

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**з виконання практичних робіт**  
**з навчальної дисципліни “ Технології одержання металів та**  
**сплавів для ливарного виробництва”**  
для студентів денної та заочної форми навчання  
за спеціальністю G10 “Металургія”

Затверджено редакційно–  
видавничою радою університету, протокол  
№ 2 від 26.06.2025 р.

Харків  
НТУ «ХП»  
2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва» для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр / Уклад. : Берлізева Т. В. – Харків: НТУ «ХП», 2025. – 34 с.

Укладач: Берлізева Т. В.

Рецензент: Акімов О. В.

Кафедра ливарного виробництва

## **ВСТУП**

Методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю G10 “Металургія” рівня магістр.

Практичні роботи являють собою невеликі дослідження, що дозволяють студентам більш детально ознайомитися з технологіями одержання металів та сплавів для ливарного виробництва.

Кожна практична робота містить перелік матеріалів, короткий виклад теоретичних відомостей і методів одержання, порядок виконання, що допомагає студентам правильно і усвідомлено виконати практичну частину роботи і зробити висновки.

Мета методичних вказівок – допомогти студентам більш глибоко вивчити основні види одержання металів та сплавів у ливарному виробництві, розвинути навички самостійної роботи та наукового дослідження.

## Практична робота № 1. ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ ЧАВУНУ

**Мета роботи** – Ознайомитися з основними етапами та принципами технології виплавки чавуну в доменній печі, вагранках та індукційних печах.

### 1.1. Загальні положення

**Чавун** – це сплав заліза з вуглецем (вміст вуглецю становить від 2,14% до 6,67%), а також з іншими постійними домішками, такими як кремній (Si), марганець (Mn), фосфор (P) та сірка (S). Чавун є одним з найважливіших інженерних матеріалів, широко використовується в машинобудуванні, будівництві, ливарному виробництві та як сировина для виплавки сталі.

Існує кілька основних технологій виготовлення чавуну, залежно від вихідної сировини та бажаного кінцевого продукту. Основними є:

- Виробництво чавуну з руди (первинний чавун): Головним чином, у доменних печах.
- Переплавка чавунного та сталевого брухту (вторинний, або синтетичний чавун): У вагранках або електричних печах (зокрема, індукційних).

### 1.2. Доменний процес

Виробництво чавуну відбувається у спеціальних металургійних агрегатах — **доменних печах**. Це високі шахтні печі безперервної дії, де здійснюється відновлення заліза з руди.

Утворення чавуну в доменній печі починається при порівняно низьких температурах у результаті розчинення вуглецю у відновленому залізі. При низьких температурах залізо знаходиться в твердому стані, і взаємодія його з активним вуглецем, який утворюється з газової фази та коксом, відбувається дуже повільно через малий контакт між реагентами.

Загальний вигляд доменної печі для одержання чавуну, наведено на рис. 1.1.

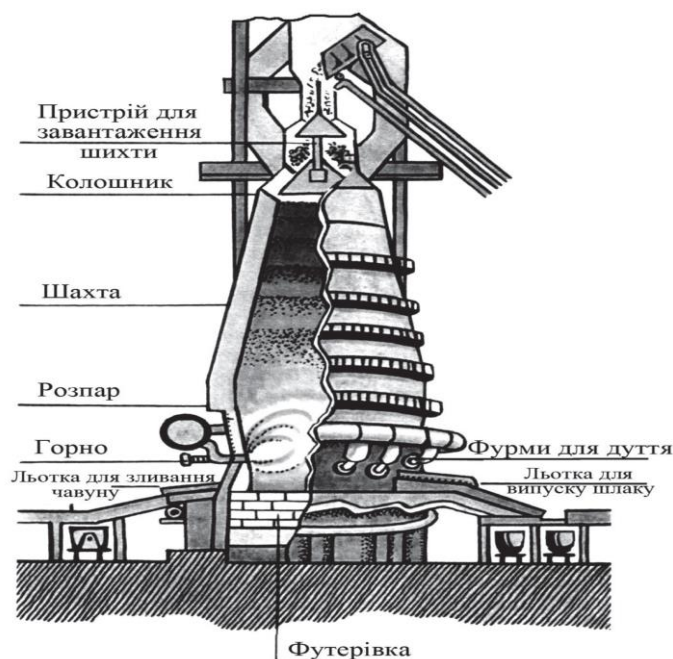


Рис. 1.1. Загальний вигляд доменної печі

### Основні сировинні матеріали для виплавки чавуну:

1. **Залізна руда:** Основне джерело заліза. Використовують різні види руд (магнетит, гематит, лімоніт, сидерит). Перед подачею в піч руду збагачують та агломерують або окатковують для покращення її властивостей.
2. **Кокс:** Служить паливом (джерелом тепла) та відновником оксидів заліза.
3. **Флюси:** Додаються для утворення легкоплавких шлаків, які зв'язують пусту породу руди та золу коксу, а також видаляють шкідливі домішки (сірка, фосфор). Найчастіше використовують вапняк ( $\text{CaCO}_3$ ).

У процесі доменної плавки одержують рідкий чавун, шлак та колошниковий газ. У доменних печах виплавляють три типи чавунів: переробний чавун, із якого виготовляють сталь; ливарний чавун, що використовують для виробництва литих виробів; феросплави, які використовують у сталеплавильних цехах.

### Принцип роботи доменної печі:

У доменній печі відбувається складний фізико-хімічний процес, що включає:

- **Горіння коксу:** В нижній частині печі (горні) через фурми подається гаряче повітря (іноді збагачене киснем), що сприяє горінню коксу.
- **Відновлення заліза:** У верхній частині печі (колошнику) завантажуються шихта (руда, кокс, флюси). Під дією високих температур та

відновлювальних газів (CO, H<sub>2</sub>) оксиди заліза відновлюються до металевого заліза.

- Шлакоутворення: Флюси взаємодіють з пустою породою руди та золю коксу, утворюючи легкоплавкий шлак, який збирається над розплавленим чавуном.

- Отримання рідкого чавуну: Розплавлений чавун та шлак збираються в горні печі, звідки періодично випускаються через льотки.

Переріз доменної печі та процеси, що відбуваються в ній наведено на рис. 1.2.

