

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**



**РОБОЧА ПРОГРАМА,  
методичні вказівки та індивідуальні завдання  
до вивчення дисципліни  
«Металургія легких металів»  
для студентів заочної форми навчання  
за освітньо-професійною програмою  
«Технології та обладнання виробництва металів і сплавів»  
підготовки здобувачів вищої освіти  
за першим (бакалаврським) рівнем  
зі спеціальності 136 «Металургія»  
(Профіль: *МЕ06 «Металургія кольорових металів»*)**

УДК 621.746(07)

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Металургія легких металів» для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем зі спеціальності 136 «Металургія» (Профіль: *МЕ06 «Металургія кольорових металів»*) / Укл.: Г.А. Поляков, С.М. Підгорний, Г.М. Трегубенко, В.С. Ігнат'єв, Ю.О. Бубликов – Дніпро: НМетАУ, 2016. – 30с.

Наведені робоча програма дисципліни з методичними вказівками, рекомендованою літературою і питаннями для самоперевірки за окремими темами, а також індивідуальне домашнє завдання.

Призначена для студентів заочної форми навчання за освітньо-професійною програмою «Технології та обладнання виробництва металів і сплавів» підготовки здобувачів вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем зі спеціальності 136 «Металургія» (Профіль: *МЕ06 «Металургія кольорових металів»*).

Укладачі: Г.А. Поляков, ст. викладач  
С.М. Підгорний, ст. викладач  
Г.М. Трегубенко, д-р техн. наук, проф.  
В.С. Ігнат'єв, канд. техн. наук, проф.  
Ю.О. Бубликов, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск М.І. Гасик, д-р техн. наук, проф.

Рецензент Л.В. Камкіна, д-р техн. наук, проф. (НМетАУ)

Підписано до друку \_\_\_\_\_. Формат 60x84 1/16. Папір друк. Друк плоский.  
Облік.-вид. арк. \_\_\_\_\_. Умов. друк. арк. \_\_\_\_\_. Тираж 100 пр. Замовлення № \_\_\_\_\_

Національна металургійна академія України  
49600, м. Дніпро-5, пр. Гагаріна, 4

---

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

## 1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

За навчальним планом студенти за напрямом – 6.050401 металургія заочної форми навчання вивчають дисципліну «металургії легких металів» в обсязі 108 годин.

Мета дисципліни - вивчення основ технології виробництва найбільш важливих легких металів, їх властивостей і основні області застосування.

Навчальні заняття з дисципліни складаються з лекцій, практичних занять, самостійної роботи та складання екзамену.

### Розклад навчальних годин

Усього годин за навчальний планом	108
У тому числі:	
Аудиторні заняття	16
З них:	
- лекції	12
- практичні заняття	4
Самостійна робота	92
Підсумковий контроль	залік

Основним видом занять при вивченні дисципліни студентами-заочниками є самостійна робота з літературою. Основними підручниками по даній дисципліні є:

1. Электрометаллургия алюминия и магния. Ветюков М.М., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. – М.: Металлургия, 1987. – 320 с.
2. Стефанюк С.Л. Металлургия магния и других легких металлов. – М.: Металлургия, 1985. – 200 с.
3. Москвитин В.И. Металлургия легких металлов: учебник для вузов / В.И. Москвитин, И.В. Николаев, Б.А. Фомин; - М.: Интермет Инжиниринг, 2005. - 416с.
4. Тарасов Л.В. Металлургия титана. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. - 328 с.

Самостійне вивчення дисципліни рекомендується проводити в наступній послідовності:

1) ознайомитися зі змістом теми, що вивчається, і методичними вказівками до неї;

2) вивчити за рекомендованою літературою матеріал, що відноситься до даної теми, та скласти конспект з пояснювальними схемами і графіками;

3) після засвоєння теми відповісти на питання для самоперевірки. Індивідуальні завдання необхідно виконувати після повного засвоєння матеріалу за темою заняття в обсязі, вказаному в програмі.

## **2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ТЕМ**

### **Тема 2.1 Вступ**

**(1 година лекцій, самостійна робота)**

#### **2.1.1 Програма**

Поняття «легкі метали». Стисла характеристика їх фізико-хімічних властивостей. Особливості виробництва легких металів (стисло) Сировинна база та виробництво легких металів в Україні.

#### **2.1.2 Література**

[1] С.6-7; [2] С. 4-14; [3] С. 7-9; [4] С. 6-9.

#### **2.1.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння фізико-хімічних властивостей легких металів, а також сучасного стану металургії легких металів в Україні. В цій темі необхідно уявити основні особливості виробництва легких металів.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- основні властивості легких металів;
- основні області застосування легких металів;
- сучасний стан металургії легких металів в Україні та світі.

#### **2.1.4 Питання для самоперевірки**

1. Які підприємства в Україні виробляють легкі метали?
2. Які підприємства в Україні переробляють сировину для виробництва легких металів?

3. Які основні області застосування легких металів?
4. Які основні фізико-хімічні властивості легких металів?

## **Тема 2.2 Виробництво глинозему (1 година лекцій, самостійна робота)**

### **2.2.1 Програма**

Властивості глинозему. Одержання глинозему за способом Байєра та спікання. Комбіновані способи одержання глинозему.

### **2.2.2 Література**

[1] С. 9-12; [3] С. 9-120.

### **2.2.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології виробництва глинозему.

У цій темі необхідно уявити сировину для виробництва глинозему, властивості глинозему за способами Байєра, спікання та комбінованих методів.

