


**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТАЛУРГІЇ ТА
ПОЗАДОМЕННЕ ОТРИМАННЯ ЗАЛІЗА**

**методичні вказівки
до виконання практичних робіт та
індивідуальних завдань**



УДК 669.1 (072)
П26

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 01 від 27.09.2024 р.)

Укладачі:

Мамешин В.С., канд. техн. наук, доцент
Реков Ю.В., канд. техн. наук,
Ягольник М.В., канд. техн. наук, доцент

П26 **Перспективи** розвитку металургії та позадоменне отримання заліза :
методичні вказівки до виконання практичних робіт та індивідуальних завдань
/ уклад.: В. С. Мамешин, Ю. В. Реков, М. В. Ягольник. Запоріжжя :
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 20 с.

Викладено методичні вказівки до дисципліни «Перспективи розвитку металургії та позадоменне отримання заліза» наведено методичні вказівки для виконання практичних завдань підготовки та захисту індивідуальних завдань. Призначені для студентів спеціальності 136 – металургія (магістерський рівень).

УДК 669.1 (072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



ЗМІСТ

ВСТУП	4
Правила виконання практичних робіт	4
Загальні вказівки щодо оформлення звіту та критерії оцінювання	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА. Отримання відновного газу кисневою конверсією газоподібного палива	5
ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ	13
ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ	15
ДОДАТКИ	17



ВСТУП

Перспективи розвитку металургії та позадоменне отримання заліза – є одним з базових курсів підготовки металургів, який дозволить Вам набути знання та отримати професійні компетенції пов'язані з сучасними та перспективними металургійними процесами прямого отримання первородного металу або рідкого вуглецевого напівпродукту з залізарудної сировини без застосування металургійного коксу.

Особливістю курсу є поєднання вивчення теорії механізму відновлення заліза за допомогою газоподібних та твердих відновників й відомостей про перспективні технології процесів твердофазного й рідкофазного відновлення заліза.

В рамках даного підходу курс інтегрує знання з основ металургійних технологій, металургійних агрегатів, підготовки металургійної сировини та металургії чавуну.

Отримані знання можуть бути корисними при виконанні випускної кваліфікаційної роботи та застосовані у подальшій професійній діяльності.

Правила виконання практичних робіт

1. Практичні роботи виконуються згідно із затвердженим семестровим графіком, який викладається в Moodle.
2. Звіт про виконання роботи в обов'язковому порядку завантажуються в систему Moodle в розділі відповідного курсу.
3. При захисті роботи студент зобов'язаний знати основні теоретичні положення за даною роботою.

Загальні вказівки щодо оформлення звіту та критерії оцінювання

Звіт повинен містити найменування та мету даної роботи, виконані розрахунки, за потреби висновки і практичні рекомендації.

Практичні роботи здобувачами виконуються за допомогою обчислювальної техніки, в середовищі Excel або Mathcad. Результатом виконання практичної роботи є оформлений за вимогами та зданий звіт в форматі. Максимальна кількість балів, яку здобувач може отримати за виконання кожної практичної роботи – 10.



ПРАКТИЧНА РОБОТА ОТРИМАННЯ ВІДНОВНОГО ГАЗУ КИСНЕВОЮ КОНВЕРСІЄЮ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА

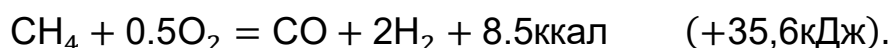
Мета роботи: вивчення загальних принципів отримання відновного газу кисневою конверсією природного газу

Теоретичні положення

Основним видом газоподібного палива для виробництва відновного газу є природний газ.

У процесі конверсії відбувається часткове окислення метану, що є основним компонентом газоподібного палива, з утворенням водню і окислу вуглецю. В якості окисників застосовується технічний кисень.

