинності, способи створення пересичених розчинів, фактори та кількісні характеристики їхньої стійкості. Механізм утворення зародків кристалізації. Гомогенне та гетерогенне зародок утворення. Механізм росту кристалів. Кінетика, стадії процесу, рівняння швидкості масової кристалізації. Поняття виділення металів цементациєю. Термодинамічні, кінетичні процеси та механізм цементациї. Побічні процеси під час цементациї.

1.4. Теорія електрометалургійних процесів

Електрорушійні сили та електродні потенціали. Виникнення стрибка потенціалів та подвійного електричного шару на межі метал - електроліт. Електрокапілярні явища. Гальванічні елементи. Термодинаміка електричного елемента. Класифікація електродів. Електроди порівняння. Електродні потенціали, низка напруг металів. Кінетика електродних процесів. Поляризація електродів, основні види поляризації. Електроліз. Катодні та анодні процеси, основні закони електролізу. Характеристики електролізу, сумісний розряд іонів. Особливості електрохімії розплавлених середовищ Розчинність у розплавлених солях металів та газів. Термодинаміка гальванічних елементів у розплавлених солях. Електроди порівняння, потенціал електрода та ряд напруг у розплавлених солях. Кінетика електродних процесів у розплавах. Катодний вихід по струму та втрати металу. Механізм втрати металу. Вихід струмом при спільному розряді іонів на катоді. Анодний ефект, сутність та механізм

виникнення. Особливості процесів на електродах у розплавлених солях. Основи високотемпературної електрометалургії кольорових металів.

2. Технологія виробництва чорних металів

2.1. Виробництво первинного металу

Підготовка сировини до плавки. Класифікація залізорудних матеріалів. Родовища руд чорних металів. Флюси. Паливо. Техногенна сировина. Схема підготовки залізорудних матеріалів до плавки. Відмінності у підготовці бідних і багатих руд. Дроблення та подрібнення. Збагачення руд. Показники збагачення. Граничний ступінь збагачення. Енерговитрати на дроблення, гуркотіння та збагачення. Викиди у навколишнє середовище при дробленні, гуркотінні та збагаченні. Огрудкування залізорудних матеріалів. Агломерація залізняка. Фізико-хімічні засади агломерації. Видалення води та конденсація вологи. Розкладання карбонатів та гідратів. Твердофазні хімічні реакції. Плавання шихти та кристалізація розплаву. Формування агломерату. Отримання залізорудних концентратів. Фізико-хімічні процеси при формуванні сирих концентратів та їх зміцненні. Поведінка попутних елементів. Технологія виробництва концентратів. Конструкція агрегатів для огрудкування залізорудних матеріалів. Коксування вугілля та формування коксу. Якість коксу. Викиди у навколишнє середовище під час виробництва коксу. Виробництво чавуну в доменних печах Доменна піч.

Основні процеси. Нагрів та розкладання шихти. Процеси відновлення у доменних печах. Кінетика відновлення в доменних печах та вплив різних факторів на швидкість відновлення. Показники розвитку процесу відновлення у доменних печах. Навуглецювання заліза та формування чавуну. Якість чавуну. Шлакоутворення у доменних печах. Властивості шлаку. Горіння палива біля фурм доменної печі. Верхня та нижня щаблі теплообміну. Теплові баланси плавки. Рух газу та матеріалів у доменній печі. Формування газу та його рух у шарі. Конструкція доменних печей Профіль печі. Футерування та кожух. Система охолодження. Чавунна та шлакова льотки. Повітряні фурми. Засипний апарат. Устаткування доменних цехів. Подання матеріалів до доменної печі. Пристрої для збирання чавуну та шлаку. Розливна машина. Очищення доменного газу. Управління доменною плавкою. Експлуатація доменної печі. Позадоменне отримання первинного металу. Твердофазні процеси виробництва первинного металу Сировина та паливо. Фізико-хімічні особливості процесу. Ступінь металізації. Якість металізованої сировини. Агрегати для отримання твердофазного первинного металу. Енерговитрати та викиди у навколишнє середовище. Економіка виробництва. Рідкофазні процеси. Фізико-хімічні особливості рідкофазних процесів. Сировина та паливо. Якість продукції. Агрегати для рідкофазного відновлення.