Вивчивши цю тему, студент повинен знати:

- сировину для виробництва глинозему;
- властивості глинозему;
- принципи та технологічні схеми отримання глинозему за способами

Байєра, спікання та комбінованих методів.

### **2.2.4 Питання для самоперевірки**

1. Які підприємства України виробляють глинозем?
2. Яка сировина для виробництва глинозему?
3. У якій формі міститься алюміній в бокситах?
4. В яких межах коливається вміст  $Al_2O_3$  в бокситах?
5. Які принципи і технологічна схема отримання глинозему за способом Байєра?
6. Які принципи і технологічна схема отримання глинозему за способом спікання?
7. Які принципи і технологічна схема комбінованих способів отримання глинозему?
8. Що таке червоний та білий шлам?

9. Який вихід червоного шламу при переробці бокситів за способом Байєра?

10. Які найважливіші характеристики, що визначають якість бокситів?

11. Чому спосіб спікання може бути застосований для переробки будь-якого бокситу?

12. При якій температурі проводиться обезводнення гідроксиду алюмінію при кальцинації?

13. Що таке каустичний модуль алюмінієвого розчину?

14. Чому утруднена утилізація червоних шламів глиноземного виробництва?

15. Який вихід  $Al_2O_3$  з бокситів в глинозем за способом Байєра?

16. Яка модифікація глинозему добре розчиняється в кислотах і лугах?

## **Тема 2.3 Електролітичне одержання алюмінію (2 години лекцій, самостійна робота)**

### **2.3.1 Програма**

Теоретичні основи електролізу криолітно-глиноземного розплаву. Електродні реакції. Загальна будова алюмінієвого електролізера. Види електролізерів. Основні параметри електролізу алюмінію. Операції обслуговування алюмінієвих електролізерів. Можливі порушення технологічного режиму.

### **2.3.2 Література**

[1] С. 12-202; [3] С. 141-225.

### **2.3.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології електролітичного одержання алюмінію.

В цій темі необхідно уяснити сировинну та технологічну схему електролітичного одержання алюмінію, властивості електроліту, будову криолітно-глиноземного розплаву, електродні реакції, анодний ефект, загальну будову алюмінієвого електролізера, види електролізерів, основні параметри електролізу алюмінію, операції обслуговування алюмінієвих електролізерів: подачу глинозему, корекція складу електроліту, регулювання міжелектродної

відстані, витягання алюмінію із ванн, догляд за анодами, можливі порушення технологічного режиму.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- технологічну схему електролітичного одержання алюмінію;
- сировину для електролітичного одержання алюмінію;
- властивості електроліту;
- реакції, що йдуть на катоді та аноді при електролізі;
- загальну будову та види алюмінієвого електролізера;
- операції обслуговування алюмінієвих електролізерів.

### **2.3.4 Питання для самоперевірки**

1. Чому алюміній не можна отримати електролізом водних розчинів?
2. Які сировинні матеріали задаються у ванну при електролізі алюмінію?
3. Яка хімічна формула кріоліту?
4. Електролітичний спосіб отримання алюмінію заснований на розкладанні чого?
5. Що таке кріолітові відношення електроліту?
6. Що є джерелом тепла в алюмінієвому електролізері?
7. Який газ є первинним при електролізі алюмінію?
8. Яка кількість самообпалюваних анодів у алюмінієвому електролізері?
9. Який вихід по струму при електролізі алюмінію?
10. В чому виміряється одинична потужність алюмінієвих електролізерів?
11. Що таке анодний ефект в алюмінієвому електролізері та як його припиняють?
12. Запишіть реакції, що йдуть на катоді та аноді при електролітичному отриманні алюмінію?
13. З чого виконується внутрішня футеровка алюмінієвого електролізера?
14. Які переваги мають алюмінієві електролізери типу ОА в порівнянні з іншими типами електролізерів?
15. Скільки електроенергії витрачається на отримання 1 т алюмінію?
16. За допомогою чого алюміній витягують з електролізера?
- 17.3 чим пов'язані втрати алюмінію при його електролітичному отриманні?

## **Тема 2.4 Рафінування алюмінію (самостійна робота)**

### **2.4.1 Програма**

Хлорування у ковші. Електролітичне рафінування трьохшаровим способом. Зонна плавка алюмінію. Сублімація субоб'єднань. Марки алюмінію.

### **2.4.2 Література**

[1] С. 202-213; [3], С. 215-239.

### **2.4.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології рафінування алюмінію. У цій темі необхідно уявити, які шкідливі домішки присутні в алюмінії після його електролітичного отримання та їх кількість, марки алюмінію, принцип та технологію хлорування у ковші, електролітичного рафінування трьохшаровим способом, зонної плавки та сублімації субоб'єднань, треба також уявити конструкцію електролізера для рафінування алюмінію трьохшаровим способом.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- принципи та технології рафінування алюмінію;
- конструкцію електролізу для рафінування алюмінію трьохшарового способу.

### **2.4.4 Питання для самоперевірки**

1. Які шкідливі домішки присутні в алюмінії після його електролітичного отримання та їх кількість?
2. За допомогою яких способів рафінування здійснюється отримання алюмінію високої чистоти (до 99,999%)?
3. Алюміній технічної чистоти марки А85 повинен мати вміст алюмінію не менш якої величини?
4. При електролітичному рафінуванні алюмінію за тришаровим методом верхній шар утворений чим?
5. При рафінуванні алюмінію за тришаровим способом анодний сплав обважнюють за допомогою добавки чого та в якій кількості?
6. Запишіть реакції, які протікають при сублімації субоб'єднань.
7. Які методи застосовуються для рафінування алюмінію, отриманого



електролізом?