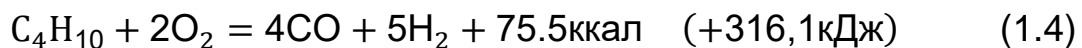
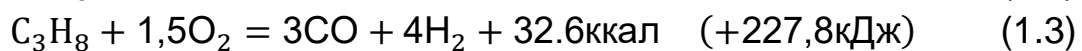
Реакція конверсії метану з вказівкою її теплоти може бути виражена рівнянням:



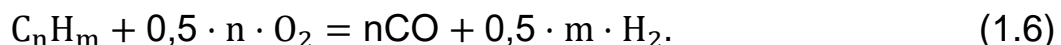
Киснева конверсія природного газу

Процес конверсії природного газу киснем являє собою неповне його горіння у вільному об'ємі у відсутності каталізатора, що супроводжується виділенням тепла.


У першому наближенні конверсію компонентів природного газу, що містять вуглець, можна виразити реакціями:



чи в загальному вигляді



Хід приведених реакцій у відсутність каталізатора забезпечується температурою горіння, що дорівнює 1350-1450°C. Для автотермічного протікання процесу конверсії, що забезпечує максимальний вміст (CO та H₂) без домішки сажистого вуглецю, необхідно природний газ і кисень (повітря) підігрівати до значних температур, оскільки температурна межа такого процесу складає 1000° C.



Автотермічне протікання процесу може бути досягнуто при нижчих температурах підігрівання у тому випадку, якщо замість стехіометричної кількості кисню (наприклад, $0,5 \text{ м}^3 \text{ O}_2/\text{м}^3 \text{ CH}_4$) подавати надмірне. Проте в цьому випадку відновний газ збагачується CO_2 і H_2O , що підвищує міру його окисленості і знижує відновну здатність.

Киснева конверсія здійснюється в спеціальних пальниках або конверторах безперервної дії.

Однією з переваг процесів, що ґрунтуються на кисневій конверсії природного газу, являється можливість їх здійснення в широкому інтервалі тисків, що не позначається на якості отриманого газу. Інша перевага процесу - можливість використання сировини з високим вмістом сірки без якої-небудь попередньої його обробки, яка в інших процесах (наприклад, парова конверсія, де використовуються каталізатори) є обов'язковою.

Недолік процесу - висока вартість чистого кисню. Застосування замість кисню повітря забруднює відновний газ азотом і, у зв'язку з цим, знижує його відновний потенціал.

1.1 Матеріальний баланс кисневої конверсії природного газу

Для визначення матеріально-теплових показників процесу конверсії і складу конвертованого газу використовують розрахунки, що ґрунтуються на складанні матеріального і теплового балансів.

При конверсії природного газу в отримуваному продукті завжди є залишкова кількість метану (до 1%). Тому приймаємо, - що в початковій суміші міститься $(1 + n_{\text{CH}_4})$ молів метану, з яких 1 моль завжди повністю реагує, а n_{CH_4} відповідає числу молів метану в продуктах конверсії.

Число молів CO , що утворюється в результаті конверсії, можна визначити за рівнянням:

$$n_{\text{CO}} = \sum C_1 - n_{\text{CO}_2}, \quad (1.7)$$

де n_{CO_2} - число молів CO_2 в продуктах конверсії;

$\sum C_1$ - кількість грам-атомів вуглецю в 1 молі природного газу заданого складу.

$$\sum C_1 = \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_6 + 3\text{C}_3\text{H}_8 + 4\text{C}_4\text{H}_{10} + 5\text{C}_5\text{H}_{12} \quad (1.8)$$

де $\text{CH}_4 \dots \text{C}_5\text{H}_{12}$ - вміст цього вуглеводню в природному газі, част. од.

Число молів водяної пари в продуктах конверсії можна розрахувати за рівнянням:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\sum H_2 \cdot K \cdot n_{\text{CO}_2}}{\sum C_1 + n_{\text{CO}_2}}, \quad (1.9)$$

де $\sum H_2$ - сума молів водню в 1 молі природного газу заданого складу.

$$\sum H_2 = 2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_6 + 4\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{C}_4\text{H}_{10} + 6\text{C}_5\text{H}_{12}, \quad (1.10)$$

де $\text{CH}_4 \dots \text{C}_5\text{H}_{12}$ - вміст цього вуглеводню в природному газі, част. од.,
K - константа рівноваги реакції $\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ при заданій температурі.