2.2. Металургія сталі

Очищення від домішок. Кристалізація та розливання сталі. Окислення домішок сталеплавильної ванни. Термодинаміка окиснення вуглецю. Концентрація вуглецю та кисню у сталевій ванні в процесі плавки. Кінетика окиснення вуглецю. Процеси окиснення кремнію, марганцю та хрому. Кінетика

спільного окиснення. Фізико-хімічні основи окиснення фосфору та видалення сірки. Розкислення сталі Термодинаміка розкислення сталі. Розкислювальна здатність окремих розкислювачів. Аналіз ізотерм розкислення. Залежність активності кисню від концентрації розкислювача. Розкислення комплексними розкислювачами. Видалення неметалевих включень із металу. Роль щільності та розміру включень, роль міжфазного натягу на кордоні з металом, вплив теплової конвекції та руху металу під дією газів, що виділяються. Залишкові (екзогенні та ендогенні) включення, що не видаляються з металу включення (кристалізаційні та післякристалізаційні), їх природа, вплив на властивості металу, способи зменшення вмісту кристалізаційних та післякристалізаційних включень. Дифузійне (екстракційне) розкислення. Розкислення вуглецем. Властивості основних розкислювачів. Гази в сталі та методи боротьби з ними Водень у сталі, його вплив на властивості сталі, вади, що викликаються присутністю водню в сталі та його виділенням із розчину в окрему фазу. Розчинність водню в залізі та сталі, вплив температури, алотропічних перетворень та хімічного складу на розчинність водню. Поведінка водню у процесі виплавки сталі (у мартенівських печах, кисневих конвертерах, дугових печах). Азот у сталі, вплив азоту на службові властивості низьковуглецевих сталей, старіння сталі та азоту, азот як легуючий елемент та замітник дорогих компонентів сталей. Температурні умови формування та дисоціації нітридів. Кінетика масообміну азоту між газовою фазою та металом, гальмує ланка процесу в різних умовах взаємодії рідких металів та газів. Кристалізація та розливання сталі Гомогенне та гетерогенне зародження кристалів. Механізм зростання кристалів. Вплив тепловідведення. Дендритне зростання. Коефіцієнт розподілу домішки між твердою та рідкою фазами. Концентраційне переохолодження. Кристалізація в інтервалі температур. Поведінка металевих струменей при розливанні. Особливості гідродинаміки металу у виливницях у процесі кристалізації. Фізичні методи на процес затвердіння стали. Пороки злитків металу, що «кипить», методи обмеження їх розвитку. Внутрішні та зовнішні дефекти зливка спокійної сталі, управління розподілом газів, неметалевих включень, шляхи підвищення щільності зливка. Злиток «напівспокійної» стали. Особливості формування злитків, відлитих на МНЛЗ. Пороки литих заготовок, їх причини та заходи, що вживаються для обмеження розвитку окремих видів вад. Особливості виробництва сталі у різних сталеплавильних агрегатах. Киснево-конвертерний процес Закінчення газового струменя із сопла. Механізм та основні закономірності взаємодії газового струменя з рідкою металевою ванною. Кінетика розчинення твердих металів у рідких розплавах. Термодинаміка та кінетика окиснення елементів металевої ванни при киснево-конвертерних процесах. Окислення вуглецю. Окислення шлакоутворювальних компонентів ванни. Поведінка сірки при киснево-конвертерному процесі. Особливості конвертерного процесу з продуванням киснем через дно. Комбінована продування. Проблеми переробки скрапу у конвертерах. Перспективи конвертерного процесу. Аргонокиснева продування. Отримання нержавіючих сталей у конвертерах. Марки сталі, що виплавляється в кисневих конвертерах. Якість киснево-конвертерної сталі порівняно з мартенівською та електросталлю. Теорія та технологія подових процесів

виробництва сталі. Теплова робота плавильного простору сучасних печей, що використовують кисень для спалювання палива та продування ванни. Особливості теплообміну в печах, що працюють під час продування металу киснем. Шихтування плавки у мартенівських і двованних великовантажних печах. Теплопередача у ванні в процесі завалки шихти, прогрівання та плавлення скрапу. Шлакоутворення у великовантажних мартенівських печах, що працюють із застосуванням рідкого чавуну. Рафінуюча та захисна роль шлаку під час плавлення. Окислення вуглецю в агрегатах подового типу. Природа та кінетика окислення вуглецю при скрап - процесі. Сірка в шихті подових сталеплавильних агрегатів. Десульфурація чавунів. Поведінка сірки у процесі плавки. Порівняння техніко-економічних показників роботи мартенівських печей. Якість сталі, що виплавляється в мартенівських та двованних печах. Автоматизація управління мартенівськими печами та двованними агрегатами. Застосування порошкоподібних матеріалів.