## **Тема 2.5 Одержання алюмінієвих сплавів та вторинного алюмінію (1 година лекцій, самостійна робота)**

### **2.5.1 Програма**

Склад та застосування дюралюмінію та силуміну. Сировина для виплавки силуміну. Теоретичні основи спільного відновлення алюмінію та кремнію. Конструкція печей. Технологія плавки, рафінування та розливки силуміну. Фізико-хімічні основи переплаву відходів і лому алюмінію. Плавильні печі та технологія плавки вторинного алюмінію та його сплавів. Техніко-економічні показники виробництва вторинного алюмінію та його сплавів.

### **2.5.2 Література**

[1] С. 212-223; [2] С. 239-306.

### **2.5.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технологій одержання алюмінієвих сплавів та вторинного алюмінію.

У цій темі необхідно уявити склад та застосування головних сплавів алюмінію, сировину для одержання алюмінієвих сплавів та вторинного алюмінію, конструкцію і принцип дії печей для виплавки алюмінієвих сплавів та вторинного алюмінію, фізико-хімічні основи одержання силуміну та вторинного алюмінію, технології плавки, рафінування та розливки алюмінієвих сплавів та вторинного алюмінію.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- головні сплави алюмінію, їх склад та застосування;
- основи технології отримання силуміну;
- основи технології одержання вторинного алюмінію та його сплавів.

### **2.5.4 Питання для самоперевірки**

1. Які основні компоненти входять до складу головних сплавів алюмінію дюралюмінію та силуміну?
2. Вкажіть принцип дії полум'яних відбивних печей.
3. Вкажіть принцип дії шахтних печей для плавки алюмінієвого лома та

відходів.

4. Вкажіть принцип дії коротко барабанних печей для плавки алюмінієвої стружки.

5. Вкажіть принцип дії індукційних тигельних і каналних печей.

6. Яка частка вторинного алюмінію та його сплавів в загальному обсязі алюмінієвого виробництва?

7. Наведіть технологію плавки крупно кускових відходів і алюмінієвого лому.

8. Наведіть технологію плавки алюмінієвої стружки.

9. Наведіть технологію плавки з'йомів.

10. Наведіть технологію плавки вторинного алюмінію та його сплавів зі змішаної шихти (з'йоми, литий кусковий лом, пакети з м'якої висічки або з обрізі та інші).

11. Які способи використовують для рафінування вторинного алюмінію та його сплавів?

12. Запишіть реакції, що йдуть при спільному відновленні алюмінію та кремнію при одержанні силуміну.

## **Тема 2.6 Одержання без водяного хлориду магнію (1 година лекцій, самостійна роботи)**

### **2.6.1 Програма**

Сировина для одержання магнію. Виробництво штучного карналіту.

Зневоднення карналіту та бішофіту. Одержання хлориду магнію хлоруванням оксиду магнію.

### **2.6.2 Література**

[1] С. 223-24; [2] С. 14-70; [3] С. 307-325.

### **2.6.3 Методичні вказівки**

У цій темі необхідно уяснити сировину для виробництва без водяного хлориду магнію, принцип та технологічну схему виробництва штучного карналіту, особливості зневоднення карналіту та бішофіту, технологію одержання хлориду магнію хлоруванням оксиду магнію.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- сировину для виробництва без водяного хлориду магнію;
- принцип та технологічну схему виробництва штучного карналіту;
- особливості зневоднення карналіту та бішофіту;
- технологію одержання хлориду магнію хлоруванням оксиду магнію.

#### **2.6.4 Питання для самоперевірки**

1. Яка сировина для виробництва без водяного хлориду магнію?
2. У якій формі міститься магній у магнезиті та бішофіті?
3. У якій формі міститься магній у магнезиті та доломіті?
4. Яка хімічна формула карналіту?
5. Яка хімічна формула бішофіту?
6. Яка хімічна формула магнезиту?
7. Яка хімічна формула доломіту?
8. Чому при хлоруванні оксиду магнію в шихту вводять вуглець?
9. Які принцип і технологічна схема виробництва штучного карналіту?

### **Тема 2.7 Електролітичне одержання магнію (2 години лекцій, самостійна робота)**

#### **2.7.1 Програма**

Теоретичні основи електролітичного одержання магнію. Види електролітів та їх склад і властивості. Загальна будова магнієвого електролізера. Види електролізерів. Основні параметри електролізу магнію. Можливі порушення технологічного режиму. Основні операції обслуговування магнієвих електролізерів.

#### **2.7.2 Література**

[1] С. 248-312; [2] С. 70-104; [3] С. 325-356.

#### **2.7.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології електролітичного одержання магнію.

У цій темі необхідно уяснити сировину та технологічну схему електролітичного одержання магнію, види та властивості електролітів, електродні реакції, загальну будову магнієвого електролізера, види

електролізерів, основні параметри електролізу магнію, операції обслуговування магнієвих електролізерів: подачу сировини, корекцію складу електроліту, витягання магнію та шламу із ванни, догляд за анодами та катодами, можливі порушення технологічного режиму.

Вивчивши тему, студент винен знати:

- технологічну схему електролітичного одержання магнію;
- сировину для електролітичного одержання магнію;
- види електролітів та їх склад і властивості;
- реакції, що йдуть на катоді та аноді при електролізері;
- загальну будову та види магнієвих електролізерів;
- операції обслуговування магнієвих електролізерів.