Температура, °K	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
K	1,436	1,839	2,269	2,698	3,007	3,400	3,786

C - коефіцієнт;

$$C = K - 1. \quad (1.11)$$

Число молів водню в конвертованому газі обчислюється за рівнянням:

$$n_{\text{H}_2} = \sum H_2 - n_{\text{H}_2\text{O}} \quad (1.12)$$

Тоді рівноважне значення числа молів кисню, що вимагається для автотермічної конверсії природного газу заданого складу при заданій температурі, складе:

$$n_{\text{O}_2} = 0.5 \cdot (\sum C_1 + n_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}}) - n'_{\text{O}_2}. \quad (1.13)$$

де n'_{O_2} - число молів зв'язаного кисню в 1 молі природного газу (обчислюється у тому випадку, якщо природний газ містять CO_2 і CO , для наших умов $n'_{\text{O}_2} = 0$).

Рівняння теплового балансу реактора для кисневої конверсії природного газу має вигляд:

$$n_{O_2} \cdot H_{O_2, T_H} + (1 + n_{CH_4}) \cdot H_{п.г., T_H} = (1 - n_{CO_2}) \cdot H_{CO, T_p} + (2 - n_{H_4O}) \cdot H_{H_2, T_p} + n_{H_2O} \cdot H_{H_2O, T_p} + n_{CO_2} H_{CO_2, T_p} + n_{CH_4} \cdot H_{CH_4, T_p} + Q. \quad (1.14)$$

Використовуючи рівняння (1.7), (1.9), (1.12), (1.13) в (1.14) після ряду перетворень, отримуємо:

$$A \cdot n_{CO_2} + \frac{B \cdot n_{CO_2}}{\sum C_1 + C \cdot n_{CO_2}} - D = 0. \quad (1.15)$$

Рішення цього рівняння має вигляд:

$$n_{CO_2} = \frac{1}{2 \cdot A \cdot C} \left[(C \cdot D - \sum C_1 \cdot A - B) \pm \sqrt{(C \cdot D - \sum C_1 \cdot A - B)^2 + 4 \cdot \sum C_1 \cdot A \cdot C \cdot D} \right]. \quad (1.16)$$

Значення знака «+» або «-» вибирається таким чином, щоб отримати n_{CO_2} з позитивним знаком.

Значення коефіцієнтів А, В і Д у разі конверсії природного газу технічним киснем обчислюються за рівняннями:

$$A = H_{CO_2, T_p} - H_{CO, T_p} - 0,5 \cdot \left[H_{O_2, T_H} - \frac{\gamma}{\beta} \cdot (H_{N_2, T_p} - H_{N_2, T_H}) - \frac{\delta}{\beta} \cdot (H_{Ar, T_p} - H_{Ar, T_H}) \right] \quad (1.17)$$

$$B = \sum H_2 \cdot K \cdot \left\{ H_{H_2O, T_p} - H_{H_2, T_p} - 0,5 \cdot \left[H_{O_2, T_H} - \frac{\gamma}{\beta} \cdot (H_{N_2, T_p} - H_{N_2, T_H}) - \frac{\delta}{\beta} \cdot (H_{Ar, T_p} - H_{Ar, T_H}) \right] \right\} \quad (1.18)$$

$$D = H_{п.г., T_H} - n_{CH_4} \cdot (H_{CH_4, T_p} - H_{CH_4, T_H}) + 0,5 \cdot \sum C_1 \times \left[H_{O_2, T_H} - \frac{\gamma}{\beta} \cdot (H_{N_2, T_p} - H_{N_2, T_H}) - \frac{\delta}{\beta} \cdot (H_{Ar, T_p} - H_{Ar, T_H}) \right] - \sum C_1 \cdot H_{CO, T_p} - \sum H_2 \cdot H_{H_2, T_p} - n_{N_{2п.г.}} \cdot H_{N_2, T_p} - Q. \quad (1.19)$$