Енерговитрати та викиди в навколишнє середовище при подових процесах виробництва сталі. Електросталеплавильне виробництво. Виплавка сталі в електродугових печах з кислим футеруванням. Фізико-хімічні основи вакуумної плавки: розкислювальна здатність вуглецю, поведінка неметалічних включень, дегазація, взаємодія металу з футеруванням, розкислення, випаровування. Відкрита та вакуумна індукційна плавка (ІП та ВІП). Технологія плавки. Вакуумний дуговий переплав (ВДП). Вплив електричного режиму на рафінування. Будова рідкої ванни та динаміка її зміни. Структура металу при ВДП та шляхи управління її формуванням. Основні дефекти злитків ВДП та шляхи їх попередження. Електрошлаковий переплав (ЕШП). Склад шлаків при ЕШП. Механізм рафінування металу від неметалевих включень. Плазмова плавка та плазмово-дуговий переплав (ПДП). Особливості горіння плазмової дуги. Взаємодія металу із газами за умов плазмової дуги. Легування металу азотом. Плавка сталі у плазмовій печі з керамічним тиглем. Електроннопроменевий переплав (ЕЛП). Температурний режим. Особливості формування зливка при ЕЛП. Техніка безпеки під час роботи в електросталеплавильних цехах. Теорія та практика позапічної обробки сталі. Нерівномірність складу та температури металу в ковші. Способи гомогенізації металу: продування аргоном та електромагнітне перемішування. Дегазація та видалення включень при гомогенізації. Кавітаційне продування. Десульфурація сталі в ковші: обробка синтетичними шлаками та продування порошками. Сульфідна ємність шлаків. Механізм процесів десульфурації під час продування порошкоподібними матеріалами. Управління процесами десульфурації. Варіанти безокислювальної дефосфорації сталі. Розкислення та дегазація сталі у вакуумі. Способи вакуумування та їх порівняльна ефективність. Вплив вакуумування на якість сталі. Проблема безперервних процесів виробництва сталі. Технологічні переваги безперервних процесів у порівнянні з періодичними. Найбільш випробувані та перспективні варіанти безперервного сталеплавильного процесу. Комбінування безперервного сталеплавильного процесу з безперервною прокаткою. Перспективи безперервних сталеплавильних процесів.

2.3. Виробництво феросплавів

Сучасний стан та перспективи розвитку феросплавної промисловості; класифікація процесів одержання феросплавів. Карботермічні процеси. Фізико-хімічні засади відновлення оксидів вуглецю. Відновлення кремнію. Роль монооксиду кремнію та карбіду кремнію. Відновлення марганцю з оксидів та силікатів. Роль карбідів марганцю. Відновлення хрому та інших елементів із оксидів хромової руди. Металотермічні процеси, фізико-хімічні засади металотермії. Методика розрахунку шихти та складання теплового балансу металотермічного процесу. Вакуумно-термічні процеси, фізико-хімічні засади. Вакуумна плавка та обробка рідких феросплавів під вакуумом. Азотовані феросплави. Фізико-хімічні основи взаємодії азоту з провідними елементами феросплавів у твердому та рідкому стані.

3. Металургійні печі

3.1. Устаткування печей

Пристрої спалювання газоподібного палива. Пальники без попереднього змішування, з покращеним змішуванням та з попереднім змішуванням. Радіаційні труби. Пристрої для спалювання рідкого палива, форсунки низького та високого тиску. Газомазутні пальники. Пристрої для утилізації тепла газів, що відходять. Регенеративні теплообмінники. Пристрій, тепла робота та розрахунок регенеративних теплообмінників. Випарне охолодження доменних, мартенівських та нагрівальних печей. Охолодження конвертерних газів.

3.2. Захист повітряного та водного басейнів від шкідливих викидів

Теоретичні основи та загальна характеристика газоочисних пристроїв.

Сухе механічне очищення газів; очищення газів фільтруванням; мокре очищення газів; електричне очищення газів. Очищення газів доменного та сталеплавильного виробництва. Очищення газів печей кольорової металургії.

3.3. Вогнетривкі матеріали

Вимоги до вогнетривких матеріалів, що застосовуються у печах чорної та кольорової металургії. Фізичні та робочі властивості вогнетривких матеріалів, що використовуються у металургійних печах.