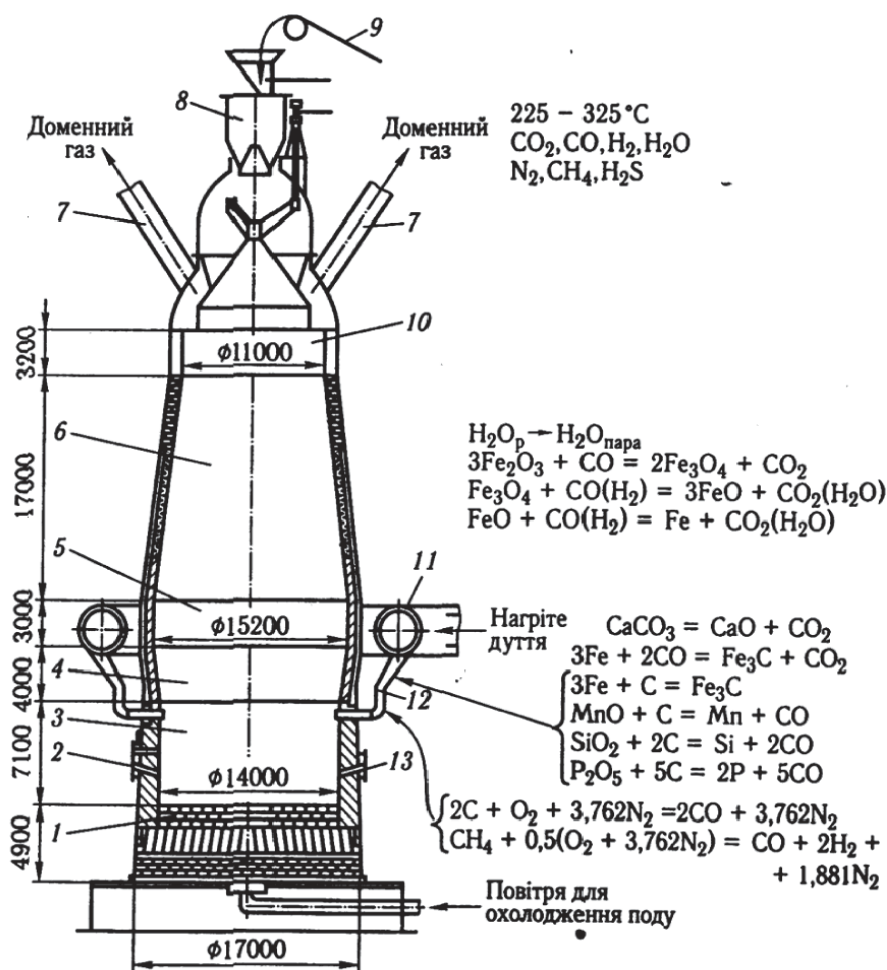


Рис. 1.2. Переріз доменної печі об'ємом 3000 м<sup>3</sup> та процеси, що відбуваються в ній:

1 – под печі; 2 – льотка для чавуну; 3 – горно; 4 – заплечики; 5 – розпар; 6 – шахта; 7 – газоходи; 8 – пристрій для завантаження шихти у піч; 9 – конвеєр; 10 – колошник; 11 – повітропровід; 12 – фурмовий пристрій; 13 – льотка для зливання шлаку.

### 1.3. Технологія плавки чавуну у вагранках

Вагранка – це один із найстаріших і найпоширеніших агрегатів для переплавки чавунного та сталевих брухту, ливників та інших шихтових матеріалів для отримання рідкого чавуну для ливарного виробництва. На відміну від доменної печі, яка виробляє чавун з руди, вагранка призначена для переплавки вже існуючого металевих брухту. За типом палива, яке використовується при одержанні чавуну, вагранки поділяють на коксові, коксогазові та газові.

Вагранка – це шахтна піч безперервної дії, у якій шихта рухається назустріч потоку гарячих газів. Зверху в колошникове вікно завантажують шихту, що складається з металічних, паливних і флюсових матеріалів, які подають по черзі. Через фурму знизу подають повітря для горіння палива. При цьому плавлення шихти відбувається вище фурм у плавильному поясі, а нижче розміщується шар палива, який називають холостою калошею. Чавун краплями стікає в спеціально виконаний горн (копильник), звідки випускається через льотку по жолобу в ковш.

Схему коксової вагранки наведено на рис. 1.3.

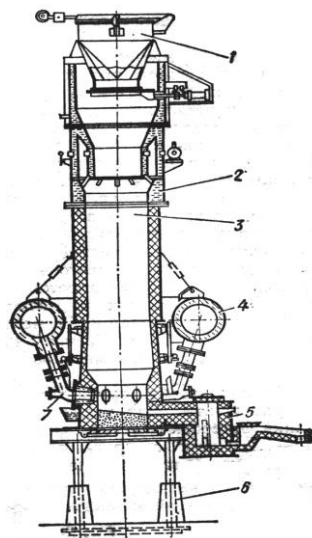


Рис. 1.3. Схема коксової вагранки:

1 – завантажувальний пристрій;  
2 – водоохолоджуваний колошниковий пристрій з боковим відведенням газів;

3 – шахта;

4 – повітряний колектор;

5 – пристрій для затримання шлаку; 6 – опора; 7 – фурми.

Для плавки чавуну у вагранках використовують такі матеріали:

- **Металева шихта:**
  - **Чавунний брукт:** Основний компонент (ливники, чавунні виливки, відходи металообробки).
  - **Сталевий брукт:** Додається для зниження вмісту вуглецю та кремнію в чавуні.
  - **Відходи власного виробництва:** Лимники, брак лиття.
- **Паливо:**
  - **Кокс:** Основне паливо для вагранок. Забезпечує необхідну температуру для плавлення металу, а також є джерелом вуглецю для розплаву.
- **Флюси:**
  - **Вапняк ( $\text{CaCO}_3$ ):** Найчастіше використовується для зв'язування пустої породи та золи коксу, утворення легкоплавкого шлаку та видалення шкідливих домішок (особливо сірки).
  - **Плавиловий шпат ( $\text{CaF}_2$ ):** Може додаватися для покращення текучості шлаку.
- **Феросплави:** Додаються для легування чавуну (введення кремнію, марганцю, хрому, нікелю тощо) та коригування хімічного складу.

### **Процес плавки у вагранці складається з кількох етапів:**

**Підготовка вагранки до плавки:**

- **Ремонт футерівки:** Якщо необхідно, проводиться ремонт вогнетривкої футерівки.
- **Закриття днища:** Перед початком плавки днище вагранки закривається.
- **Розпалювання:** За допомогою дров або газу розпалюється кокс, що знаходиться на днищі (холоста колоша). Кокс розігрівається до високої температури (близько  $1500^\circ\text{C}$ ).

**Завантаження шихти:**

- Після розігріву вагранки завантажується шихта шарами: спочатку холоста колоша коксу (для початкового прогріву та підтримки стовпа шихти), потім шари металевої шихти, робоча паливна колоша коксу і флюси. Цей процес повторюється безперервно, у міру опускання рівня шихти в печі.

**Подача дуття:**

- Після завантаження шихти вмикається дуття (подача гарячого повітря) через фурми. Повітря сприяє інтенсивному горінню коксу.

**Процес плавлення:**



- Внаслідок горіння коксу утворюються гарячі гази, які піднімаються вгору по шахті, нагріваючи шихту.
- Металева шихта плавиться в зоні плавлення (розпарі), а рідкий метал стікає в горно.
- Флюси взаємодіють з пустою породою шихти та золою коксу, утворюючи рідкий шлак, який спливає на поверхню розплавленого чавуну в горні.

Випуск чавуну та шлаку:

- Рідкий чавун і шлак періодично або безперервно випускаються через відповідні льотки в розливальні ковші або ємності. Шлак зливається через шлакову льотку, розташовану вище чавунної.

Завершення плавки:

- Після закінчення плавки припиняється завантаження шихти та подача дуття. Днище вагранки відкривається для видалення залишків шлаку та коксу.

Незважаючи на деякі недоліки, вагранки залишаються важливим плавильним агрегатом у ливарному виробництві, особливо для отримання сірих та ковких чавунів, а також у невеликих ливарних цехах завдяки їхній простоті та економічності. З розвитком технологій вагранки часто замінюються або доповнюються електричними індукційними печами, які забезпечують кращий контроль за хімічним складом та екологічними показниками.

#### **1.4. Процес одержання чавуну в індукційних печах**

Сучасне ливарне виробництво все більше покладається на індукційні печі для виплавки чавуну. Ці печі використовують електромагнітне поле для нагрівання та плавлення металу, що забезпечує високу ефективність, чистоту металу та точний контроль над хімічним складом.

Існуючі типи індукційних печей відрізняються:

– конструктивно – тигельні: найбільш поширені для плавки чавуну (рис.1.4.)

або каналні: використовуються переважно для витримки та доведення металу, рідше для первинної плавки. У них розплав циркулює в каналі, що оточує індуктор;

– за частотою електричного струму – промислової (50 Гц), підвищеної (150–450 Гц), середньої (до 10000 Гц) та високої (понад 10000 Гц) частоти.