де β, γ і δ - вміст відповідно до O_2, N_2 і Ar в технічному кисні, частки од.; Q - втрати тепла, ккал на 1 моль природного газу; $H_{CO, T_p}, H_{H_2, T_p}, H_{CO_2, T_p}$

і так далі - ентальпія відповідних компонентів природного газу і технічного кисню при заданій температурі реакції (T_p, K); $H_{CO, T_H}, H_{H_2, T_H}, H_{CO_2, T_H}$ і так далі - ентальпія відповідних компонентів природного газу і технічного кисню при початковій температурі нагріву (T_H, K).

Значення ентальпій різних компонентів для температур T_p і T_H визначаються з таблиці 1 .

Ентальпія природного газу заданого вмісту ($H_{п.г.}$) складається з ентальпій його компонентів.

Наприклад:

$$H_{п.г., T_H} = H_{CH_4, T_H} \cdot CH_4 + H_{C_2H_6, T_H} \cdot C_2H_6 + H_{C_3H_8, T_H} \cdot C_3H_8 + H_{C_4H_{10}, T_H} \cdot C_4H_{10} + H_{N_2, T_H} \cdot N_2 \quad (1.20)$$

де $CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}, N_2$ - вміст відповідних компонентів в природному газі, частки од.

Обчисливши значення $n_{CO}, n_{CO_2}, n_{H_2O}, n_{H_2}$ і n_{O_2} за рівняннями відповідно (1.16), (1.7), (1.9), (1.12), (1.13), далі визначається число молі азоту і аргону в продуктах конверсії:

$$n_{N_2} = \frac{\gamma}{\beta} n_{O_2} + n_{N_2, п.г.} \quad (1.21)$$

де $n_{N_2, п.г.}$ - вміст азоту в природному газі, част. Од

$$n_{Ar} = \frac{\delta}{\beta} n_{O_2} \quad (1.22)$$

Тоді, сумарне число молів конвертованого газу, що утворився з молів природного газу, визначається з рівняння:

$$\sum n_i = n_{CO} + n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{H_2} + n_{CH_4} + n_{N_2} + n_{Ar} \quad (1.23)$$



Після цього розраховується склад вологого і сухого конвертованого газу :

Компоненти	Вологий газ		Сухий газ	
	Молі	%	Молі	%
CO ₂	n_{CO_2}		n_{CO_2}	
CO	n_{CO}		n_{CO}	
H ₂	n_{H_2}		n_{H_2}	
CH ₄	n_{CH_4}		n_{CH_4}	
N ₂	n_{N_2}		n_{N_2}	
Ar	n_{Ar}		n_{Ar}	
H ₂ O	n_{H_2O}		-	
Всього	$\sum n_i$		$\sum n_i$	

Витрата природного газу і технічного кисню для отримання 1000 м³ відновного газу визначається за рівняннями:

$$П.Г. = \frac{1000 \cdot (1 + n_{CH_4})}{n_{CO} + n_{H_2}}, \text{ м}^3 \quad (1.24)$$

$$O_2 = \frac{П.Г. \cdot n_{O_2}}{(1 + n_{CH_4})}, \text{ м}^3 \quad (1.25)$$

1.2. Розрахунок продуктивності установки твердофазного відновлення

Розрахунок ведеться на підставі даних про вміст залізорудного матеріалу, готового продукту і відомостей про відновну роботу газу в печі.

При відновленні 1 кг Fe з Fe₂O₃ віднімається кисню $(Fe_2O_3 = 2Fe + \frac{3}{2}O_2)$

$$\frac{22,4 \cdot 3/2}{112} = 0,3 \text{ м}^3/\text{кг Fe} . \quad (1.26)$$

При відомому вмісті CO і H₂ (у долях одиниці) в газі і ступеню їх використання η_{CO} і η_{H_2} 1 м³ відновного газу віднімає кисню $0,5 \cdot (CO \cdot \eta_{CO} + H_2 \cdot \eta_{H_2})$ м³ O/м³ газу.