3.4. Печі чорної металургії

Паливні печі. Шахтні печі. Гідродинаміка та теплообмін у щільному рухомому шарі. Поля швидкостей у шахтних печах при різних способах введення дуття: фурменному, щілинному та центральному. Полум'яні нагрівальні печі. Теплова робота нагрівальних печей. Особливості теплообміну у робочому просторі полум'яних печей. Схеми руху металу та продуктів згоряння. Тепловий та температурний режими роботи печей. Способи опалення та транспортування металу. Нагрівальні колодязі. Тепловий та температурний режими. Нагрів холодного та гарячого посада. Нагрів злитків з рідкою серцевиною; використання дуття, збагаченого киснем. Шлаковидалення та стійкість подини. Конструкції та режими роботи протитечійних печей. Вплив глісажних труб на теплову роботу печі. Рейтери. Особливості теплообміну та

математичний опис нагріву металу. Прямо протитечійні штовхальні печі. Печі з крокуючим подом (балками). Конструкції, режими роботи, особливості нагріву металу, математичний опис нагріву металу. Печі із кільцевим подом. Конструкції, тепловий та температурний режими, особливості теплообміну та нагрівання металу. Печі для швидкісного нагрівання металу. Фізичні основи швидкісного нагрівання металу, імпульсне нагрівання. Секційні печі та печі конвективного (ударного) нагріву.

Печі для темного термічного оброблення гарячекатаного прокату; садочні печі; печі з ланцюговим конвеєром та роликівим подом. Особливості теплообміну та нагріву металу. Печі з теплогенерацією за рахунок хімічної енергії рідкого чавуну.

3.5. Печі кольорової металургії

Паливні печі. Шахтні печі для плавки окислених нікелевих руд. Шахтні печі для свинцевого плавлення. Конструкція та особливості теплової роботи. Відбивні печі для плавки на штейні. Трубчасті обертові печі. Конструкції, тепловий та температурний режим. Нагрівальні печі. Конструкції, тепловий та температурний режим. Печі з повного чи частковою теплогенерацією за рахунок хімічної енергії сировинних матеріалів. Загальна характеристика процесів, що протікають при випалюванні сульфідів у киплячому шарі. Газодинамічний режим печей. Температурний та тепловий режими випалу сульфідних матеріалів. Час перебування матеріалу в киплячому шарі. Печі для випалення сульфідних матеріалів у киплячому шарі. Печі для випалу цинкових, мідних та молібденових концентратів. Конвертери заводів кольорової металургії. Конструкції, тепловий та температурний режим роботи. Печі для автогенної плавки мідних концентратів на штейн та чорнову мідь. Плавка у рідкій ванні.

4. Технологія виробництва кольорових та рідкісних металів

4.1. Технологія виробництва важких кольорових металів

Загальні принципи вилучення міді, нікелю, свинцю, цинку із руд та концентратів. Кінетика та механізм окислення сульфідів у твердому та рідкому стані. Дисоціація вищих сульфідів при нагріванні у нейтральній атмосфері. Основні стадії формування металургійних розплавів (шлаку, штейну). Продуктивність пірометалургійних агрегатів. Розподіл цінних компонентів між продуктами плавки. Способи вилучення сірки при пірометалургійній переробці сульфідної сировини. Поведінка рідкісних та розсіяних елементів в основних пірометалургічних процесах. Розподіл миш'яку за продуктами плавки. Коефіцієнт комплексності використання сировини у металургії міді, нікелю, свинцю, цинку.

4.2. Переробка мідних руд та концентратів

Різновиди відбивної плавки. Її питома вага у виробництві міді. Доцільність попереднього випалу концентратів перед плавкою. Переваги та недоліки переробки конвертерних шлаків у відбивній печі. Характеристика

штейнів, шлаків, газів. Тепловий ККД. Можливі способи утилізації тепла. Переробка штейнів на чорнову мідь. Поведінка його складових у I та II періоди конвертування. Тепловий та температурний режими процесу. Використання повітря, збагаченого киснем. Показники процесу. Автогенні процеси у металургії міді. їх переваги та недоліки. Вплив магнетиту на втрати міді зі шлаком у цих процесах. Розподіл сірки та металів-супутників за продуктами плавки. Вогневе та електролітичне рафінування міді. Теоретичні основи. Переробка анодних шлаків. Практика процесів. Гідрометалургія міді. Підготовка сировини до гідрометалургійної переробки. Хімізм основних реакцій вилуговування. Практика купчастого, бактеріального та автоклавного вилуговування.