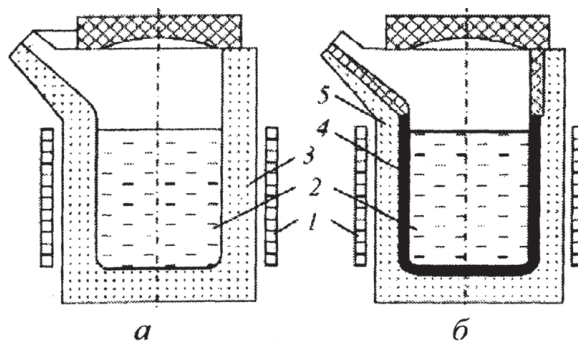


Рис. 1.4. Схема індукційних печей із тиглями з різних матеріалів:

1 – індуктор; 2 – металевий розплав; 3 – тигель з вогнетривкого матеріалу; 4 – тигель з електропровідного матеріалу; 5 – теплоізоляція.

Принцип роботи індукційної печі:

В основі роботи індукційної печі лежить принцип електромагнітної індукції, подібний до роботи трансформатора.

- Індукційна котушка: Основний елемент печі – це індукційна котушка, виготовлена з мідної трубки, через яку циркулює вода для охолодження. Ця котушка підключається до джерела змінного струму (як правило, середньої або високої частоти).

- Створення магнітного поля: Коли через індукційну котушку проходить змінний електричний струм, навколо неї створюється потужне змінне магнітне поле.

- Вихрові струми: Це магнітне поле проникає в металеву шихту, завантажену в тигель, що знаходиться всередині котушки. У провідному металі індукуються (виникають) електричні струми, які називаються вихровими струмами (струмами Фуко).

- Нагрівання та плавлення: Оскільки метал має електричний опір, проходження цих вихрових струмів викликає його інтенсивне нагрівання за рахунок ефекту Джоуля–Ленца (виділення тепла при проходженні електричного струму через провідник). Метал розігрівається до температури плавлення, а потім і перегріву.

В індукційних печах щільність струму досягає максимуму на поверхні металу біля стінок тигля та знижується у напрямку до центру. У поверхневому шарі виділяється найбільша кількість теплоти. Між глибиною проникнення струму в ванну або шихтовий матеріал і частотою струму існує така залежність:

$$\delta = \frac{5,03 \cdot \rho}{\mu \cdot f} \quad (1.1)$$

де  $\rho$  — питомий опір шихти, Ом·м;  
 $\mu$  — магнітна проникність шихти, Гн·М;  
 $f$  — частота струму, Гц.

Видно, що, чим вища частота, тим менша глибина проникнення струму і більш нерівномірний прогрів шихти, що негативно впливає на стійкість футерівки і швидкість розплавлення металу. Недоліком індукційних печей є низька активність шлаку, оскільки він нагрівається тільки металом, який плавлять.

Не дивлячись на недоліки, індукційні печі сьогодні є пріоритетним вибором для виробництва високоякісного ливарного чавуну, особливо в умовах, де потрібен точний контроль над складом та структурою металу.

### **1.5. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними принципами роботи, будовою та технологічними особливостями доменних печей, вагранок та індукційних печей для виплавки чавуну.

2. Для кожного типу печі визначте, яка сировина є основною і яка її роль.

3. Теоретична підготовка та ознайомлення з кожною технологією виплавки чавуну.

4. Навчитися порівнювати ці технології за такими критеріями, як сировина, хімічні процеси, енергоспоживання, якість продукції, екологічність та економічність.

5. Розвинути навички аналізу, систематизації інформації та прийняття обґрунтованих рішень щодо вибору технології для конкретних потреб.

### **1.6 Зміст звіту практичної роботи**

1. Тема і мета роботи.

2. Перелік матеріалів та обладнання.

3. Короткий опис кожної технології: принцип роботи, будова, основна сировина.

4. Аналіз ситуацій при виборі той чи іншої технології виплавки чавуну:

- Опис ситуації.
- Обраний тип печі.

- Детальне обґрунтування вибору.
- Можливі недоліки та шляхи їх подолання.

5. Загальні висновки про важливість розуміння різних технологій виплавки чавуну та їхнього місця в сучасній металургії.

### **Питання для самоперевірки**

1. З якими технологіями виплавки чавуну ви ознайомились?
2. Доменна піч принцип роботи та її будова?
3. Основні сировинні матеріали для виплавки чавуну в доменних пічах?
4. Будова коксової вагранки?
5. Який процес плавки чавуну у вагранці?
6. Які бувають типи індукційних печей для плавки чавуну?

## Практична робота 2. ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ

**Мета роботи** – закріпити теоретичні знання з основних технологій виплавки сталі (киснево–конвертерний процес, електродуговий процес).

Розуміти принципи вторинної металургії та її значення для отримання якісної сталі.

### 2.1. Загальні відомості

Сталь є сплавом заліза з вуглецем (до 2,14%) та іншими елементами. Основним завданням сталеплавильного виробництва є видалення з чавуну та/або металобрухту надлишку вуглецю, кремнію, марганцю, фосфору, сірки та інших небажаних домішок, а також надання металу необхідного хімічного складу шляхом легування та рафінування.

Суть процесу переробки чавуну на сталь полягає у зменшенні до потрібної концентрації вмісту вуглецю і шкідливих домішок у металі — фосфору та сірки, присутність яких підвищують крихкість і ламкість останньої.

Фізичні властивості сталей такі: густина  $\rho \sim 7860 \text{ кг/м}^3$ ; коефіцієнт теплового лінійного розширення  $\alpha = (11-13) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ; коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$ ; модуль Юнга  $G = 210 \text{ ГПа}$ ; питомий опір (при  $20^\circ\text{C}$  та вмісті 0,37-0,42% вуглецю в сталі)  $= 1,71 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Фізико-механічні властивості сталей залежать від їх складу та структури:

- при збільшенні концентрації вуглецю зростає твердість і міцність сталі, але при цьому пластичність зменшується;
- кремній і марганець у межах (0,5-0,7)% істотно не впливають на властивості сталі;
- сірка є шкідливою домішкою, що утворює з залізом хімічну сполуку FeS (сірчисте залізо). Цей сульфід утворює із залізом евтектику з температурою плавлення  $985^\circ\text{C}$ , яка обумовлює червоноламкість і крихкість сталі при підвищених температурах та обробці тиском. Указана евтектика при термічній обробці розплавляється, у результаті чого між зернами втрачається зв'язок і утворюються тріщини. Крім цього, сірка зменшує пластичність і міцність сталі, стійкість до зношування та корозії;
- фосфор надає сталі холодноламкість (крихкість при понижених температурах). Це пояснюється тим, що фосфор спричиняє сильну внутрішньокристалічну ліквідацію (нерівномірний розподіл по об'єму зерна в

сталі);

- цементит — карбід заліза ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) надає сталі твердості та крихкості;
- ферит — залізо з об'ємноцентрованою кристалічною ґраткою і сплави на його основі мають високі пластичні характеристики;
- перліт — евтектоїдна суміш двох фаз — фериту й цементиту. Перліт містить 1/8 цементиту і тому має підвищену міцність і твердість порівняно з феритом. У зв'язку з цим доевтектоїдні сталі мають більшу пластичність, ніж заевтектоїдні.