Тоді для відновлення 1 кг Fe з Fe₂O₃ знадобиться газу (м³/кг Fe₂O₃)

$$V_{\Gamma}^{Fe_2O_3} = \frac{0,3}{0,5 \cdot (CO \cdot \eta_{CO} + H_2 \cdot \eta_{H_2})} = \frac{0,6}{A}, \quad (1.27)$$

де A - кількість CO і H_2 газу, використаних на відновлення, що дорівнює $\text{CO} \cdot \eta_{\text{CO}} + \text{H}_2 \cdot \eta_{\text{H}_2}$.

Аналогічно знаходимо кількість газу, яка потрібна на відновлення заліза з FeO .

При відновленні 1 кг Fe з FeO ($\text{FeO} = \text{Fe} + 0,5 \cdot \text{O}_2$) треба відняти кисню

$$\frac{22,4 \cdot 0,5}{56} = 0,2 \text{ м}^3/\text{кг Fe}. \quad (1.28)$$

Для цього знадобиться відновного газу ($\text{м}^3/\text{кг FeO}$)

$$V_{\text{r}}^{\text{FeO}} = \frac{0,2}{0,5 \cdot (\text{CO} \cdot \eta_{\text{CO}} + \text{H}_2 \cdot \eta_{\text{H}_2})} = \frac{0,4}{A}. \quad (1.29)$$

При спільному використанні заліза з FeO й Fe_2O_3 потрібно газу:

$$\begin{aligned} V_{\text{r}} &= \frac{1}{A} \cdot \frac{0,6 \cdot \text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + 0,4 \cdot \text{Fe}_{\text{FeO}}}{\text{Fe}_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + \text{Fe}_{\text{FeO}}} \\ &= \frac{1}{A} \cdot \frac{0,6 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} \cdot 112/160 + 0,4 \cdot \text{FeO}^{\text{III}} \cdot 56/72}{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} \cdot 112/160 + \text{FeO}^{\text{III}} \cdot 56/72} = \\ &= \frac{0,6}{A} \cdot \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 0,741 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}}{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 1,111 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}} = \frac{0,6}{A} \cdot B; \quad (1.33) \end{aligned}$$

$$B = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 0,741 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}}{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 1,111 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}}, \quad (1.30)$$

де $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}}, \text{FeO}^{\text{III}}$ - вміст $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}}$ і FeO^{III} в шихті, %.

З урахуванням окислення металізованого продукту кількість відновного газу складе

$$V_{\text{r}} = \frac{0,6}{A} \cdot (B - C) \cdot \text{Fe}_{\text{заг}}^{\text{M}}, \quad (1.31)$$

де C - поправка на окислення металізованого продукту, що дорівнює $0,52 \cdot \frac{\text{FeO}^{\text{M}}}{\text{Fe}_{\text{заг}}^{\text{M}}}$; де $\text{Fe}_{\text{заг}}^{\text{M}}$ і FeO^{M} вміст загального заліза і FeO в металізованому продукті, %.

$$\text{Тоді } V_{\Gamma} = \frac{0,6}{\text{CO} \cdot \eta_{\text{CO}} + \text{H}_2 \cdot \eta_{\text{H}_2}} \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 0,741 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}}{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 1,111 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}} - 0,52 \cdot \frac{\text{FeO}^{\text{M}}}{\text{Fe}_{\text{заг}}^{\text{M}}} \right) \cdot \text{Fe}_{\text{заг}}^{\text{M}} \quad (1.32)$$

Знаючи годинну витрату відновного газу, можна визначити продуктивність установки по металізованому продукту:

$$P = \frac{Q_{\Gamma}}{V_{\Gamma}} = \frac{Q_{\Gamma} \cdot (\text{CO} \cdot \eta_{\text{CO}} + \text{H}_2 \cdot \eta_{\text{H}_2})}{0,01 \cdot \text{Fe}_{\text{заг}}^{\text{M}} \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 0,741 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}}{\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}} + 1,111 \cdot \text{FeO}^{\text{III}}} - 0,52 \cdot \frac{\text{FeO}^{\text{M}}}{\text{Fe}_{\text{заг}}^{\text{M}}} \right)}, \quad (1.33)$$

де Q_{Γ} - витрата відновного газу, м³/година; CO і H₂ - вміст відповідних газів у відновному газі, часток од.