4.3. Переробка нікелевих руд та концентратів

Способи підготовки окислених нікелевих руд до плавки у шахтних печах, їх переваги та недоліки. Реакції, що протікають по висоті шахти печі та у внутрішньому горні. Характеристика штейнів та шлаків шахтної плавки. Конвертування нікелевих штейнів. Поведінка кобальту. Сучасні методи переробки конвертерних шлаків з метою вилучення їх кобальту. їх переваги та недоліки. Переробка фінштейну до вогневого нікелю. Схема виробництва металургійного кобальту. Підготовка окислених нікелевих руд до плавки в електропечах на феронікелі. Теорія та практика плавки. Рафінування чорнового феронікелю. Техніко-економічні показники. Перспективи розвитку процесу. Гідрометалургійні та комбіновані способи комплексної переробки окислених та нікелевих руд (сегрегаційні, автоклавні, аміачно-карбонатні та ін.). Підготовка сульфідних руд та концентратів до плавки в електричних печах. Теорія та практика електроплавки. Техніко-економічні показники. Особливості конвертування мідно-нікелевих штейнів. Способи переробки мідного та нікелевого концентратів, отриманих при флотації фінштейну. Відмінності технологічної схеми виробництва кобальту при переробці сульфідної та окисленої сировини. Карбонільний процес одержання нікелю. Гідрометалургійні та комбіновані способи комплексної переробки сульфідних руд та концентратів. Методи одержання нікелю та кобальту з розчинів; електроліз, водневе відновлення. Поведінка селену, телуру та дорогоцінних металів за основними переділами технологічних схем. Основні засади переробки анодних шлаків електролізу нікелю. Переробка арсенідних руд, проблема виведення миш'яку.

4.4. Переробка свинцевих концентратів

Агломеруючий випал свинцевих концентратів. Теорія та практика. Відновлювальна плавка свинцевого агломерату. Хімізм процесу. Поведінка свинцю та металів-супутників при плавці. Техніко-економічні показники плавки. Рафінування чорнового свинцю та переробка напівпродуктів. Теорія та практика. Автогенні та гідрометалургійні способи переробки свинцевих концентратів. їх переваги та недоліки, перспективи застосування цінних металів-супутників у виробництві свинцю. Схеми попутного вилучення сірки та металів-супутників при переробці свинцевих концентратів.

4.5. Переробка цинкових концентратів

Порівняння ефективності піро- та гідрометалургійних методів отримання цинку. Випал цинкових концентратів. Пірометалургійні методи одержання цинку із недогарка. Електротермія цинку. Особливості виплавки цинку у шахтних печах. Рафінування чорного цинку. Гідрометалургія цинку. Вилуговування цинкових недогарків та очищення розчинів від домішок. Теоретичні засади цих процесів. Електроосадження цинку. Переробка напівпродуктів цинкового виробництва. Комплексне використання цинковмісної сировини.

4.6. Технологія виробництва золота, срібла та металів платинової групи Сучасний стан та основні етапи розвитку виробництва золота, срібла та металів платинової групи. Вилучення шляхетних металів амальгамацією.

Термодинаміка, механізм та кінетика взаємодії золота, срібла та металів платинової групи з ртуттю. Теоретичні основи та технологія процесу ціанування. Термодинаміка та кінетика процесу розчинення в ціаністих розчинах золота, срібла, телуридів золота, сірчистих та оксидних мінералів срібла. Термодинаміка та кінетика процесу осаження золота та срібла з ціаністих розчинів цинком та алюмінієм. Теоретичні основи процесу сорбції золота та срібла з ціаністих розчинів активованим вугіллям, іонно-обмінними смолами (аніонітами) та рідинною екстракцією органічними розчинниками. Спеціальні процеси переробки руд та концентратів складного складу. Афінаж золота, срібла та металів платинової групи. Теоретичні основи та технологія електролітичного афінажу золота та срібла. Хімія та технологія процесів афінажу платинового концентрату та методи отримання платини високої чистоти.