#### **2.7.4 Питання для самоперевірки**

1. Чому чистий  $MgCl_2$  не використовують як електроліт при електролізі магнію?
2. Електролітичний магній отримують у вигляді чого?
3. З чого виготовляють анод і катод в магнієвому електролізері?
4. Дисоціацію якої сполуки використовують при електролітичному отриманні магнію?
5. Де збирається магній у магнієвому електролізері?
6. При якій концентрації  $MgCl_2$  в електроліті забезпечується максимальний вихід по струму при електролізі магнію?
7. Що є джерелом тепла в магнієвому електролізері?
8. Яка концентрація  $MgCl_2$  у відпрацьованому електроліті магнієвого електролізера?
9. Які шкідливі наслідки присутності вологи в електроліті при електролізері магнію?
10. Скільки електроенергії витрачається на отримання 1 т магнію?
11. За допомогою чого витягують з електролізера магній та шлам?
12. Чому магній не можна отримати електролізом водних розчинів?
13. Запишіть реакції, що йдуть на катоді та аноді при електролітичному отриманні магнію.

## **Тема 2.8 Термічні способи одержання магнію (1 година лекцій, самостійна робота)**

### **2.8.1 Програма**

Теоретичні основи силікотермічного відновлення магнію. Технологічна схема процесу. Загальна будова роторної печі для одержання магнію.

### **2.8.2 Література**

[2] С. 104-112; [3] С. 356-356.

### **2.8.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології силікотермічного одержання магнію.

У цій темі необхідно уявити сировину, технологічну схему та реакції силікотермічного відновлення магнію. Загальну будову ретортної печі для одержання магнію.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- технологічну схему термічних способів одержання магнію;
- сировину для силікотермічного відновлення магнію;
- загальну будову ретортної печі для одержання магнію.

### **2.8.4 Питання для самоперевірки**

1. Промислове виробництво магнію термічним методом засноване на застосуванні чого в якості відновника?
2. Яка реакція лежить в основі термічних способів одержання магнію?
3. Які речовини входять до складу шихти при промисловому виробництві магнію термічними методами?
4. Чому силікотермічне виробництво магнію здійснюється у вакуумі?
5. Яка технологічна схема силікотермічного отримання магнію?
6. Яка загальна будова ресорної печі для одержання магнію?
7. Як витягують з роторної печі магній?

## **Тема 2.9 Рафінування та розливка магнію (самостійна робота)**

### **2.9.1 Програма**

Склад рафінуючих флюсів. Рафінування сублімацією. Захист магнію від окислення при розливці та складуванні.

### **2.9.2 Література**

[1] С. 312-320; [2] С. 112-120.

### **2.9.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології рафінування та розливки магнію.

В цій темі необхідно уявити, які шкідливі домішки присутні в магнію-сирцю, марки магнію, склад та властивості рафінуючих флюсів, принцип та технологічну схему рафінування сублімацією, особливості розливки магнію та способи захисту магнію від окислення.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- склад і властивості рафінуючих флюсів;
- принцип та технологічну схему рафінування сублімацією;
- особливості розливки магнію;
- способи захисту магнію від окислення при розливці та складуванні.

### **2.9.4 Питання для самоперевірки**

1. Які шкідливі домішки присутні в магнію-сирці?
2. Які методи застосовуються для рафінування магнію-сирця?
3. Магній марки МГ90 повинен мати вміст магнію не менш якої величини?
4. З чого складаються возгони при переплаві магнію-сирця у вакуумі?
5. Яким чином струмінь магнію захищають від окислення при розливці?

## **Тема 2.10 Виробництво чотирихлориду титану (1 година лекцій, самостійна робота)**

### **2.10.1 Програма**

Теоретичні основи відновлення оксиду титану вуглецем. Відновлювальна плавка титанового шлаку. Виробництво чотирихлориду титану хлоруванням титанового шлаку. Очищення чотирихлориду титану способом ректифікації.

### **2.10.2 Література**

[4] С. 9-196.

### **2.10.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології виробництва чотирихлориду титану.

У цій темі необхідно уяснити сировину для одержання чотирихлориду титану, принцип та технологічну схему виробництва чотирихлориду титану хлоруванням титанового шлаку, реакції, що йдуть при відновленні оксиду титану вуглецем і при хлоруванні титанового шлаку, види хлорувань титанового шлаку та їх суть, принцип та технологічну схему очищення чотирихлориду титану способом ректифікації.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- сировину для виробництва чотирихлориду титану;
- принцип та технологічну схему одержання чотирихлориду титану;
- принцип та технологічну схему ректифікації чотирихлориду титану.

### **2.10.4 Питання для самоперевірки**

1. Яку сировину використовують для одержання чотирихлориду титану?
2. У якій формі міститься титан у рутилі та ільменіті?
3. Яка хімічна формула рутилу?
4. Яка хімічна формула ільменіту?
5. Де та чому проводиться плавка титанового шлаку?
6. При відновленні рутилу вуглецем, яка термодинамічно найбільш вірогідна реакція?
7. Яка питома витрата електроенергії при плавці титанового шлаку?
8. Що є попутним продуктом при плавці титанового шлаку?

9. Що входить до складу шихти при отриманні чотирихлориду титану?
10. Чому при хлоруванні титанового шлаку в шихту вводять вуглець?
11. Запишіть реакції, що йдуть при хлоруванні титанового шлаку.
12. Вкажіть види хлорувальних оксидів титану та їх суть.
13. Яким способом очищують технічний  $TiCl_4$  від домішок інших хлоридів?