Завдання.

1. Користуючись вихідними даними, наведеними в табл. 2, розрахувати склад відновного газу та витрата природного газу і технічного кисню для отримання 1000 м³ відновного газу.

2. Використовуючі отриманні відомості про склад відновного газу та вихідні данні наведені в табл. 3, оцінити продуктивність установки по металізованому продукту.



ТЕМИ СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

Перелік тем для семінарського заняття № 1

1. Методи підготовки твердого палива та відновлювачів, їх техніко-економічні показники.
2. Методи підготовки газоподібного палива та відновлювачів, їх техніко-економічні показники.
3. Методи підготовки рідкого палива та відновлювачей, їх техніко-економічні показники.
4. Кінетичні особливості твердофазного відновлення чорних металів.
5. Особливості твердофазного відновлення заліза монооксидом вуглецю.
6. Особливості твердофазного відновлення заліза воднем.
7. Порівняння відновної здатності CO і H₂ при твердофазному відновленні заліза.

Перелік тем для семінарського заняття № 2

1. Схема відновлення заліза за схемою послідовних перетворень Байкова.
2. Фізико-хімічні та кінетичні особливості відновлення з використанням металів.
3. Рідкофазне відновлення чорних металів та його фізико-хімічні особливості.
4. Кінетичні особливості рідкофазного відновлення чорних металів.
5. Особливості рідкофазного відновлення заліза монооксидом вуглецю.
6. Особливості рідкофазного відновлення заліза воднем.
7. Порівняння відновної здатності CO, H₂ та твердого вуглецю при рідкофазному відновленні.

Перелік тем для семінарського заняття № 3

1. Виробництво губчастого заліза в шахтних печах
2. Виробництво губчастого заліза у періодично діючих ретортах
3. Виробництво губчастого заліза в обертових трубчастих печах
4. Виробництво губчастого заліза в конвертерних і кільцевих печах
5. Виробництво губчастого заліза в реакторах з киплячим шаром



6. Виробництво губчастого заліза в печах із зовнішнім обігрівом
7. Загальна конструкція, принцип роботи та техніко-економічні показники процесу виробництва криці

Перелік тем для семінарського заняття № 4

1. Загальна конструкція, принцип роботи та техніко-економічні показники агрегатів рідкофазного відновлення на базі електропечі.
2. Загальна конструкція, принцип роботи та техніко-економічні показники агрегатів прямого одержання рідкого металу з залізовугільних окотишів у подовому агрегаті.
3. Загальна конструкція, принцип роботи та техніко-економічні показники агрегатів для одержання рідкого металу у циклонних агрегатах.
4. Загальна конструкція, принцип роботи та техніко-економічні показники агрегатів рідкофазного відновлення з допалюванням СО за межами агрегату для виробництва електроструму.
5. Загальна конструкція та принцип роботи агрегатів рідкофазного відновлення з використанням СО для попереднього відновлення залізородних матеріалів.
6. Загальна конструкція та принцип роботи агрегатів рідкофазного відновлення з допалюванням СО в робочому просторі агрегату.
7. Загальна конструкція та принцип роботи одностадійних відновних прямоточних та струменевих процесів із застосуванням низькотемпературної плазми.



ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальне завдання виконується у вигляді реферату. Обсяг реферату має складати не менше 10 сторінок комп'ютерного тексту. Індивідуальна робота має бути надруковано шрифтом Times New Romans 14 розміру з інтервалом 1,5, нумерація рисунків, наведених у роботі, має бути наскрізною.