Для покращення механічних та інших характеристик сталей застосовують легування шляхом розчинення визначених елементів у фериті та аустеніті. Легувальні елементи можуть підвищувати стійкість проти корозії, теплостійкість, жаростійкість (окалиностійкість), жароміцність та ін. Такі елементи, як хром, марганець, молібден, вольфрам, ванадій, титан утворюють в сталі карбіди. Нікель, кремній, алюміній таких сполук у розплаві не утворюють. При значній кількості легувальних елементів може суттєво змінюватися структура литого металу порівняно з вуглецевими сталями.

Основними промисловими способами виплавки сталі є:

• **Киснево–конвертерний процес (КК):** Переробка рідкого чавуну в сталь шляхом продувки киснем. Використовується як основний метод на інтегрованих металургійних комбінатах.

• **Електродуговий процес (ЕДП):** Виплавка сталі переважно з металобрухту за допомогою електричної дуги. Забезпечує високу гнучкість у виробництві різних марок сталі.

## 2.2. Конвертерне виробництво сталі

Конвертерний процес є домінуючим методом виробництва сталі у світі, відповідаючи за понад 70% світового обсягу. Він є ключовою ланкою в інтегрованих металургійних комбінатах, де основною сировиною є рідкий чавун, отриманий у доменних печах.

Суть конвертерних процесів полягає в наступному. У конвертер заливають чавун і продувають його знизу повітрям, кисень якого окислює складові в розплаві, у першу чергу – вуглець. Теплота, що виділяється під час окиснення компонентів чавуну, забезпечує нагрівання металу до температури близько 1600°C.

Конвертер – це грушоподібна футерована ємність зі сталевим корпусом. Конвертер складається з нижньої конічної, середньої циліндричної та верхньої частини у формі зрізаного конуса. Зверху конвертер має отвір – горловину, через яку заливають чавун та випускають сталь. Знизу до корпуса конвертера прикріплене днище з трубою для подачі повітря (рис. 2.1).

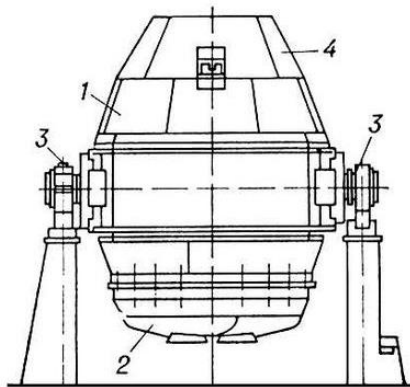


Рис. 2.1. Схема кисневого конвертера:

1 – корпус; 2 – днище; 3 – опорні цапфи; 4 – горловина

Технологія плавки полягає в наступному. У повалений (горизонтально розташований) конвертер завантажують брухт, а потім заливають рідкий чавун, який підвозять до конвертера в спеціальних ковшах. Після цього конвертер повертають у вертикальне положення і в його порожнину вводять кисневу фурму. На початку продувки в конвертер подають перші порції шлакоутворювальних матеріалів (вапна, бокситу або плавикового шпату). Тривалість кисневої продувки залежить від її інтенсивності та місткості конвертера й складає 12–30 хв. Після продувки кисневу фурму піднімають угору й повертають конвертер у горизонтальне положення. За результатами аналізу металу і його температури приймають рішення про випускання з конвертера сталі, або проведення коригуючих операцій (додаткова продувка та введення необхідних матеріалів) для одержання певного її складу. Загальна тривалість киснево–конвертерної плавки сталі складає 30–55 хв.

Шлакоутворення – найважливіша складова в технології конвертерної плавки. Саме шлак визначає ефективність процесу десульфурації й дефосфорації металу. При цьому шлак негативно впливає на стійкість футерівки в конвертері. Раннє утворення активного основного шлаку значно зменшує винос й викиди металу з конвертера.

### **Переваги конвертерного процесу**

- **Висока продуктивність:** Короткий час плавки (15–20 хвилин на продувку), що забезпечує великі обсяги виробництва.
- **Низькі капітальні та експлуатаційні витрати** порівняно з іншими методами виробництва сталі з первинної сировини.
- **Ефективне видалення домішок:** Особливо кремнію, марганцю, вуглецю та фосфору.
- **Енергоефективність:** Процес є автогенним, тобто екзотермічні реакції окислення домішок генерують достатньо тепла для підтримки високої температури без додаткового зовнішнього нагріву.
- **Можливість використання металобрухту** як охолоджувача та вторинної сировини.

### **Недоліки та сучасні тенденції**

- **Низька гнучкість** щодо використання брухту: Через автогенність процесу, кількість брухту обмежена.
- **Відносно високий вміст азоту:** Кисень, хоч і високої чистоти, все ж містить сліди азоту, що може потрапляти в сталь.
- **Екологічні аспекти:** Значні викиди газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) та пилу, що вимагає ефективних систем газоочищення.

Сучасні конвертерні цехи активно впроваджують технології вторинної металургії (позапічної обробки), щоб довести сталь до точного хімічного складу, видалити гази (водень, азот) та неметалеві включення, підвищити чистоту та якість сталі. Це робить конвертерний процес ще більш універсальним та ефективним.

## **2.3. Виплавка сталі в електропечах**

Виплавка сталі в електричних печах є одним з ключових напрямків сучасної металургії, особливо для виробництва високоякісних легованих та спеціальних сталей, а також для переробки металобрухту. Існує кілька типів електропечей, але найпоширенішими є електродугові печі (ЕДП) та індукційні печі.

В ЕДП тепло для плавлення металу генерується електричними дугами, які виникають між графітовими електродами та металевою шихтою (або між самими електродами, якщо піч є непрямої дії, що рідше застосовується для сталі). Це забезпечує дуже високі температури, що дозволяє плавити металобрухт і доводити склад сталі з високою точністю.



Основною складовою шихти в електроплавильних агрегатах є сталевий брухт (75–100)%. Брухт повинен бути не дуже окисненим, без іржі, не містити домішок кольорових металів. Кількість нікелю та міді в брухті повинна бути мінімальною, а фосфору – не перевищувати 0,05%.

Шлакоутворювальними матеріалами в основних електричних печах є вапно, вапняк, плавиковий шпат, боксит, шамотний бій. У кислих агрегатах використовують кварцовий пісок, шамотний бій, вапно. В якості окисників у цих печах застосовують залізну руду, окалину, агломерат, залізорудні окатиші, газоподібний кисень.

Плавку сталі в основній дуговій електропечі проводять одним із двох способів:

- із повним окисненням металу та використанням свіжих шихти й легувальних елементів;

- переплавом легованих відходів без окислення або з частковим окисненням розплаву газоподібним киснем.

При плавці сталі першим способом в окисний період у дугову піч подають залізну руду або вводять газоподібний кисень. При одержанні сталі за другим способом окиснення металу в деяких випадках не проводять, а використовують нетривалу продувку розплаву газоподібним киснем.

ЕДП є основними агрегатами для виробництва спеціальних та високоякісних сталей, таких як нержавіючі, інструментальні, жароміцні сплави, а також для великомасштабної переробки металобрухту. Вони є центральним елементом "міні-заводів", які виробляють сталь без інтеграції з доменним виробництвом.

Індукційні печі нагрівають метал за рахунок вихрових струмів, що індукуються в ньому змінним магнітним полем. Метал поміщається в керамічний тигель, який знаходиться всередині мідної індукційної котушки. Через котушку пропускається змінний струм високої частоти, який створює магнітне поле. Це поле індукує вихрові струми безпосередньо в металі, які, долаючи електричний опір металу, виділяють тепло і плавлять його.

Індукційні печі частіше використовуються для виплавки легованих сталей невеликими партіями, у ливарному виробництві, для отримання сплавів з особливими властивостями, де потрібна висока чистота та точний хімічний склад, а також для плавлення чавуну.