## **Тема 2.11 Відновлення чотирихлориду титану. Рафінування титану. Виробництво компактного титану (2 години лекцій, самостійна робота)**

### **2.11.1 Програма**

Відновлення чотирихлориду титану магнієм. Очищення губчастого титану вакуумною дистиляцією. Натрієтермічне відновлення чотирихлориду титану. Кальцієтермічне відновлення двооксиду титану. Виробництво компактного титану шляхом переплаву губчастого титану у дугових печах та способом порошкової металургії. Рафінування титану.

### **2.11.2 Література**

[4] С. 196-281.

### **2.11.3 Методичні вказівки**

Мета вивчення теми - засвоєння основ технології відновлення чотирихлориду титану, рафінування титану, виробництва компактного титану.

В цій темі необхідно уявити принципи та технологічні схеми відновлення чотирихлориду титану магнієм або натрієм, кальцієтермічного відновлення двооксиду титану, очищення губчастого титану вакуумною дистиляцією, технологію виробництва компактного титану шляхом переплаву губчастого титану та способом порошкової металургії. Необхідно також уявити, що в Україні зараз існує тільки промислове виробництво губчастого титану, який є напівпродуктом для отримання титанового прокату та литва. В той же час Україна у значних кількостях експортує титанові концентрати та губчастий титан.

Вивчивши тему, студент повинен знати:

- теоретичні основи та технологічні схеми відновлення  $TiCl_4$  магнієм або



натрієм;

- принцип і устаткування для очищення губчастого титану вакуумною дистиляцією;

- технологію виробництва компактного титану.

#### **2.11.4 Питання для самоперевірки**

1. Запишіть хімічну реакцію, яка лежить в основі магнієтермічного відновлення титану?

2. Підновлення  $TiCl_4$  магнієм проводять в атмосфері чого?

3. Який коефіцієнт використання магнію при магнієтермічному отриманні титану?

4. Що застосовують для очищення титанової губки від залишків магнію та його хлориду?

5. За допомогою чого витягують з реторти титанову губку?

6. У якому вигляді отримують титан магнієтермічним способом?

7. У якому вигляді отримують титан натрієтермічним способом?

8. Запишіть хімічну реакцію, яка лежить в основі натрієтермічного відновлення тетрахлориду титану?

9. З чого складається шихта при кальцієтермічному отриманні титану?

10. У якому вигляді отримують титан кальцієтермічним способом?

11. Запишіть хімічну реакцію, яка лежить в основі кальцієтермічного відновлення двооксиду титану.

12. Запишіть хімічну реакцію, яка лежить в основі йодидного методу рафінування титану.

13. Що лежить в основі термічного способу рафінування титану?

14. У якому вигляді отримують титан при його рафінуванні електролізом, йодуванням або термічним способом?

15. Поясніть, чому для отримання зливків титану з титанової губки використовують методи спецеелектрометалургії.

### **3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

Згідно з робочою програмою дисципліни передбачається проведення практичних занять тривалістю 4 години аудиторних занять, та самостійної роботи.

Практичні заняття проводяться в аудиторії під керівництвом викладача.

Практичні заняття виконуються з використанням літератури [1, 2], які містять приклади рішення типових технологічних задач.

#### **4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ**

Завдання оформлюється на аркушах А4: титульний аркуш, зміст, текст роботи, список використаної літератури; шрифт 14; інтервал 1-1,5; або рукописного у вигляді зошита.

Індивідуальне завдання присвячено розрахункам (6 завдань) технологічних параметрів виробництва основних легких металів (алюмінію, магнію та титану).

Нижче наведена методика, приклад розрахунку та варіанти завдань.

Умови завдань:

##### **Завдання 1**

Алюмінієвий електролізер працює з силою струму **A** при напрузі на ванні **B** і виході по струму **C**. Анодний газ містить по 50%  $\text{Co}$  і  $\text{CO}_2$ . теплота згоряння вуглецю аноду при  $950^\circ\text{C}$  складає 312 ккал/моль для реакції  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Al} + 3\text{CO}$  і 492,5 ккал/моль для реакції  $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 4\text{Al} + 3\text{CO}_2$ . Визначити кількість тепла від окислення аноду за добу роботи електролізера.

##### **Завдання 2**

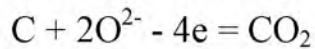
У цеху встановлені алюмінієві електролізери, розраховані на силу струму **A** при напрузі на ванні **B** і виході по струму **C**. Визначити необхідну кількість електролізерів і серій в цеху для забезпечення його продуктивності 100 тис. т у рік. Прийняти, що фактичний час роботи електролізерів за рік 350 діб, а напруга серії дорівнює 650 В.

##### **Завдання 3**

Серія з **C** безперервно працюючих електролізерів, розрахованих на силу струму **A**, видала за 30 діб **B** т алюмінію марки А5 (99,5%). Середня напруга на серії 675 В. визначити вихід по струму і питому витрату електроенергії на 1 т отриманого алюмінію.

#### Завдання 4

Магнієвий електролізер працює з силою струму **A** при виході по струму **B**. Анодні гази містять 70%  $\text{Cl}_2$  і **C**  $\text{CO}_2$ . Визначити питому витрату (на 1 т  $\text{Mg}$ ) графітових анодів на процес їх електрохімічного окислення по реакції:



#### Завдання 5

Розрахувати витрату ільменітового концентрату (**A**  $\text{TiO}_2$ ) і титанового шлаку (**B**  $\text{TiO}_2$ ) на 1 т чистого  $\text{TiCl}_4$ . Прийняти витягання титану в шлак 90%, а ступінь хлорування  $\text{TiO}_2$  **C**.