Виконане індивідуальне завдання містить титульну сторінку, зміст, саме завдання та перелік використаних літературних джерел, нумерація яких є наскрізною.

Номери тем для виконання індивідуального завдання студент обирає з переліку у відповідності до його номеру за списком студентської групи.

Підготовлене індивідуальне завдання захищається у вигляді доповіді.

Виступ обов'язково має містити презентацію.

Тривалість виступу має складати до 15 хв.

Для проведення оцінювання реферат прикріплюються у відповідні контрольні точки у системі Moodle.

Перелік питань для індивідуального завдання № 1

1. Характеристика сучасного доменного процесу, його основні переваги й недоліки.

2. Характеристика сучасного сталеплавильного процесу (конверторного та електросталеплавильного), його основні переваги й недоліки.

3. Історія розвитку і класифікація процесів безкоксової металургії.

4. Основні різновиди палива та відновлювачів, що використовуються в процесах безкоксової металургії та вимоги до них.

5. Сутність металотермічних процесів відновлення та галузь їх використання.

6. Адсорбційно-автокаталітичний механізм твердофазного відновлення заліза.

7. Особливості твердофазного відновлення заліза газоподібними реагентами .

8. Особливості твердофазного відновлення заліза твердим вуглецем.



9. Особливості рідкофазного відновлення заліза газоподібними реагентами.
10. Особливості рідкофазного відновлення заліза твердим вуглецем.

Перелік питань для індивідуального завдання № 2

1. Сучасний стан процесів твердофазного відновлення та їх розповсюдження у світі.
2. Класифікація процесів твердофазного відновлення.
3. Використання продукції твердофазного відновлення у сталеплавильному виробництві. Переваги та недоліки.
4. Класифікація процесів рідкофазного відновлення.
5. Сучасний стан процесів рідкофазного відновлення та їх розповсюдження у світі.
6. Використання продукції рідкофазного відновлення у сталеплавильному виробництві. Переваги та недоліки.
7. Загальна характеристика процесів прямого одержання сталі з руди.
8. Характеристика низькотемпературної плазми та газів, що використовуються для її отримання. Способи створення плазми та принципові схеми устрою плазмотронів.
9. Безкоксва металургія та міні-металургійні заводи
10. Загальна характеристика процесів електролітичного одержання заліза

ДОДАТКИ

Таблиця 1

Ентальпії різноманітних газів при зміні температур (ккал/моль)

Тем- ра, °К	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	O ₂	CO ₂	CO	H ₂	H ₂ O	N ₂
298	- 13,59	- 13,66	- 15,97	-19,03	2,069	-91,73	-25,13	2,024	-54,74	2,072
400	- 12,66	- 12,22	- 13,93	-16,33	2,792	-90,77	-24,42	2,731	-53,91	2,762
500	- 11,62	- 10,51	- 11,44	-13,08	3,524	-89,75	-23,71	3,430	-53,09	3,485
600	- 10,44	- 8,500	- 8,552	-9,294	4,279	-88,65	-22,99	4,129	-52,23	4,198
700	- 9,116	- 6,237	- 5,292	-5,050	5,057	-87,49	-22,26	4,832	-51,35	4,95
800	- 7,666	- 3,757	- 1,722	-0,406	5,852	-86,28	-21,50	5,537	-50,44	5,669
900	- 6,100	- 1,077	2,118	4,580	6,670	-85,03	-20,73	6,248	-49,50	6,428
1000	- 4,427	1,763	6,188	3,870	7,497	-83,75	-19,95	6,966	-48,52	7,202
1100	- 2,667	-	-	-	-	-82,43	-19,15	7,692	-47,52	7,992
1200	- 0,817	-	-	-	-	-81,10	-18,33	8, 428	-46,49	8,793
1300	1,113	-	-	-	-	-79,74	-17,51	9,173	-45,43	9,605
1400	3,103	-	-	-	-	-76,36	-16,68	9,929	-44,34	10,43
1500	5,143	-	-	-	-	-76,97	-15,84	10,69	-43,29	11,25
1600	7,223	-	-	-	-	-75,56	-15,00	11,47	-42,09	12,09
1700	9,333	-	-	-	-	-74,14	-14,15	12,25	-40,93	12,93
1800	11,46	-	-	-	-	-72,70	-13,30	13,05	-39,75	13,79