4.7. Технологія виробництва легких кольорових сплавів

Отримання магнію. Властивості та застосування магнію. Характеристика вихідних матеріалів. Теорія та технологія отримання безводного хлористого магнію. Зневоднення карналіту: отримання штучного карналіту, зневоднення в СКН, що обертаються, і печах. Застосування печей киплячого шару та хлораторів. Склад та фізико-хімічні властивості електролітів. Особливості кінетики електродних процесів. Гідродинаміка електрода та катодний вихід по струму. Вплив домішок та добавок в електроліт на катодний процес. Освіта шламу. Техніка електролітичного одержання магнію. Конструкція електролізерів. Порівняльна їхня характеристика. Отримання алюмінію. Властивості алюмінію та сплавів на його основі, масштаби виробництва та сфери застосування. Основні алюмінієві руди. Переробка бокситів гідрохімічним способом. Основна реакція Байера. Будова алюмінатних розчинів. Принципова технологічна схема методу Байера. Технологічні параметри основних переділів та характеристика обладнання. Отримання глинозему способом спікання із бокситів. Основні хімічні реакції при спіканні та вилуговуванні спеків. Принципова технологічна схема методу спікання. Комплексна переробка нефелінів. Характеристика нефелінів та нефеліноспенітових руд. Основні реакції при спіканні нефеліну з вапняком та

вилуговуванні. Принципова технологічна схема методу спікання. Основна апаратура. Характеристика алунітових руд. Основні реакції при переробці алунітових руд відновлювальним випалом із гілкою спікання. Принципова технологічна схема цього. Виробництво фтористих солей та електродів. Виробництво кріоліту кислотним способом: основні реакції, технологічна схема та апаратура. Виробництво електродів: вихідні матеріали, пресування, випалення «зелених» електродів, графітування. Теорія електролізу кріолітоглиноземних розплавів. Властивості та будова електро-літів та термодинаміка основних реакцій на електродах. Основні діаграми стану. Механізм катодного процесу, поведінка натрію в катодному розряді, катодний вихід струму. Анодний процес, склад анодних газів, зв'язок з катодним виходом по струму. Технологія електролітичного одержання алюмінію. Опис конструкції електролізерів та порівняння їх технічних даних. Технологія алюмінієвого електролізера. Характеристика основних зон в аноді; вимоги до пеків і коксів; основні процеси, які у різних зонах анода; баланс вуглецю. Енергетичні баланси елетролізерів, зв'язок між щільністю струму та питомими втратами тепла. Планування цехів електролізу та електролізних корпусів. Газовідсмоктувач та вентиляція, регенерація фторсолей. Електролітичне рафінування алюмінію. Властивості та застосування алюмінію високої чистоти. Теорія та технологія тришарового методу, шляхи її вдосконалення. Металургія вторинного алюмінію. Технологія підготовки брухту та відходів до плавки. Плавка алюмінію та його сплавів в електричних та полум'яних відбивних печах.

4.8. Технологія виробництва рідкісних та радіоактивних металів

Тугоплавкі рідкісні метали. Вольфрам та молібден. Фізико-хімічні основи пірометалургійних та гідрометалургійних способів розкладання рудних концентратів, їх критичне зіставлення, нові напрямки технології. Використання іонообмінних та екстракційних процесів у гідрометалургії вольфраму та молібдену. Схеми комплексної переробки вольфрам-молібденових концентратів. Способи відокремлення молібдену від вольфраму. Попутне вилучення ренію під час переробки молібденових концентратів. Технологія переробки вторинної вольфрамкової та молібденової сировини. Термодинаміка, кінетика та механізм відновлення триоксидів вольфраму та молібдену воднем, практика процесу. Основи виробництва компактних вольфраму та молібдену методом порошкової металургії та плавкою (дуговий, електронно-променевий). Варіанти процесів отримання вольфраму та молібдену відновленням галогенідів. Тантал та ніобій. Огляд та зіставлення способів розкладання рудних концентратів різного типу (танталіт-колумбіт, лопарит, пірохлор). Фізико-хімічні засади процесів. Зіставлення хлорної та сульфатної технології комплексної переробки лопариту.

Основи способів поділу танталу та ніобію. Огляд та зіставлення способів виробництва танталу та ніобію. Фізико-хімічні основи металотермічного, карботермічного та електролітичного способів. Отримання танталу та ніобію відновленням хлоридів. Фізико-хімічні основи різних способів виробництва компактних танталу та ніобію. Титан, цирконій та гафній. Основи сучасної технології виробництва чотирихлористого титану. Огляд та зіставлення

способів одержання штучного рутила з концентрацій ільменіту. Фізико-хімічні основи способів розтину цирконієвих концентратів. Обґрунтування вибору способу розтину залежно від кінцевих продуктів. Способи поділу цирконію та гафнію. Комплексне використання титанової та цирконієвої сировини. Фізико-хімічні властивості та практика магнійтермічного способу виробництва титану та цирконію з цих хлоридів. Варіанти натрійтермічного відновлення чотирихлористого титану. Зіставлення магнійтермічного та натрійтермічного процесів. Електролітичний спосіб одержання цирконію. Електролітичне рафінування титану. Основи йодидного способу рафінування титану та цирконію. Виробництво компактних титану та цирконію методом плавки. Порошкова металургія титану та цирконію. Розсіяні рідкісні метали Загальна характеристика розсіяних рідкісних металів, джерел їх одержання. Технологія попутного вилучення галію у виробництві глинозему, індію при переробці сульфідної сировини кольорових металів, германію при переробці мідної сировини та вугілля, ренію у виробництві міді та молібдену. Рідкоземельні та радіоактивні метали. Основи процесів отримання рідкісноземельних металів високої чистоти. Варіанти технологічних схем переробки моноцитових концентратів з отриманням сполук рідкісноземельних металів та торію. Технологія переробки інших видів рідкісноземельної сировини. Основи способів поділу рідкісноземельних металів та торію. Основи та апаратура процесів вилуговування урану з рудної сировини для їх здійснення. Іонообмінні та екстракційні способи вилучення та концентрування урану в розчинах, виділення чистих сполук. Основи технології виробництва урану металотермічними методами Плавка урану. Вимоги до чистоти урану, що використовується в атомній техніці. Легкі рідкісні метали. Берилій. Фізико-хімічні основи технології переробки берилієвих концентратів за сульфатною та фторидною схемами. Способи одержання чистого оксиду берилію та галогенідів берилію. Металотермічні та електротермічні способи одержання берилію, дистиляційні та електролітичні процеси його рафінування. Виробництво компактного берилію. Літій. Основи технології виробництва сполук літію з літієвих концентратів. Фізико-хімічні основи процесів одержання літію електролізом, вакуум-термічним способом. Способи рафінування літію.

4.9. Обробка металів тиском

Теорія обробки металів тиском: Природа пластичного деформування. Холодна та гаряча пластична деформація. Поняття про процес нагартування та рекристалізації. Вплив температури на процес деформування. Вплив швидкості деформації на процес деформування. Умова сталості об'єму. Нормальні та дотичні напруження в металі. Компоненти деформації, ступінь та швидкість деформації. Умови пластичності. Механічна схема деформації. Методи визначення зусилля та роботи деформації.

Технологія обробки металів тиском: Класифікація методів обробки металів тиском. Режим нагрівання металу перед обробкою тиском. Нагрівальне обладнання прокатних цехів. Нагрівальне обладнання ковальських цехів. Сортамент прокатної продукції. Технологія обтискного виробництва.

Технологія прокатування сортових профілів. Технологія прокатування листів та штаб. Головне обладнання прокатних станів. Допоміжне обладнання прокатних станів. Пресування, призначення процесу, види продукції. Технологія пресування профілів. Волочіння, призначення та види продукції. Інструмент для волочіння. Обладнання для волочіння. Вільне кування, призначення та продукція. Операції вільного кування. Технологія вільного кування типових деталей. Гаряче об'ємне штампування, призначення, виробу. Види об'ємного штампування. Особливості штампування на молотах. Особливості штампування на кривошипних пресах. Листове штампування, призначення, види продукції. Розподільні операції листового штампування. Формозмінні операції листового штампування.

IV. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

Основна

1. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. *Металургія чавуну*. Київ: Вища школа, 1988. 351с.
2. Величко О.Г., Стоянов О.М, Бойченко Б.М., Нізяєв К.Г *Технології підвищення якості сталі*. Дніпропетровськ: Середняк Т.К., 2016. 196 с.
3. Синегін Є.В., Нізяєв К.Г., Стоянов О.М., Герасименко В.Г., Журавльова С.В., Молчанов Л.С. *Технології обробки сталі у передкристалізаційний період при безперервному розливанні*. Дніпро: Середняк Т.К., 2021. 99 с.
4. Чуванов О.П., Мамешин В.С., Гриценко А.С. та ін. *Технологія розливки сталі*. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. 186 с.
5. Григор'єв С.М., Бехтер Р.В., Скачков В.О., Карпенко Г.В. *Металургія легуючих та жароміцних сплавів на основі тугоплавких елементів*. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. 350 с.
6. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. *Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія* Дніпропетровськ: Дніпро-ВАЛ, 2004. 454 с.
7. Turkary R.H., Turkary V.R. *Modern Steel Making Handbook* Mercury Learning & Information, 2017. 660 p.
8. Смирнов А.Н., Пилюшенко В.Л., Минаєв А.А. *Процеси безперервного розливання*. Донецьк: ДОННТУ, 2009. 536 с.
9. Харлашин П. С. *Основи термодинаміки і кінетики сучасних сталеплавильних процесів : підручник для ВУЗів*. Маріуполь, 2012 340 с.
10. Серєда Б. П., Кругляк І. В., Коваленко А. К. *Обробка тиском порошкових матеріалів : навч.-метод. посіб.* Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 110 с.
11. *Металургія кольорових металів : навчальний посібник для вищих навчальних закладів / Рабинович О.В., Садовник Ю.В., Ігнат'єв В.С., Трегубенко Г.М., Бубликов Ю.О.* НМетАУ. Дніпро : Видавництво, 2009. 154 с.
12. Скачков В.О., Кравченко І.Ф., Григор'єв С.М., Карпенко Г.В. *Структура, властивості та технології високотемпературних композиційних матеріалів*. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2025. 270 с.
13. Серєда Б. П., Кругляк І. В., Белоконь Ю. О. *Конструкції агрегатів*

цехів обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 166 с.

14. Червоний І.Ф., Маняк М.О., Рабинович О.В., Колобов Г.О. Металургія кольорових металів : навчальний посібник. Запорожжя : Видавництво ЗДІА, 2009. 137 с.

15. Металургія кольорових металів, ч. 1. Сировинні ресурси і виробництво : підручник для вузів. Під ред. Червоного І.Ф. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2008. 334 с.

16. Охотський В.Б., Симонов В.К. Костьолов О.Л. Теорія металургійних процесів. Київ : ІЗМН, 2007. 512 с.

17. Григор'єв С.М., Скачков В.О., Бережна О.Р. Порошкова металургія легуючих та композиційних матеріалів. Запоріжжя : ЗНУ, 2017. 738 с.

18. Данченко В. М., Грінкевич В. О., Головка О. М. Теорія процесів обробки металів тиском : підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2008. 370 с. ISBN 978-966-525-968-8.

19. Серeda Б. П. Белоконь Ю. О. Онiщенко А. М. Теорія обробки металів тиском : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 129 с.

20. Василев Я. Д., Мінаєв О. А. Теорія поздовжньої прокатки : підручник. Донецьк: УНІТЕХ, 2009. 488 с. ISBN 978-966-525-968-8.

21. Серeda Б. П. Обробка металів тиском : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2009. 344 с. ISBN 978-966-8462-11-5.

22. Серeda Б. П. Прокатне виробництво : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 312 с. ISBN 978-966-7101-96-1.

23. Серeda Б. П., Прицип М. Г., Кругляк І. В., Васильченко Т. О. Прокатка листів та штаб : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 182 с.

Додаткова

1. Рябічева Л.О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля. 2013. 356 с.

2. Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І., Дробязко В.М., Кочешков А.С., Ямшинський М.М.. Теоретичні основи ливарного виробництва. Харків : НТУ «ХП», 2011. 288 с.

3. Белоконь Ю. О., Чейлитко А. О., Ільїн С. В., Воденнікова О. С. Теоретичні засади термохімічного пресування матеріалів спеціального призначення : монографія. Одеса : Гельветика, 2022. 148с.

4. Беспалов С.В. Ливарне виробництво : навчальний посібник для ВНЗ. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 120 с.

5. Макаревич О.П., Федоров Г.Є., Платонов Є.О. Виробництво виливків із спеціальних сталей. Київ: Видавництво НТУУ «КПІ», 2005. 712 с.

6. Сплави на основі заліза : підручник для студентів вищих навчальних закладів : у 2 томах / В.І. Мазур, І.З. Куцова, О.А. Носко, М.А. Ковзель; за загальною редакцією В.І. Мазура; науковий редактор С.О. Фірстов; Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". Київ : Політехніка, 2015. 272 с.

7. Смірнов О.М., Зборщик О.М. Позапічне рафінування чавуну і сталі

: навчальний посібник. Донецьк : Вид-во "Ноулідж", Донецьке відділення, 2012. 179 с.: іл.

8. Більченко О.В., Дудка О.І., Хижняк В.Г., Чернега С.М. Леговані сталі : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Київ: Кондор, 2009. 96 с.

9. Марченко С. В., Гапонова О. П., Говорун Т. П., Харченко Н. А. Технологія конструкційних матеріалів : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2016. 146 с.

10. Science and Technology of Casting Processes / edited by Malur Srinivasan. Rijeka : InTech, 2012. 350 p.

Голова фахової
атестаційної комісії



Віктор СКАЧКОВ