## **2.4. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними технологіями виробництва сталі.
2. Ознайомитися з основними принципами роботи, будовою та технологічними особливостями конвертера
3. Ознайомитися з принципами роботи електродугової (ЕДП) та індукційної печей.
4. Навчитися визначати переваги та недоліки кожного методу виплавки сталі.

## **2.5. Зміст звіту практичної роботи**

1. Тема і мета роботи.
2. Перелік матеріалів та обладнання.
3. Опис кожної технології виготовлення сталі.
4. Аналіз ситуацій при виборі той чи іншої технології виплавки сталі. Її переваги та недоліки.
5. Зробити висновки про важливість різних технологій виплавки сталі.

## **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні промислові способи виплавки сталі?
2. Що таке конвертерний процес виготовлення сталі?
3. Яка роль шлаку в киснево–конвертерному процесі?
4. Чому електродугові печі є гнучкішими для виробництва широкого асортименту марок сталі?
5. Які екологічні аспекти слід враховувати при виплавці сталі?

## Практична робота 3. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МІДІ

**Мета роботи** – Ознайомитися з основними стадіями та ключовими технологічними процесами виробництва міді з різних видів сировини. Розвинути здатність до критичної оцінки ефективності металургійних процесів з економічної, технічної та екологічної точок зору.

### 3.1. Загальні положення

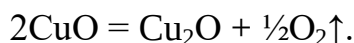
Мідь (Cu) — один із найважливіших кольорових металів, що широко використовується в електротехніці, будівництві, машинобудуванні та інших галузях. Основною сировиною для її виробництва є **мідні руди**, які поділяються на сульфідні та окислені. Переважна більшість міді (до 90%) видобувається із сульфідних руд.

Мідь – елемент І групи періодичної таблиці Д.І. Менделєєва, який має два ізотопи з атомними масами 63 і 65. Температура плавлення міді складає 1085°C, кипіння — 2560°C, а густина — 8900 кг/м<sup>3</sup>. Мідь має високу пластичність, що дозволяє одержувати з неї вироби під дією тиску. Електропровідність міді трохи менша, ніж у срібла, але вища, порівняно з алюмінієм, платиною та залізом. Тому мідь є основним матеріалом для електро- та радіотехніки.

Мідь у сполуках буває одно- і двовалентною:



На повітрі при температурі нижче 400°C мідь повільно окислюється до CuO. При більш високих температурах на ній утворюється окалина, яка складається з CuO, Cu<sub>2</sub>O та CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub>. При нагріванні вище температури 800°C на повітрі оксид міді розпадається на закис міді та кисень:



Закис міді плавиться при температурі 1230°C і легко відновлюється газами CO і H<sub>2</sub> до металу за температури близько 450°C.

Властивості сульфідів міді Cu<sub>2</sub>S і CuS подібні до оксидів. За температури понад 450°C в нейтральній атмосфері CuS розкладається на сульфід закису та сірку:



За високих температур у мідних розплавах присутній тільки  $\text{Cu}_2\text{S}$ , що плавиться за температури  $1127^\circ\text{C}$ . Розглянуті сульфіди при нагріванні на повітрі окислюються до  $\text{CuO}$  і  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Отримання міді – це складний багатостадійний процес, який залежить від типу руди та її хімічного складу. Загалом, існують два основні шляхи виробництва міді: **пірометалургійний** (із застосуванням високих температур) та **гідрометалургійний** (із застосуванням водних розчинів). Близько 80–90% світової міді виробляється пірометалургійним шляхом із сульфідних руд.

Цей процес часто проходить через стадію проміжного утворення  $\text{CuSO}_4$  та основних солей —  $n\text{CuSO}_4 \cdot m\text{Cu}(\text{OH})_2$ . При нагріванні  $\text{CuSO}_4$  до  $700^\circ\text{C}$  розкладається з утворенням спочатку основних солей, а потім  $\text{CuO}$ . У руді мідь, як правило, знаходиться у вигляді сірчистих сполук, оксидів і гідрокарбонатів (малахіт, алузит, куприт, халькопірит тощо).

### 3.2. Пірометалургійний шлях виробництва міді (для сульфідних мідних руд)

Цей шлях є основним і включає кілька послідовних етапів:

#### 3.2.1. Збагачення руди

- **Дроблення та подрібнення:** Мідна руда, видобута з кар'єрів або шахт, спочатку дробиться на великі шматки, а потім подрібнюється у кульових або стрижневих млинах до дрібного порошку. Це збільшує поверхню зерен мінералів для подальшої обробки.

- **Флотація:** Подрібнена руда змішується з водою та спеціальними реагентами (збирачами, спінювачами). Суміш подається у флотаційні машини, де через неї пропускається повітря. Частинки мідних мінералів прилипають до бульбашок повітря і спливають у вигляді піни, утворюючи мідний концентрат. Пуста порода осідає на дно. Вміст міді в концентраті підвищується з 0.5–2% до 15–35%.

### 3.2.2. Пірометалургійна переробка (плавка)

– Мета: Отримати чорнову мідь.

- Сушка та обпал (опціонально): Видалення вологи та часткове видалення сірки з концентрату.

- Штейнна плавка: Розплавлення мідного концентрату в спеціальних печах (наприклад, печах киплячого шару, Ванюкова, VDM, електропечах) для отримання штейна (розплав сульфідів міді та заліза, 30–70% Cu) та шлаку (силікат заліза, що містить порожню породу та більшу частину заліза).

- Конвертування штейна: Продувка розплавленого штейна повітрям або киснем у конвертерах. Відбувається окислення сірки (утворюється SO<sub>2</sub>) та заліза (переходить у шлак). Результатом є чорнова мідь (98–99% Cu), яка містить домішки сірки, кисню та інших металів.

- Вогневе рафінування чорнової міді: Додаткове очищення чорнової міді від домішок (S, Fe, Ni, Zn) шляхом окислення в рафінувальних печах, а потім відновлення оксиду міді (CuO) до металеві міді за допомогою продувки газами (природний газ, пропан). Отримують анодну мідь (99,5% Cu).

-

### 3.2.3. Електролітичне рафінування:

– Мета: Отримання високочистої катодної міді (99,99% Cu).

– Принцип: Аноди з анодної міді та тонкі катоди з чистої міді занурюються в електроліт (розчин CuSO<sub>4</sub> і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Під дією постійного струму мідь з анода розчиняється і осідає на катоді. Домішки (золото, срібло, платина) осідають на дні у вигляді анодного шламу, менш благородні метали залишаються в розчині.

Схема пірометалургійного процесу одержання міді наведена на рис. 3.1.

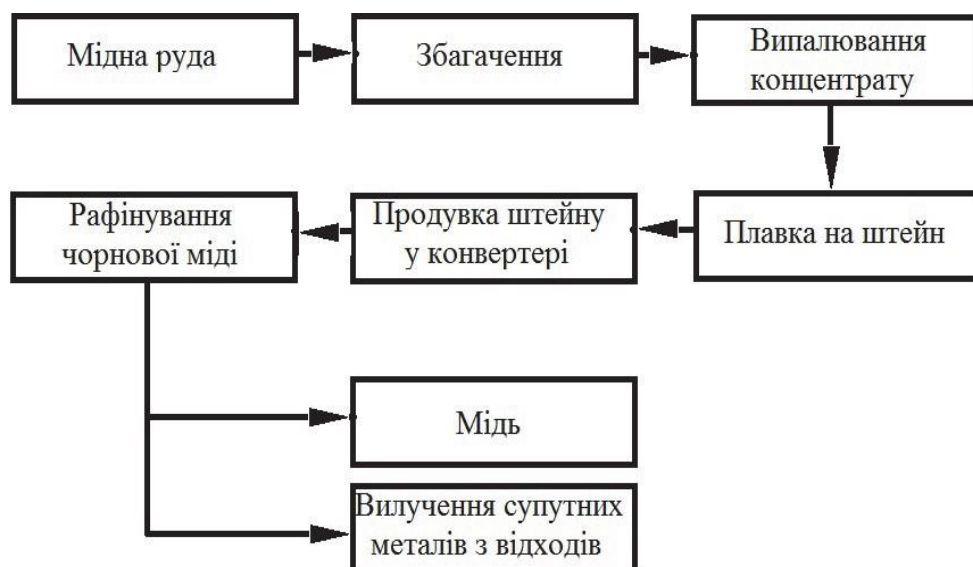


Рис. 3.1. Схема пірометалургійного процесу одержання міді

### 3.3. Гідрометалургійний шлях виробництва міді (для окислених руд та бідних сульфідних руд).

Цей метод застосовується для руд з низьким вмістом міді, особливо окислених (наприклад, малахіт  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ , азурит  $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ ). Він не потребує високих температур.

- **Вилуговування:** Руду (часто попередньо подрібнену) обробляють водним розчином, який розчиняє мідь. Найчастіше використовують розбавлену сірчану кислоту ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Процес може відбуватися у резервуарах або на спеціальних майданчиках (купчасте вилуговування).

- **Екстракція розчинником:** Розчин, що містить мідь ( $\text{CuSO}_4$ ), контактує з органічним розчинником. Органічна фаза вибірково зв'язує іони міді, відділяючи їх від інших домішок. Потім мідь "відмивається" (реекстрагується) з органічної фази концентрованим розчином сірчаної кислоти, утворюючи чистий та концентрований електроліт.

- **Електрокристалізація:** Мідь виділяється з очищеного та концентрованого електроліту за допомогою електролізу. На катодах осідає чиста мідь. Цей процес схожий на електролітичне рафінування, але мідь одразу виділяється з розчину, а не з анодів.

Гідрометалургійним способом одержують біля 10-12% міді від її загального об'єму. Головним недоліком гідрометалургії є неможливість разом із міддю видаляти золото та срібло, які присутні майже в усіх мідних рудах.

### **3.4. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними технологіями виробництва міді.
2. Ознайомитися з основними стадіями виробництва міді з сульфідних руд (пірометалургійний шлях).
3. Ознайомитися з гідрометалургійним шляхом виробництва міді..
4. Навчитися визначати переваги та недоліки кожної технології виготовлення міді.

### **3.5. Зміст звіту практичної роботи**

1. Тема і мета роботи.
2. Перелік матеріалів та обладнання.
3. Опис кожної технології виробництва міді.
4. Аналіз ситуацій при виборі той чи іншої технології виплавки міді.
5. Пропозиції щодо оптимізації: Запропонуйте шляхи зменшення втрат міді, підвищення якості продукції або зниження екологічного навантаження (наприклад, за рахунок зміни складу шихти, використання кисню для продувки, утилізації  $SO_2$  для виробництва сірчаної кислоти).

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні мінерали міді, що зустрічаються в природі?
2. Які основні відмінності між пірометалургійним та гідрометалургійним шляхами отримання міді?
3. Які хімічні реакції лежать в основі видалення заліза та сірки під час конвертування?
4. Які типи печей використовуються для штейнної плавки?
5. Які сучасні тенденції розвитку технологій виробництва міді ви знаєте?

.

## **Практична робота 4. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЮ**

**Мета роботи** – Ознайомитися з основними стадіями виробництва алюмінію(виробництво глинозему, електроліз), з хімічними реакціями, що відбуваються, та технологічним обладнання. Розвинути навички аналізу оцінки ефективності процесів та розуміння екологічних аспектів виробництва.

### **4.1. Загальні положення**

Алюміній — елемент третьої групи періодичної таблиці Д.І. Менделєєва.

Алюміній – один з найпоширеніших металів на Землі, що володіє унікальними властивостями: легкість, висока електро– і теплопровідність, корозійна стійкість. Завдяки цьому він широко застосовується в авіабудуванні, автомобілебудуванні, будівництві, електротехніці та багатьох інших галузях. Розуміння технологій його виготовлення є ключовим для майбутніх фахівців у металургійній та суміжних галузях.

Алюміній за вмістом (8,45%) в земній корі є найбільш розповсюдженим елементом. Алюміній знаходиться в рудах у вигляді мінералів, що містять окисли, подвійні основні сульфати та силікати. Гірські породи, які складаються з гідраргіліту, беміту або діаспору і невеликої кількості корунду та алюмосилікатів, називаються бокситами.

Боксити – це головна сировина в процесі виробництва алюмінію. Вміст глинозему в бокситах досягає 50-60%. Окрім алюмінію, у них завжди присутні домішки Ti, V, Cr і Ga. Пуста порода складається з гідратованих оксидів заліза, різних водних силіка- тів і карбонатів кальцію та магнію.

Боксити слугують також сировиною для виробництва електроко- рунду, глиноземистого цементу й вогнетривких виробів. Боксити також використовують як флюс у мартенівському виробництві сталі.

### **4.2 Способи одержання алюмінію**

Виробництво алюмінію — це складний, багатоступінчастий процес, який вимагає значних енергетичних витрат і ретельного контролю на кожному етапі. Основна технологія, що використовується сьогодні, складається з двох головних стадій:



## Процес одержання глинозему з руди

Першим кроком є видобуток бокситів – основної алюмінієвої руди. Боксити — це суміш гідратованих оксидів алюмінію з домішками оксидів заліза, кремнію, титану та інших елементів.

Найпоширенішим методом одержання глинозему є **спосіб Баєра**. Він включає кілька етапів:

- **Дроблення та подрібнення:** Боксит подрібнюється до дрібної фракції для збільшення площі поверхні та полегшення подальшої обробки.
- **Вилуговування (розчинення):** Подрібнений боксит обробляють гарячим концентрованим розчином **каустичної соди (NaOH)** під тиском. Гідроксид алюмінію, що міститься в бокситі, розчиняється, утворюючи **алюмінат натрію**:  $\text{Al(OH)}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na[Al(OH)}_4]$  Домішки (наприклад, оксиди заліза) залишаються нерозчинними і утворюють так званий "червоний шлам".
- **Очищення розчину:** Розчин алюмінату натрію відділяють від червоного шламу шляхом осадження та фільтрації. Червоний шлам є значним відходом виробництва і вимагає подальшої утилізації.
- **Декомпозиція (розкладання):** Очищений розчин алюмінату натрію охолоджують і розбавляють водою, а також додають "затравочний" гідроксид алюмінію. Це викликає гідроліз алюмінату натрію та осадження гідроксиду алюмінію:  $\text{Na[Al(OH)}_4] \rightarrow \text{Al(OH)}_3 \downarrow + \text{NaOH}$  Розчин каустичної соди, що утворився, повертається в процес.
- **Кальцинація (випал):** Отриманий гідроксид алюмінію ( $\text{Al(OH)}_3$ ) прожарюють при високих температурах (близько 1000–1200 °C) у спеціальних печах. В результаті відбувається дегідратація та утворюється чистий **глинозем**:  $2\text{Al(OH)}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$  Отриманий глинозем є білим порошком.

## Електролітичне одержання алюмінію

Цей етап є найбільш енергоємним у всьому виробничому циклі. Він базується на відкритті Чарльза Холла та Поля Еру в 1886 році.

**Електролізер:** Процес відбувається у великих електролітичних ваннах (електролізерах). Дно електролізера є катодом (негативно зарядженим), а вуглецеві блоки, занурені в розплав, слугують анодами (позитивно зарядженими).

**Електроліт:** Чистий глинозем, який плавиться при дуже високій температурі (близько 2072 °C), розчиняють у розплавленому кріоліті. Кріоліт

знижує температуру плавлення суміші до 950–970 °С, що робить процес економічно доцільним.

**Електроліз:** Через розплав пропускають постійний електричний струм великої сили (сотні тисяч ампер).

**Видалення алюмінію:** Розплавлений алюміній періодично відкачують з дна електролізера за допомогою вакуумних ковшів.

**Рафінування та лиття:** Отриманий алюміній може містити невеликі домішки. Для підвищення чистоти його можуть піддавати додатковому рафінуванню. Після цього розплавлений метал розливають у форми для одержання зливків, чушок або інших заготовок.

На рис. 4.2.1. наведено схему одержання алюмінію цим методом.

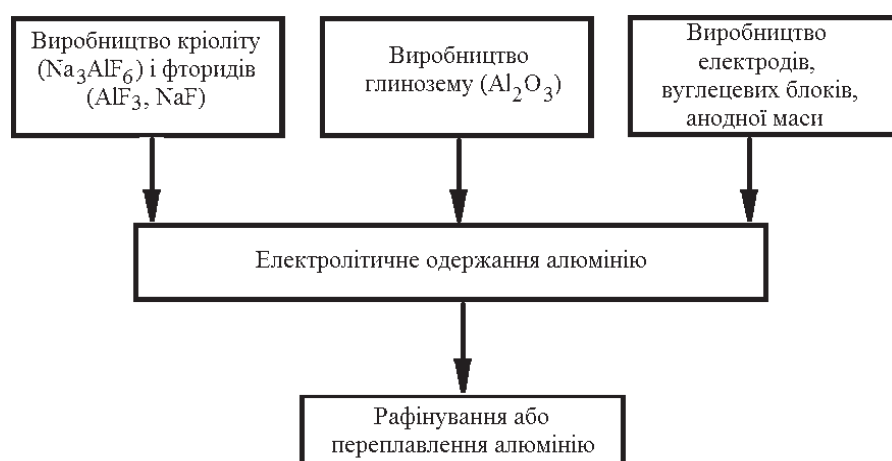


Рис. 4.2.1. Схема одержання алюмінію електролітичним способом.

### 4.3. Вплив домішок та екологічні аспекти

Домішки, що потрапляють в алюміній з бокситів або електродних матеріалів (наприклад, залізо, кремній), можуть суттєво впливати на його властивості – знижувати електропровідність, пластичність, корозійну стійкість. Тому важливим є контроль якості сировини та технологічних процесів.

Екологічні аспекти виробництва алюмінію є значними:

- **Енергоспоживання:** Високе енергоспоживання (особливо на стадії електролізу) робить алюмінієві заводи великими споживачами електроенергії, що часто зумовлює їхнє розташування поблизу джерел гідроенергії.
- **Викиди парникових газів:** Спалювання вуглецевих анодів в електролізерах призводить до значних викидів CO<sub>2</sub>. Також можливі викиди перфторвуглеців (ПФВ), що є потужними парниковими газами.

- Червоний шлам: Утворення великих обсягів червоного шламу (лужного відходу) вимагає значних площ для його зберігання та розробки методів його утилізації (наприклад, для будівництва матеріалів або вилучення рідкоземельних елементів).

- Фторидні викиди: Використання кріоліту в електролізері призводить до викидів фтористих сполук, які є токсичними і вимагають ретельного очищення відхідних газів.

Сучасні інновації в галузі спрямовані на зниження енергоспоживання, зменшення викидів парникових газів (наприклад, розробка інертних анодів) та ефективнішу утилізацію відходів.

Цей процес є основою сучасної алюмінієвої промисловості та постійно вдосконалюється для підвищення ефективності та зменшення впливу на довкілля.

#### **4.4. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними способами виробництва алюмінію.
2. Проаналізувати вплив основних параметрів процесу Баєра на ефективність вилучення глинозему.
3. Оцінити енергетичну ефективність процесу електролітичного одержання алюмінію.
4. Ознайомитися з основними екологічними проблемами алюмінієвого виробництва та шляхами їх мінімізації.

#### **4.5. Зміст звіту практичної роботи**

1. Тема і мета роботи.
2. Перелік матеріалів та обладнання.
3. Опис кожного способу виробництва алюмінію.
4. Аналіз та методи вирішення реальних інженерних завдань, що виникають на алюмінієвих підприємствах.
5. Зрозуміти вплив алюмінієвого виробництва на довкілля, ознайомитись з основними джерелами забруднення та вивчити сучасні підходи до їх мінімізації.

## **Питання для самоперевірки**

1. Які унікальні властивості алюмінію роблять його таким затребуваним металом у промисловості?
2. Назвіть дві основні стадії виробництва первинного алюмінію. Яка з них є найбільш енергоємною?
3. Яка основна сировина використовується для виробництва глинозему?
4. Які два основні компоненти складають електроліт у процесі Холла–Еру?
5. Які основні екологічні проблеми пов'язані з виробництвом алюмінію?

## **Практична робота 5. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТИТАНУ**

**Мета роботи** – Ознайомитися з основними способами виробництва титану. Розвинути навички аналізу оцінки ефективності процесів та розуміння важливих аспектів виробництва.

### **5.1. Загальні положення**

Властивості цього елемента, а саме: температура плавлення  $1668^{\circ}\text{C}$ , температура кипіння  $3257^{\circ}\text{C}$ , мала густина ( $\rho = 4500 \text{ кг/м}^3$ ), висока стійкість на повітрі та в морській воді. Особливою властивістю титану є підвищена здатність поглинати гази та утворювати стійкі сполуки з киснем, азотом і вуглецем. У зв'язку з цим титан використовують для видалення газів із розплавлених металів і як гетер (поглинач) — у вакуумній техніці.

Титан належить до елементів четвертої групи побічної підгрупи періодичної таблиці Д.І. Менделєєва. У сполуках він двох-, трьох- і чотирьохвалентний. Сполуки двох- і трьохвалентного титану є активними відновниками, а чотирьохвалентного — дуже стійкі.

Титан (Ti) — це легкий, міцний, корозійностійкий метал, який широко використовується в аерокосмічній, медичній, хімічній промисловості та інших галузях. Його унікальні властивості зумовлюють високу вартість виробництва. Титан застосовують як легуючий елемент для сталей, бронз, латуней та сплавів на основі алюмінію. Сталі з добавками титану мають підвищені твердість та пластичність і використовуються, в основному, для виробництва рейок, залізничних коліс тощо. Крім цього, сплави з титаном широко використовуються у виробництві лопаток для газових турбін і реактивних двигунів, броні, жаростійкого хімічного обладнання, ріжучих інструментів та іншого.

### **5.2. Процеси одержання титану**

У промисловому виробництві титану чистота вихідного діоксиду титану ( $\text{TiO}_2$ ) має величезне значення. Наявність домішок, таких як залізо, кремній, алюміній, магній, хром, нікель тощо, може призвести до утворення небажаних продуктів реакції, що ускладнює очищення  $\text{TiCl}_4$  і знижує якість кінцевого металу. Багато цих домішок також утворюють хлориди, які можуть

мати схожі температури кипіння з  $\text{TiCl}_4$ , ускладнюючи дистиляційне очищення.

Основні промислові методи очищення  $\text{TiO}_2$  включають:

- **Сульфатний метод:** Обробка ільменітового концентрату сірчаною кислотою ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) з подальшим осадженням гідратованого діоксиду титану та його прожарюванням. Цей метод дозволяє видалити більшість домішок.
- **Хлорний метод:** Пряме хлорування ільменіту або рутилу, як згадувалося раніше. Це забезпечує утворення  $\text{TiCl}_4$ , який потім легко очищується дистиляцією.

Основним методом промислового отримання титану є **метод Кролла**, який полягає у відновленні тетрахлориду титану ( $\text{TiCl}_4$ ) магнієм (Mg) або натрієм (Na).

Основними мінералами, що використовуються для отримання титану, є:

- **Ільменіт** ( $\text{FeTiO}_3$ )
- **Рутил** ( $\text{TiO}_2$ )

Перший етап промислового виробництва титану включає хлорування діоксиду титану ( $\text{TiO}_2$ ) за високих температур у присутності вуглецю (коксу):

Тетрахлорид титану ( $\text{TiCl}_4$ ) є легкою рідиною з низькою температурою кипіння (близько  $136^\circ\text{C}$ ), що дозволяє його легко очищувати дистиляцією.

Очищений  $\text{TiCl}_4$  потім відновлюється розплавленим магнієм або натрієм в інертній атмосфері (зазвичай аргону) при високих температурах (близько  $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ ).

У результаті реакції утворюється губчастий титан (так звана "титанова губка") і хлорид магнію. Отримана "титанова губка" містить домішки  $\text{MgCl}_2$ , які видаляються вакуумною дистиляцією або вилугуванням. Після цього титанову губку переплавляють у вакуумних дугових печах для отримання компактного металу.

Одержати титан високої чистоти можна шляхом хімічного очищення його йодидним методом (Іодне рафінування або Метод Ван–Аркеля–Де Бура).

Цей метод використовується для отримання титану надвисокої чистоти, але є занадто дорогим для масового виробництва. Ця технологія базується на оборотності хімічної реакції:  $\text{Ti} + 2\text{I}_2 \leftrightarrow \text{TiI}_4$ .

### **5.3. Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з основними технологіями виробництва титану.
2. Ознайомитися з основними стадіями методу Кролла для отримання титану.
3. Ознайомитися з основними промисловими методами очищення  $\text{TiO}_2$ .
4. Ознайомитися з основними хімічними принципами, що лежать в основі виробництва титану, та зрозуміти складнощі цього процесу.

### **5.4. Зміст звіту практичної роботи**

1. Тема і мета роботи.
2. Перелік матеріалів та обладнання.
3. Загальна інформація про титан.
4. Огляд методів отримання титану.
5. Значення чистоти сировини та атмосфери: Чому важливо контролювати домішки та використовувати інертну атмосферу.

### **Питання для самоперевірки**

1. Назвіть основні фізико–хімічні властивості титану, які роблять його цінним промисловим металом.
2. Чому титан є дорогим металом порівняно зі сталлю або алюмінієм?
3. Які методи збагачення або очищення  $\text{TiO}_2$  застосовуються перед його подальшою переробкою?
4. Опишіть основні стадії методу Кролла?
5. Чому титанову губку необхідно переплавляти?

## ЗМІСТ

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                  | 3  |
| 1. Практична робота 1. ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ ЧАВУНУ.....      | 4  |
| 1.1. Загальні положення.....                                | 4  |
| 1.2. Доменний процес.....                                   | 5  |
| 1.3. Технологія плавки чавуну в вагранках.....              | 7  |
| 1.4. Процес одержання чавуну в індукційних печах.....       | 9  |
| 1.5. Порядок виконання роботи.....                          | 11 |
| 1.4. Зміст звіту практичної роботи.....                     | 11 |
| 2. Практична робота 2. ВИРОБНИЦТВО СТАЛІ.....               | 13 |
| 2.1. Загальні положення.....                                | 13 |
| 2.2. Конвертерне виробництво сталі.....                     | 14 |
| 2.3. Виплавка сталі в електропечах.....                     | 16 |
| 2.4. Порядок виконання роботи.....                          | 18 |
| 2.5. Зміст звіту практичної роботи.....                     | 18 |
| 3. Практична робота 3. ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА МІДІ .....    | 19 |
| 3.1. Загальні положення.....                                | 19 |
| 3.2. Пірометалургійний шлях виробництва міді.....           | 20 |
| 3.3. Гідрометалургійний шлях виробництва міді.....          | 22 |
| 3.4. Порядок виконання роботи.....                          | 23 |
| 3.4. Зміст звіту практичної роботи.....                     | 23 |
| 4. Практична робота 4. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЮ..... | 24 |
| 4.1. Загальні положення.....                                | 24 |
| 4.2. Способи одержання алюмінію.....                        | 24 |
| 4.3. Вплив домішок та екологічні аспекти.....               | 26 |
| 4.4. Порядок виконання роботи.....                          | 27 |
| 4.5. Зміст звіту практичної роботи.....                     | 27 |
| 5. Практична робота 5. ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТИТАНУ.....   | 29 |
| 5.1. Загальні положення.....                                | 29 |
| 5.2. Процеси одержання титану.....                          | 29 |
| 5.4. Порядок виконання роботи.....                          | 31 |
| 5.5. Зміст звіту практичної роботи.....                     | 31 |
| Список літератури.....                                      | 33 |



## Список літератури

1. Римкевич В.С., Муравська І.І. Металургія кольорових металів: підручник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
2. Галушко І.В. Процеси та апарати виробництва глинозему : навчальний посібник. Дніпро: НМетАУ, 2017.
3. Міщенко В.М., Бідасюк Н.М. Електрохімічні процеси в металургії алюмінію : монографія. Харків: НТУ "ХПІ", 2019.
4. Дехтяр І.В. Металургія титану : навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
5. Нестеренко Т. М. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів : методичні вказівки до виконання контрольної роботи та самостійної роботи для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності "Металургія". Запоріжжя : ЗНУ, 2023. 52 с.
6. Сігарев Є.М., Кащєєв М.А. Практикум з дисципліни «Металургія кольорових металів та сплавів». Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 112 с.
7. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : Навч. посібник. К. : Видавничий дім "Вініченко", 2016. 224 с.
8. Чернега Д.Ф., Богушевський В.С., Готвянський Ю.Я., Терещенко В.С., Бойченко Б.М., Харлашин П.С., Гладких В.А. Основи металургійного виробництва металів і сплавів. – К.: Вища шк., 2006. 503с.
9. Грицй В.П., Бредихін В.М., Червоний І.Ф. та ін. Металургія кольорових металів. Частина 5. Металургія важких металів. Книга 2. Технологія міді та нікелю. Запоріжжя: ЗДІА, 2010.
10. Єгоров С.Г., Червоний І.Ф. Технологічні особливості процесів виробництва кольорових металів. Запоріжжя : ЗДІА, 2011.
11. Рабинович О.В., Садовник Ю.В. та ін. Металургія кольорових металів: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2009.
12. Чернега Д.Ф., Богушевський В.С., Готвянський Ю.Я., Терещенко В.С., Бойченко Б.М., Харлашин П.С., Гладких В.А. Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів. Дніпропетровськ : Системні технології, 2004. 692с.;

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання  
**практичних робіт**  
з навчальної дисципліни “Технології одержання металів та сплавів для  
ливарного виробництва”  
для студентів денної та заочної форми навчання  
за спеціальністю G10 Металургія  
Українською мовою

Укладач

БЕРЛІЗЄВА Тетяна Вікторівна

Відповідальний за випуск

проф. *Акімов О. В.*

Роботу до видання рекомендувала

проф. *Пономаренко О. І.*

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 663

Підп. до друку 2024 р. Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХП»,

вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від

21.08.2017 р.

---

Електронна версія