#### Завдання 6

Розрахувати витрату  $\text{TiCl}_4$  і магнію на **C** титанової губки (**A**  $\text{Ti}$ ), якщо коефіцієнт використання магнію **B**.

Методика та приклади розрахунків завдання:

#### Завдання 1

Алюмінієвий електролізер працює з силою струму 150 кА при напрузі на ванні 4,5 В і виході по струму 90%. Анодною газ містить по 50%  $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$  теплота згоряння вуглецю анода при  $950^\circ\text{C}$  складає 312 ккал / моль для реакції  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Al} + 3\text{CO}$  і 492,5 ккал / моль, а для реакції  $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 4\text{Al} + 3\text{CO}_2$ . Визначити кількість тепла від окислення аноду за добу роботи електролізера.

#### Рішення:

1) Від згоряння вугільного анода прихід тепла розраховується за виразом:

$$Q_{\text{ан.}} = K_{\text{CO}_2} \cdot \Delta H_{\text{CO}_2} + K_{\text{CO}} \cdot \Delta H_{\text{CO}},$$

де  $K_{\text{CO}_2}$  і  $K_{\text{CO}}$  - відповідно число кіломолей  $\text{CO}_2$  і  $\text{CO}$ , що утворюються в годину;  $\Delta H_{\text{CO}_2}$  і  $\Delta H_{\text{CO}}$  - відповідно теплові ефекти реакцій утворення  $\text{CO}_2$  і  $\text{CO}$ .

2) Число кіломолей  $\text{CO}_2$  і  $\text{CO}$ , що утворюються за добу, визначаємо з виразів:

$$K_{\text{CO}_2} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot 242 \cdot j \cdot V_T \cdot \frac{m}{1+m},$$

$$K_{CO} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot 242 \cdot j \cdot V_T \cdot \frac{1-m}{1+m}$$

де  $m$  - об'ємна частка  $CO_2$  в анодних газах.

У нашому випадку:

$$K_{CO_2} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot 242 \cdot 150 \cdot 10^3 A \cdot 0,9 \cdot \frac{0,5}{1+0,5} = 20 \text{ кмоль/добу}$$

$$K_{CO} = 18,657 \cdot 10^{-6} \cdot 242 \cdot 150 \cdot 10^3 A \cdot 0,9 \cdot \frac{0,5}{1+0,5} = 20 \text{ кмоль/добу}$$

4) Отже:

$$Q_{ан.} = 20 \text{ кмоль/добу} \cdot 312 \text{ ккал/моль} + 20 \text{ кмоль/добу} \cdot 492,5 \text{ ккал/моль} = \\ = 20 \cdot 10^3 \text{ моль/добу} (312 + 492,5) \text{ ккал/моль} = 16090 \cdot 10^3 \text{ ккал/добу.}$$

Відповідь:  $16090 \cdot 10^3$  ккал / добу.

## Завдання 2

У цеху встановлені алюмінієві електролізери, розраховані на силу струму 150 кА при напрузі на ванні 4,5 В і виході по струму 90%. Визначити необхідну кількість електролізерів й серій в цеху для забезпечення його продуктивності 100 тис. т у рік. Прийняти, що фактичній годину роботи електролізерів за рік 350 діб, а напруга серії дорівнює 650 В.

### Рішення:

1) Річна продуктивність одного електролізера дорівнює:

$$g_e = j \cdot \tau \cdot Q_{Al} \cdot V_c;$$

$$g_e = 150 \cdot 10^3 A \cdot (24 \text{ ч/добу} \cdot 350 \text{ діб}) \cdot 0,3355 \text{ г/(A} \cdot \text{г)} \cdot 0,90 = 380,46 \text{ т/рік}$$

2) Необхідна кількість електролізерів в цеху одно:

$$n_{ц} = \frac{g_{ц}}{g_e} = \frac{100 \cdot 10^3 \text{ т/рік}}{380,46 \text{ т/гріц}} = 262,84, \quad \text{т.к. } n_{ц} \text{ - тільки ціло число, то}$$

необхідну кількість працюючих електролізерів повинно бути 263 (якщо 1 серія). Враховуючи, що у нас швидше за все буде 2 серії і у них середня напруга однаково - 650 В, тому кількість електролізерів в серії також повинна бути однаково. Т.ч.  $n_{ц} = 264$  - якщо 2 серії.

3) Сумарна напруга на всіх електролізерах в цеху одно (випадок, якщо 2 серії):

$$U_{ц} = U_e \cdot n_{ц} = 4,5 \text{ В} \cdot 264 = 1188 \text{ В},$$

4) Кількість серій у цеху:

$$n_c = \frac{U_{ц}}{U_c} = \frac{1188 \text{ В}}{650 \text{ В}} = 1,83,$$

але тому що  $n_c$  - тільки ціле число, то кількість серій в цеху повинно бути 2.

5) Кількість ванн у кожній серії:

$$n_b = \frac{n_{ц}}{n_c} = \frac{264 \text{ шт.}}{2} = 132 \text{ шт.}$$

6) Тепер можна визначити фактичне напруга на серії:

$$U_c = U_e \cdot n_b = 4,5 \text{ В} \cdot 132 \text{ шт.} = 594 \text{ В}.$$

Відповідь:  $n_{ц} = 264$  електролізера в 2 серіях по 132 електролізера у кожній.

### Завдання 3

Серія з 150 безперервно працюючих електролізерів, розрахованих на силу струму 150 кА, видала за 30 діб 4500 т алюмінію марки А5 (99,5%). Середня напруга на серії 675 В. визначити вихід по струму і питому витрату електроенергії на 1 т отриманого алюмінію.

#### Рішення:

1) Вихід по струму являє собою відношення фактично отриманого Al ( $g_{\text{факт.}}$ ) До теоретичного ( $g_{\text{теор.}}$ ). Т.ч.:

$$B_c = \frac{g_{\text{факт.}}}{g_{\text{теор.}}} \cdot 100\%,$$

$$g_{\text{факт.}} = 0,995 \cdot 4500 \text{ т} = 4477,5 \text{ т},$$

$$g_{\text{теор.}} = j \cdot \tau \cdot q_{\text{Al}} \cdot n_c = 150 \cdot 10^3 \text{ А} \cdot (24 \text{ год/доб} \cdot 30 \text{ діб}) \cdot 0,3355 \text{ г/(А} \cdot \text{г)} \cdot 150 \text{ шт} = 5435 \text{ т},$$

$$B_c = \frac{4477,5 \text{ т}}{5435 \text{ т}} \cdot 100\% = 82\%.$$

2) Питоме витрата електроенергії на серії дорівнює:

$$W_c = \frac{Q_c^{\text{заг.}}}{\xi_{\text{факт.}}} = \frac{j \cdot U_c \cdot \tau}{\xi_{\text{факт.}}}, \quad \text{де}$$

$Q_c^{\text{заг.}}$  - загальний прихід енергії на серії за одиницю часу, Дж.

$$150 \cdot 10^3 \text{ A} \cdot 675 \text{ В} \cdot (24 \text{ год/добу} \cdot 30 \text{ діб})$$

$$W_c = \frac{\dots}{4477,5 \text{ т}} = 16281 \text{ кВт} \cdot \text{год/т}$$

Відповідь:  $B_c = 82\%$ ,  $W_c = 16281 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}$

#### Завдання 4

Магнієвий електролізер працює з силою струму 50 кА при виході по струму 80%. Анодні гази містять 70%  $\text{Cl}_2$  і 8%  $\text{CO}_2$ . Визначити питому витрату (на 1 т Mg) графітових анодів на процес їх електрохімічного окислення по реакції:  $\text{C} + 2\text{O}^{2-} - 4\text{e} = \text{CO}_2$

#### Рішення:

1) Питома витрата графітових анодів на 1 т Mg дорівнює:

$$m_c = \frac{g_a}{g_{\text{Mg}}},$$

де  $g_{\text{Mg}}$  - кількість магнію, одержуваного з електролізера за 1 годину;  
 $g_a$  - витрата анода за 1 годину електролізу.

$$2) g_{\text{Mg}} = j \cdot \tau \cdot q_{\text{Mg}} \cdot B_c = 50 \text{ кА} \cdot 1 \text{ год} \cdot 0,454 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}} \cdot 0,80 = 18,2 \text{ кг/г}$$

$$g_a = j \cdot \tau \cdot q_c \cdot B_c^c = 50 \text{ кА} \cdot 1 \text{ ч} \cdot 0,112 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}} \cdot B_c^c$$

де  $B_c^c$  - анодний вихід по струму для згорання анодів.

3) Враховуючи, що для отримання однакових обсягів газу на  $\text{CO}_2$  затрачається вдвічі більшу кількість електрики, ніж на  $\text{Cl}_2$ , так як  $\text{C} + 2\text{O}^{2-} - 4\text{e} = \text{CO}_2$  та  $2\text{Cl}_2 - 2\text{e} = \text{Cl}_2$ , тому анодний вихід по струму для згорання анодів дорівнює:

$$B_c^c = \frac{2 P_{\text{CO}_2}}{2 P_{\text{CO}_2} + P_{\text{Cl}_2}} \cdot B_c = \frac{2 \cdot 8\%}{2 \cdot 8\% + 70\%} \cdot 80\% = 14,9\%.$$

5) Отже:

$$m_c = \frac{g_a \cdot j \cdot \tau \cdot q_c \cdot V_c^c}{g_{Mg} \cdot j \cdot \tau \cdot q_{Mg} \cdot V_c} = \frac{q_c}{q_{Mg}} \cdot \frac{2 P_{CO_2}}{2 P_{CO_2} + P_{Cl_2}} = \frac{0,112 \text{ г/(А·год)}}{0,454 \text{ г/(А·год)}} \cdot \frac{2 \cdot 8\%}{2 \cdot 8\% + 70\%} =$$

$$= 0,186 \cdot \frac{0,112}{0,454} \text{ т/т} = 46 \text{ кг на 1 т Mg.}$$

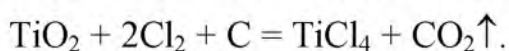
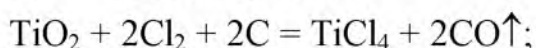
**Відповідь:** Питома витрата графітових анодів 46 кг на 1 т Mg.

### Завдання 5

Розрахувати витрату ільменітового концентрату (50% TiO<sub>2</sub>) і титанового шлаку (80% TiO<sub>2</sub>) на 1 т чистого TiCl<sub>4</sub>. Прийняти витягання титану в шлак 90%, а ступінь хлорування TiO<sub>2</sub> 98%.

#### Рішення:

1) Реакції процесу:



2) На 1 т TiCl<sub>4</sub> використовується m<sub>TiO<sub>2</sub></sub>, при цьому з 1 молекули TiO<sub>2</sub> утворюється молекула 1 TiCl<sub>4</sub>. Т.ч. можна записати пропорцію:

$$m_{TiO_2 - TiCl_4} = m_{TiO_2} = \frac{A_{TiO_2}}{A_{TiCl_4}} \cdot 1 \text{ т} = \frac{47,9 + 2 \cdot 16}{47,9 + 4 \cdot 35,5} \cdot 1 \text{ т} = \frac{79,9}{189,9} = 0,42 \text{ т.}$$

З урахуванням того, що ступінь хлорування TiO<sub>2</sub> складає 98%, то, відповідно, нам треба 0,42 т / 0,98 = 0,429 т чистого TiO<sub>2</sub>.

3) У титановому шлаку міститься 80% TiO<sub>2</sub>, тому його треба 0,429т/0,8 = 0,536 т.

4) У ільменітовому концентраті міститься 50% TiO<sub>2</sub>, тому його треба 0,429т/0,5 = 0,858 т. Враховуючи, що вилучення титану в шлак становить 90%, тому в підсумку концентрату треба: 0,858 т / 0,9 = 0,953 т.

**Відповідь:** m<sub>Ti-шлаку</sub> = 0, 536 т, m концентрата ільменітового = 0, 953 т.

### Завдання 6

Розрахувати витрату TiCl<sub>4</sub> і магнію на 1 т титанової губки (99,8% Ti), якщо коефіцієнт використання магнію 70%.





Варіанти завдання наведені у таблиці 3.1-3.5.

Таблиця 3.1 – Варіанти і умови до завдання 1 та 2

№ варіанта	A, кА	B, В	C, %
1	100	4,70	86
2	110	4,70	87
3	120	4,70	88
4	130	4,65	89
5	140	4,65	86
6	150	4,65	87
7	160	4,55	88
8	100	4,55	89
9	110	4,55	86
10	120	4,50	87
11	130	4,50	88
12	140	4,50	89
13	150	4,45	90
14	160	4,45	91
15	100	4,45	92
16	110	4,40	90
17	120	4,40	91
18	130	4,40	92
19	140	4,60	90
20	150	4,60	91
21	160	4,60	92

Таблиця 3.2 - Варіанти і умови до завдання 3

№ варіанта	А, кА	В, тонн	С, шт.
1	100	4400	135
2	110	4400	140
3	120	4400	145
4	130	4500	150
5	140	4500	135
6	150	4500	140
7	160	4600	145
8	100	4600	150
9	110	4600	135
10	120	4700	140
11	130	4700	145
12	140	4700	150
13	150	4800	155
14	160	4800	160
15	100	4800	165
16	110	4900	155
17	120	4900	160
18	130	4900	165
19	140	5000	155
20	150	5000	160
21	160	5000	165

Таблиця 3.3 - Варіанти і умови до завдання 4

№ варіанта	А, кА	В, %	С, %
1	50	80	7
2	60	80	8
3	70	80	9
4	80	81	10
5	90	81	7
6	100	81	8
7	110	82	9
8	50	82	10
9	60	82	7
10	70	83	8
11	80	83	9
12	90	83	10
13	100	84	11
14	110	84	12
15	50	84	13
16	60	85	11
17	70	85	12
18	80	85	13
19	90	86	11
20	100	86	12
21	110	86	13

Таблиця 3.4 - Варіанти і умови до завдання 5

№ варіанта	А, %	В, %	С, %
1	49	80	93
2	50	80	94
3	51	80	95
4	52	81	96
5	53	81	93
6	54	81	94
7	55	82	95
8	49	82	96
9	50	82	93
10	51	83	94
11	52	83	95
12	53	83	96
13	54	84	97
14	55	84	98
15	49	84	99
16	50	85	97
17	51	85	98
18	52	85	99
19	53	86	97
20	54	86	98
21	55	86	99

Таблиця 3.5 - Варіанти і умови до завдання 6

№ варіанта	А, %	В, %	С, тонн
1	99,60	69	1
2	99,70	69	2
3	99,75	69	3
4	99,80	70	4
5	99,85	70	1
6	99,90	70	2
7	99,60	71	3
8	99,70	71	4
9	99,75	71	1
10	99,80	72	2
11	99,85	72	3
12	99,90	72	4
13	99,60	73	5
14	99,70	73	6
15	99,75	73	7
16	99,80	74	5
17	99,85	74	6
18	99,90	74	7
19	99,60	75	5
20	99,70	75	6
21	99,75	75	7

## Зміст

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	3
2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ТЕМ	4
Тема 2.1 Вступ	4
Тема 2.2 Виробництво глинозему	5
Тема 2.3 Електролітичне одержання алюмінію	6
Тема 2.4 Рафінування алюмінію	8
Тема 2.5 Одержання алюмінієвих сплавів та вторинного алюмінію	9
Тема 2.6 Одержання без водяного хлориду магнію	10
Тема 2.7 Електролітичне одержання магнію	11
Тема 2.8 Термічні способи одержання магнію	13
Тема 2.9 Рафінування та розливка магнію	14
Тема 2.10 Виробництво чотирихлориду титану	15
Тема 2.11 Відновлення чотирихлориду титану. Рафінування титану. Виробництво компактного титану	16
3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	17
4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ	18