Примітки: 1. Ентальпію аргону розраховують за рівнянням

$$H_{Ar} = 0.004965 \cdot T,$$

$$2.1 \text{ ккал} = 4,187 \text{ кДж.}$$

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунків кисневої конверсії природного газу

№ п/п	Склад техн. кисню, %			Температура ПГ, К	Температура техн. O ₂ , К	Температура реакції, К
	O ₂	N ₂	Ar			
1	95	2	3	573	383	1623
2	95	2	3	673	383	1623
3	95	2	3	773	383	1623
4	95	2	3	573	473	1623
5	95	2	3	673	473	1623
6	95	2	3	773	473	1623
7	95	2	3	573	383	1673
5	95	2	3	673	383	1673
9	95	2	3	773	383	1673
10	95	2	3	573	473	1723
11	95	2	3	673	473	1723
12	95	2	3	773	473	1723
13	95	2	3	573	383	1723
14	95	2	3	673	383	1723
15	95	2	3	773	383	1723
16	98	1,5	0,5	573	473	1623
17	98	1,5	0,5	673	473	1623
18	98	1,5	0,5	773	473	1623
19	98	1,5	0,5	573	383	1723
20	98	1,5	0,5	673	383	1723

Склад природного газу, % об'ємн.:

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂
93,0	4,5	0,8	0,6	0,0	0,0	1,1

Залишкова кількість метану $n_{\text{CH}_4} = 0,025$ моль.Втрати тепла $Q = 0.672$ ккал/моль природного газу.

Таблиця 3

Вихідні дані для розрахунків продуктивності установки твердофазного відновлення

№ п/п	Вміст у шихті $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}}$ і FeO^{III} , %		Вміст в металізованому продукті $\text{Fe}_{\text{общ}}^{\text{M}}$ і FeO^{M} , %		Ступінь використання, част. од		Витрата газу, $Q_{\text{Г}}$, м ³ /час
	$\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{III}}$	FeO^{III}	$\text{Fe}_{\text{общ}}^{\text{M}}$	FeO^{M}	η_{CO}	η_{H_2}	
1	90	2	88	3	0,25	0,1	1000
2	90	2	88	3	0,3	0,15	1100
3	90	2	88	3	0,35	0,2	1200
4	90	2	88	3	0,4	0,25	1300
5	90	2	88	3	0,45	0,3	1400
6	88	3	90	2	0,1	0,25	1500
7	88	3	90	2	0,15	0,3	1600
8	88	3	90	2	0,2	0,35	1700
9	88	3	90	2	0,25	0,4	1800
10	88	3	90	2	0,3	0,45	1900
11	92	2,5	91	4	0,44	0,16	2000
12	92	2,5	91	4	0,34	0,27	2100
13	92	2,5	91	4	0,24	0,3	2200
14	92	2,5	91	4	0,14	0,44	2300
15	92	2,5	91	4	0,1	0,6	2400
16	91	1,5	89	5	0,29	0,35	2500
17	89	3,5	92	1	0,15	0,27	2600
18	91	1,5	89	5	0,44	0,13	2700
19	89	3,5	92	1	0,17	0,25	2800
20	91	1,5	89	5	0,5	0,4	2900



Навчально-методичне видання

**Валерій Сергійович Мамешин
Юрій Васильович Реков
Максим Вікторович Ягольник**

**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТАЛУРГІЇ
ТА ПОЗАДОМЕННЕ ОТРИМАННЯ ЗАЛІЗА:**

**методичні вказівки до виконання
практичних робіт та індивідуальних завдань**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції