

ЗМІСТ

Вступ.....	
1 Вимоги до змісту та оформлення контрольної роботи.....	2
2 Розрахунок короткобарабанної печі.....	5
2.1 Тепловий баланс технологічного процесу.....	5
2.2 Конструктивний розрахунок короткобарабанної печі.....	6
2.3 Приклади розрахунків.....	7
2.4 Завдання для контрольної роботи	16
Додаток А Довідкові матеріали.....	19
Додаток Б Приклад оформлення титульної сторінки.....	25
Перелік рекомендованої літератури.....	26

1 ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ ТА ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Контрольна робота складається з титульної сторінки, змісту, вступу, основних розділів (відповідно до завдання), висновків, переліку використаної літератури.

Зміст розташовують безпосередньо після титульної сторінки. У змісті перелічують назви всіх розділів, підрозділів, а також вказують номери сторінок. Приклади оформлення титульної сторінки контрольної роботи наведено у додатку А.

У вступі, як правило, відзначається значимість розглянутих у роботі проблем, формується мета й конкретні завдання, які підлягають вирішенню. При написанні вступу слід забезпечити логічний перехід від загальних завдань у металургії кольорових металів до конкретних розрахунків, що виконуються у контрольній роботі.

Висновки представляються у вигляді окремих пунктів, що резюмують основні результати робіт по розділах контрольної роботи. Зміст повинен бути переданий стисло і зрозуміло. У висновках наводяться основні техніко-економічні показники технологічних процесів, розрахунок яких виконано та їх аналіз; вказується стадія, що лімітує процес вилуговування, тощо.

Контрольна роботи виконуються на одній сторінці стандартних аркушів білого паперу формату А4 (297x210 мм) з полями зверху, знизу та з лівої сторони – 20 мм і з правої сторони – не менше ніж 10 мм.

Рекомендований обсяг контрольної роботи до 15 сторінок.

Сторінки слід нумерувати арабськими цифрами, додержуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куту без крапки наприкінці.

Контрольна роботи друкуються на ПОЕМ шрифтом Times New Roman, кегель 14, міжрядковий інтервал 1,5; абзацний відступ дорівнює п'яти знакам. Рекомендується при оформленні роботи використовувати пакет Microsoft Office: Microsoft Word, Microsoft Excel.

Контрольна роботи, згідно з завданням, розподіляються на розділи та підрозділи.

Заголовки розділів повинні мати номери, означені арабськими цифрами, їх слід розташовувати посередині рядка і записувати великими літерами. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається.

Заголовки підрозділів тексту слід починати з абзацного виступу і записувати маленькими літерами, крім першої великої, не підкреслюючи, без крапки наприкінці.

Підрозділи повинні мати порядкові номери в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються із номерів розділу і порядкового номера підрозділу, розділених крапкою.

Текстовий матеріал роботи повинен бути коротким, чітким. Термінологія і визначення повинні бути єдиними і відповідати встановленим стандартам, а при їх відсутності – загальноприйнятими у науково-технічній літературі.

Скорочення слів у тексті і підписах під ілюстраціями, як правило, не допускається. Виняток складають скорочення, встановлені ГОСТ 2.316–68. Представлені дані про властивості речовин і матеріалів приводяться за ГОСТ 7.54–88, а одиниці фізичних величин та їх обчислення – у системі СІ. При наявності даних в інших системах, переклад у систему СІ обов'язковий.

Якщо в записці більше однієї формули, необхідна їх наскрізна нумерація арабськими цифрами в круглих дужках з правої сторони аркуша в межах розділу.

У всіх розділах записки, включно з ілюстраціями і таблицями, слід посилатися на джерела, з яких подано ці матеріали. Посилання в тексті на джерела (в тому числі на електронні джерела) слід зазначати порядковим номером за переліком посилань, виділеним з обох сторін квадратними дужками, наприклад, [2-4].

Ілюстрації (рисунки, схеми, діаграми) слід розміщувати безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання в тексті. Якщо ілюстрації запозичені, після тематичного заголовка цифрою у квадратних дужках наводять джерело. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених крапкою. Крапка у кінці номера не ставиться. Ілюстрації позначаються словом “Рисунок”, яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад, “Рисунок 1.2 – Схема до розрахунку технологічного агрегата”.

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді таблиць. Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті. Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу. Номер таблиці складається з номера розділу і

порядкового номера таблиці, розділених крапкою. Таблиця повинна мати назву, яку записують малими літерами (крім першої великої) і розміщують над таблицею.

Весь графічний матеріал повинен бути погоджений з текстом і змістом роботи. Оформлення графічної частини повинне відповідати правилам інженерної і комп'ютерної графіки. Склад і зміст графічної частини повинен відповідати своєму призначенню – сприяти найбільш повному й глибокому розкриттю теми при її захисті. Креслення, схеми, графіки, таблиці повинні бути виконані відповідно до вимог Держстандарту ГОСТ 2.104–68, ГОСТ 2.109–73, ГОСТ 2.301–84, ГОСТ 2.105–95, ДСТУ 3008–95.

2 РОЗРАХУНОК КОРОТКОБАРАБАННОЇ ПЕЧІ

2.1 Тепловий баланс технологічного процесу

Тепловий баланс складають на основі матеріального балансу технологічного процесу, здійснюваного в плавильному агрегаті, для встановлення витрати енергії на процес у цілому або на окремі його елементи. При проектуванні печей статті теплового балансу знаходять за розрахунком. Для аналізу теплової роботи діючих печей статті балансу визначають як експериментально, так і в результаті розрахунку.

Тепловий баланс складають на одиницю вихідних матеріалів, одиницю часу або на період роботи. Для печей періодичної дії теплові баланси складають щодо одного робочого циклу (наприклад, для одного плавлення), для печей безперервної дії – на одиницю часу. Часто зручніше відносити теплові баланси до одиниці маси матеріалу – шихти або кінцевого продукту.

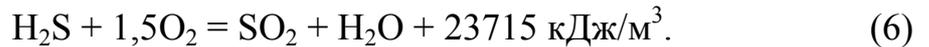
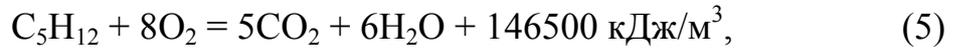
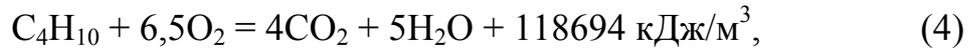
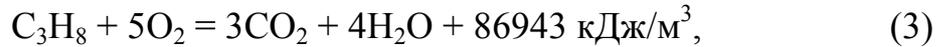
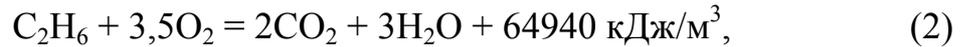
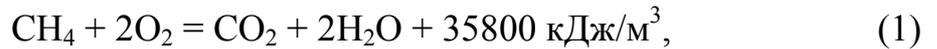
Теплові баланси можуть бути складені для робочого простору печі або його частини, для печі в цілому. Крім того, складають теплові баланси окремих елементів плавильного агрегата, наприклад, рекуператора для підігрівання повітря, казана-утилізатора та ін. Для складання теплового балансу мають бути відомі конструкція печі, її розміри та властивості матеріалів, використаних для її виготовлення, матеріальний баланс матеріалів, що переробляються, вид теплоносія, спосіб теплопередачі та інші теплотехнічні умови роботи печі.

Тепловий баланс являє собою рівняння, що пов'язує на основі закону збереження енергії надходження та витрачання теплоти в плавильному агрегаті.

Розрахунок горіння палива виконують для визначення кількості повітря, теоретично необхідного для спалювання палива, дійсної кількості повітря, кількості й складу продуктів згоряння та нижчої теплоти згоряння палива.

Практичну витрату повітря на згоряння палива розраховують на підставі кількості повітря, теоретично необхідного для спалювання палива, з урахуванням коефіцієнта надлишку повітря. Значення коефіцієнта надлишку повітря α залежить від типу палива, конструкції паливоспалювальних пристроїв та умов їх експлуатації.

Кількість повітря, теоретично необхідну для спалювання палива, визначають як суму кількості повітря на горіння кожного елемента палива. Горіння елементів палива відбувається за реакціями:



Нижчу теплоту згоряння природного газу визначають за формулою:

$$Q_n^p = \sum_{i=1}^n q_i \cdot c_i, \quad (7)$$

де q_i – тепловий ефект реакції горіння i -го елемента палива, кДж/м³;

c_i – вміст i -го елемента у складі палива, частка;

n – кількість елементів у складі палива.

Складові природного газу CO₂ та N₂ переходять у димові газу.

Методики складання матеріального балансу горіння палива та теплового балансу плавлення вторинної алюмінієвої сировини подано у прикладі 1 та прикладі 2 відповідно.

2.2 Конструктивний розрахунок короткобарабанної печі

Внутрішній діаметр печі можна визначити за формулою:

$$D_{вн} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\partial z}}{\pi \cdot \omega_t}}, \quad (8)$$

де $V_{\partial z}$ – секундний об'єм димових газів, що утворюються в печі за її середньої температури, м³/с;

ω_t – допустима швидкість руху газів у печі за її середньої температури (для більшості печей знаходиться в межах 0,5...2,0 м/с), м/с.

Довжину печі визначаємо за формулою:

$$L = V_p / S_p, \quad (9)$$

де $V_P = V_{Al} + V_{\Phi}$ – об'єм, що зайнятий розплавом при завантаженні алюмінієвого сплаву та флюсів, m^3 ;

S_P – площа ефективного перерізу печі (площа перерізу розплаву), m^2 .

Коефіцієнт заповнення перерізу печі матеріалом ϕ знаходимо за формулою:

$$\phi = S_P / S_{заг}, \quad (10)$$

де $S_{заг} = \pi \cdot R_{вн}^2$ – загальна площа перерізу печі, m^2 .

Методику конструктивного розрахунку короткобарабанної печі подано в прикладі 2.8.

2.3 Приклади розрахунків

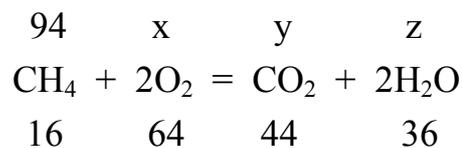
Приклад 1. Визначити витрату повітря, кількість та склад продуктів згоряння палива, нижчу теплоту згоряння палива при спалюванні в короткобарабанній печі природного газу (склад, %: 94,0 CH_4 ; 3,0 C_2H_6 ; 0,8 C_3H_8 ; 0,2 C_4H_{10} ; 0,1 C_5H_{12} ; 0,9 CO_2 ; 1,0 N_2). Розрахунок провести при $\alpha=1,0$ та $\alpha=1,1$. Прийняти, що газ сухий (0 % H_2O), при розрахунках речовини реагують у стехіометричних відношеннях.

Розв'язання

Розрахунок проводимо на $100 m^3$ сухого газу.

Складові природного газу CO_2 та N_2 переходять у димові газу.

Для перебігу реакції (1)



потрібно $x=376,00 m^3 O_2$ і утворюється $y=258,50 m^3 CO_2$, $z=211,50 m^3 H_2O$.

Аналогічно розраховуємо витрату кисню для спалювання решти компонентів газу і результати записуємо в табл. 1.

У результаті розрахунку дістанемо:

– при $\alpha=1,0$ потрібно $376,00 + 11,20 + 2,91 + 0,72 + 0,36 = 391,19 m^3 O_2$,
або теоретична витрата повітря на $100 m^3$ природного газу дорівнює
 $391,19 : 0,21 = 1862,81 m^3$;

Таблиця 1 – Розрахунок витрати повітря та кількості димових газів

Компоненти, що беруть участь у горінні				Продукти згоряння, димові гази, м ³							
Паливо			Повітря, м ³								
Компо- нент	Кількість		Номер реакції горіння	O ₂	N ₂	Усього	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Усього
	%	м ³									
CH ₄	94,0	94,0	(1)	376,00	1414,48	1790,48	258,50	211,50	1414,48	–	1884,48
C ₂ H ₆	3,0	3,0	(2)	11,20	42,13	53,33	8,80	5,40	42,13	–	56,33
C ₃ H ₈	0,8	0,8	(3)	2,91	10,95	13,86	2,40	1,31	10,95	–	14,66
C ₄ H ₁₀	0,2	0,2	(4)	0,72	2,71	3,43	0,61	0,31	2,71	–	3,63
C ₅ H ₁₂	0,1	0,1	(5)	0,36	1,35	1,71	0,31	0,15	1,35	–	1,81
CO ₂	0,9	0,9	–	–	–	–	0,90	–	–	–	0,90
N ₂	1,0	1,0	–	–	–	–	–	–	1,00	–	1,00
Усього, α=1,0	100	100		391,19	1471,62	1862,81	271,52	218,67	1472,62	–	1962,81
Усього, α=1,1	100	100		430,31	1618,78	2049,09	271,52	218,67	1619,78	39,12	2149,09

– при α=1,1 практична витрата повітря на 100 м³ палива становить $V_n^{1,1} = 2049,09$ м³, об'єм димових газів – 2149,09 м³.

Визначаємо нижчу теплоту згоряння природного газу:

$$Q_n^p = \sum_{i=1}^n q_i \cdot c_i,$$

де q_i – тепловий ефект реакції горіння i -го елемента палива, кДж/м³;

c_i – вміст i -го елемента у складі палива, частка;

n – кількість елементів у складі палива.

$$Q_n^p = 35800 \cdot 0,94 + 64940 \cdot 0,03 + 86943 \cdot 0,008 + 118694 \cdot 0,002 + \\ + 146500 \cdot 0,001 = 36679,632 \text{ кДж/м}^3.$$

На підставі розрахунку горіння палива складаємо матеріальний баланс горіння палива (табл. 2).

Приклад 2. Скласти тепловий баланс печі та визначити витрату природного газу (див. приклад 1) для виплавлення алюмінієвого сплаву АК5М7 у короткобарабанній печі продуктивністю 3,75 т/год. Склад шихти відповідає середньому хімічному складу сплаву АК5М7, %: 0,434 Mg; 5,665 Si; 7,399 Cu; 0,062 Mn; 0,403 Zn; 1,152 Fe; 84,885 Al. Температура шихти, що завантажу-

Таблиця 2 – Матеріальний баланс горіння палива

Надходження			Витрачання		
Речовина	Кількість		Речовина	Кількість	
	%	м ³		%	м ³
Природний газ, у тому числі:	4,65	100,00	Димові гази, в тому числі:	100,00	2149,09
CH ₄	4,37	94,00	CO ₂	12,63	271,52
C ₂ H ₆	0,14	3,00	H ₂ O	10,18	218,67
C ₃ H ₈	0,04	0,80	N ₂	75,37	1619,78
C ₄ H ₁₀	0,01	0,20	O ₂ надл	1,82	39,12
C ₅ H ₁₂	0,005	0,10			
CO ₂	0,04	0,90			
N ₂	0,045	1,00			
Повітря, у тому числі:	95,35	2049,09			
O ₂	20,02	430,31			
N ₂	75,33	1618,78			
Усього	100,00	2149,09	Усього	100,00	2149,09

жується, становить 20 °С; температура шлаків, що зливаються, дорівнює 800 °С; температура підігрівання повітря становить 300 °С; температура газів на виході з печі дорівнює 1000 °С.

Розв'язання

Надходження теплоти

1. Теплота від згоряння палива становить

$$Q_T = Q_n^p \cdot B,$$

де Q_n^p – нижча теплота згоряння природного газу, кДж/м³;

B – витрата палива, м³/год.

$$Q_T = 36679,632 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

2. Фізична теплота, що вноситься підігрітим повітрям, дорівнює

$$Q_n = B \cdot V_n^{1,1} \cdot C_n \cdot t_n,$$

де $V_n^{1,1}$ – практична витрата повітря на одиницю палива при $\alpha = 1,1$ (табл. 2), $\text{м}^3/\text{м}^3$;

C_n – середня теплоємність повітря при t_n (табл. А.1), $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$;

t_n – температура підігрівання повітря, $^\circ\text{C}$.

$$Q_n = B \cdot \frac{2049,09}{100} \cdot 1,3181 \cdot 300 = 8102,716 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

3. Теплота екзотермічних реакцій при окисненні шихти, що нагрівається, становить

$$Q_{екз} = q \cdot G \cdot a ,$$

де $q = 10^{-2} \cdot \sum_{i=1}^n q_i \cdot C_i$ – тепловий ефект реакції окиснення шихти заданого складу, що нагрівається, $\text{кДж}/\text{кг}$;

C_i – вміст i -го елемента у складі шихти, %;

q_i – тепловий ефект реакції окислення i -го елемента шихти (табл. А.2), $\text{кДж}/\text{кг}$:

$$q = 10^{-2} \cdot (0,434 \cdot 25470 + 5,665 \cdot 30670 + 7,399 \cdot 2468 + 0,062 \cdot 7084 + 0,403 \cdot 5523 + 1,152 \cdot 7306 + 84,885 \cdot 30523) = 28050,866 \text{ кДж/кг};$$

G – годинна продуктивність печі, $\text{кг}/\text{год}$;

a – кількість металу, що окислився (частка від маси шихти), 0,0246.

$$Q_{екз} = 28050,866 \cdot 3750 \cdot 0,0246 = 2588000 \text{ кДж/год.}$$

4. Загальне надходження теплоти становить

$$Q_{np} = Q_T + Q_n + Q_{екз} ,$$

$$Q_{np} = 44782,348 \cdot B + 2588000 \text{ кДж/год.}$$

Витрачання теплоти

1. Витрата теплоти на нагрівання та розплавлення металу становить

$$Q_n = G \cdot [C_1 \cdot (t_{пл} - t_n) + i + C_2 \cdot (t_p - t_{пл})],$$

де C_1 – середня теплоємність алюмінію при нагріванні від t_n до $t_{пл}$ (табл.А.3), $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$:

$$C_1 = (C_{t_n} + C_{t_{пл}}) : 2 = (0,890 + 1,255) : 2 = 1,0725 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C});$$

C_2 – середня теплоємність алюмінію при нагріванні від t_{nl} до t_p (табл.А.3), кДж/(кг·°C):

$$C_2 = (C_{t_{шл}} + C_{t_p}) : 2 = (1,255 + 1,176) : 2 = 1,2155 \text{ кДж/(кг·°C)};$$

i – прихована теплота плавлення алюмінію, $i = 389,7$ кДж/кг;

t_{nl} – температура плавлення металу, $t_{nl} = 660$ °C;

t_n – температура шихти, що завантажується, $t_n = 20$ °C;

t_p – робоча температура у печі, $t_p = 850$ °C.

$$Q_n = 3750 \cdot [1,0725 \cdot (660 - 20) + 389,7 + 1,2155 \cdot (850 - 660)] = 4901000 \text{ кДж/год.}$$

2. Теплота, що виноситься шлаками, становить

$$Q_{шл} = G_{шл} \cdot C_{шл} \cdot t_{шл},$$

де $G_{шл}$ – годинний вихід шлаків, 1250 кг/год;

$C_{шл}$ – середня теплоємність шлаків при $t_{шл}$, кДж/(кг·°C):

$$C_{шл} = (C_{NaCl} + C_{KCl}) / 2 = (0,976 + 0,755) / 2 = 0,8655 \text{ кДж/(кг·°C)};$$

$t_{шл}$ – температура зливання шлаку, °C.

$$Q_{шл} = 1250 \cdot 0,8655 \cdot 800 = 866000 \text{ кДж/год.}$$

3. Втрати теплоти з димовими газами, що виходять з робочого простору печі, становлять

$$Q_{\partial z} = B \cdot V_{\partial z}^{1,1} \cdot C_{\partial z} \cdot t_{\partial z},$$

де $V_{\partial z}^{1,1}$ – об'єм димових газів на одиницю спалюваного палива при $\alpha=1,1$ (табл.2), м³/м³;

$$C_{\partial z} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot C_i \text{ – середня теплоємність димових газів при } t_{\partial z}, \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{°C)};$$

C_i – середня теплоємність i -го продукту згоряння при $t_{\partial z}$ (табл.А.1), кДж/(м³·°C);

V_i – об'ємна частка i -го продукту згоряння в димових газах (табл. 2);

$$C_{\partial z} = 0,1263 \cdot 2,2266 + 0,1018 \cdot 1,7133 + 0,7537 \cdot 1,3938 + \\ + 0,0182 \cdot 1,4801 = 1,5331 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{°C)};$$

$t_{\partial z}$ – температура димових газів на виході з печі, °C.

$$Q_{\text{дг}} = B \cdot \frac{2149,09}{100} \cdot 1,5331 \cdot 1000 = 32947,698 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

4. Витрати теплоти в результаті хімічної неповноти згоряння палива дорівнюють

$$Q_{\text{хим}} = 12100 \cdot B \cdot V_{\text{дг}}^{1,1} \cdot k_1,$$

де k_1 – кількість палива, що не догоряє, приймаємо $k_1=0,02$.

$$Q_{\text{хим}} = 12100 \cdot B \cdot \frac{2149,09}{100} \cdot 0,02 = 5200,78 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

5. Втрати теплоти з механічним недогоранням становлять

$$Q_{\text{мех}} = B \cdot Q_n^p \cdot k_2,$$

де k_2 – кількість втраченого палива, приймаємо $k_2=0,03$.

$$Q_{\text{мех}} = B \cdot 36679,63 \cdot 0,03 = 1100,389 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

6. Втрати теплоти у навколишнє середовище становлять

$$Q_{\text{нав}} = k_3 \cdot G,$$

де k_3 – питомі втрати теплоти, приймаємо $k_3=167,5$ кДж/кг.

$$Q_{\text{нав}} = 167,5 \cdot 3750 = 628000 \text{ кДж/год.}$$

7. Невраховані втрати теплоти дорівнюють

$$Q_{\text{нп}} = 0,1 \cdot Q_T,$$

$$Q_{\text{нп}} = 0,1 \cdot 36679,632 \cdot B = 3667,963 \cdot B \text{ кДж/год.}$$

8. Загальні витрати теплоти:

$$Q_{\text{в}} = Q_n + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{дг}} + Q_{\text{хим}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{нав}} + Q_{\text{нп}},$$

$$Q_{\text{в}} = 42916,83 \cdot B + 6395000 \text{ кДж/год.}$$

Визначаємо витрату палива B із рівності статей надходження та витрати теплоти:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{в}}.$$

$$44782,348 \cdot B + 2588000 = 42916,83 \cdot B + 6395000,$$

$$B = 2041 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Питома витрата палива $B_T = 2014 / 3,75 = 544 \text{ м}^3/\text{т}$.

Після підстановки значень витрати палива дістанемо:

$$Q_T = 74863000 \text{ кДж/год},$$

$$Q_n = 16538000 \text{ кДж/год},$$

$$Q_{og} = 67246000 \text{ кДж/год},$$

$$Q_{хим} = 10615000 \text{ кДж/год},$$

$$Q_{мех} = 2246000 \text{ кДж/год},$$

$$Q_{нт} = 7486000 \text{ кДж/год}.$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 3.

Таблиця 3 – Тепловий баланс короткобарабанної печі

Надходження теплоти			Витрачання теплоти		
Стаття	Кількість		Стаття	Кількість	
	%	МДж/год		%	МДж/год
1. Теплота від згоряння палива	79,651	74863	1. Теплота на нагрівання і розплавлення металу	5,214	4901
2. Фізична теплота, що внесена підігрітим повітрям	17,596	16538	2. Теплота, що виноситься шлаками	0,921	866
3. Теплота екзотермічних реакцій	2,753	2588	3. Втрати теплоти з димовими газами	71,547	67246
			4. Втрати теплоти від хімічної неповноти згоряння палива	11,294	10615
			5. Втрати теплоти з механічним недогоранням	2,390	2246
			6. Втрати теплоти в навколишнє середовище	0,668	628
			7. Невраховані втрати теплоти	7,965	7486
			8. Нев'язка	0,001	1
Усього	100,00	93989	Усього	100,00	93989

Приклад 3. Визначити розміри короткобарабанної печі для виплавлення 30 т алюмінієвого сплаву, яка опалюється природним газом (див. приклади 1, 2).

Розв'язання

Знаходимо внутрішній діаметр печі за формулою (8), прийнявши за практичними даними $\omega_t = 1,15$ м/с:

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2149,09 \cdot 2041}{3,14 \cdot 1,15 \cdot 3600 \cdot 100}} = 3,68 \text{ м.}$$

Для визначення довжини печі та коефіцієнта заповнення робочого простору виходимо з таких умов:

– піч у поперечному перерізі має форму циліндра без ребер і конічних частин;

– піч заповнюється розплавом до рівня завантажувального вікна.

Схему до розрахунку печі наведено на рис. 1.

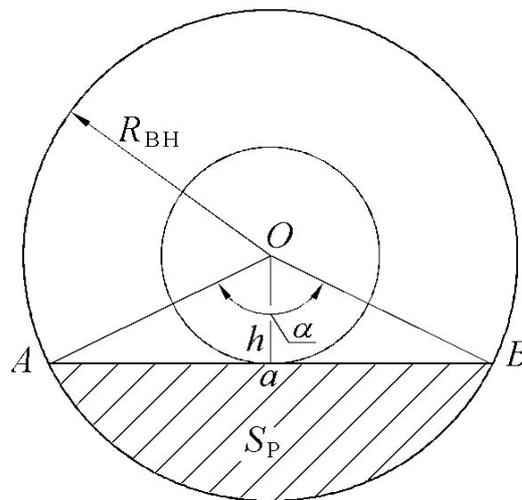


Рисунок 1 – Схема до розрахунку короткобарабанної печі

Площу перерізу розплаву S_p визначаємо за формулою:

$$S_p = S_{\text{сект}}^{AOB} - S_{\text{тр}}^{AOB}, \quad (11)$$

де $S_{\text{сект}}^{AOB} = \frac{\pi \cdot R_{\text{вн}}^2}{360} \cdot \alpha$ – площа сектора AOB (рис. 1), м²;

$S_{\text{тр}}^{AOB} = \frac{|AB| \cdot h}{2}$ – площа трикутника AOB (рис. 1), м²;

α – кут при вершині сектора AOB , град.;

h – радіус завантажувального вікна (для короткобарабанних печей h складає 15...20 % від внутрішнього діаметра печі), приймаємо $h=0,685$ м.

З розгляду прямокутного трикутника OaB (рис. 1) знаходимо величину кута α за теоремою косинусів

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{|OB|^2 + |Oa|^2 - |aB|^2}{2 \cdot |OB| \cdot |Oa|} = \frac{R_{\text{вн}}^2 + h^2 - (|AB|/2)^2}{2 \cdot R_{\text{вн}} \cdot h}$$

та довжину ванни металу в перерізі (хорду AB):

$$|AB| = 2 \cdot \sqrt{|OB|^2 - |Oa|^2} = 2 \cdot \sqrt{R_{\text{вн}}^2 - h^2} = 2 \cdot \sqrt{1,84^2 - 0,685^2} = 3,42 \text{ м.}$$

Тоді дістанемо

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{1,84^2 + 0,685^2 - (3,42/2)^2}{2 \cdot 1,84 \cdot 0,685} = 0,3692,$$

тобто $\alpha = 137^\circ$.

Підставляючи значення довжини хорди AB та кута α в формулу (11), дістанемо:

$$S_p = \frac{\pi \cdot R_{\text{вн}}^2 \cdot \alpha}{360} - \frac{|AB| \cdot h}{2} = \frac{3,14 \cdot 1,84^2 \cdot 137}{360} - \frac{3,42 \cdot 0,685}{2} = 2,88 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт заповнення печі дорівнює

$$\varphi = 2,88/10,63 = 0,27,$$

тобто піч заповнюється на 1/3 об'єму.

Об'єм, зайнятий розплавом при завантаженні 30 т алюмінієвого сплаву (щільність $2,37 \text{ т/м}^3$) та 10 т флюсів (щільність $1,54 \text{ т/м}^3$), дорівнює

$$V_p = 30/2,37 + 10/1,54 = 19,15 \text{ м}^3.$$

Тоді довжина короткобарабанної печі за формулою (9) дорівнює

$$L = 19,15/2,88 = 6,65 \text{ м.}$$

Відповідь: Діаметр і довжина короткобарабанної печі продуктивністю 3,75 т/год дорівнюють 3,68 та 6,65 м відповідно.

2.4 Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Визначити витрату повітря, кількість і склад продуктів згоряння палива, нижчу теплоту згоряння палива при спалюванні в короткобарабанній печі природного газу. Склад природного газу, величина коефіцієнта надлишку повітря α надано в табл. 4. Прийняти, що газ сухий, при розрахунках речовини реагують у стехіометричних відношеннях.

Завдання 2. Скласти тепловий баланс печі й визначити витрату природного газу (див. завдання 1) для виплавлення алюмінієвого сплаву заданої марки (табл. 5) у короткобарабанній печі продуктивністю 3,75 т/год. Склад шихти для плавлення відповідає середньому хімічному складу сплаву заданої марки. Угар шихти під час плавлення становить 2,7 %. Температура шихти, що завантажується, становить 18 °С; температура шлаків, що зливаються, дорівнює 780 °С; температура підігрівання повітря становить 250 °С; температура газів на виході з печі дорівнює 900 °С.

Завдання 3. Визначити основні розміри короткобарабанної печі продуктивністю P т/год алюмінієвого сплаву (табл. 5). Піч опалюється природним газом, хімічний склад якого наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані для розрахунку завдання 1

№ варіанта	Масова частка елементів природного газу, % (об'ємн.)								Коефіцієнт надлишку повітря α
	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	H ₂ S	N ₂	
1	85,0	4,4	2,4	1,8	1,3	0,1	5,0	–	1,10
2	98,2	0,5	0,1	–	0,2	–	0,9	0,1	1,05
3	94,0	1,8	0,4	0,1	0,1	0,1	3,5	–	1,06
4	95,1	2,3	0,7	0,4	0,8	0,2	0,5	–	1,08
5	81,7	5,0	2,0	1,2	0,6	0,4	8,5	0,6	1,04
6	98,3	0,3	0,1	0,2	–	0,1	1,0	–	1,05
7	93,3	3,5	1,0	0,5	0,5	0,1	0,4	0,7	1,10
8	87,8	4,4	1,7	0,8	0,6	0,2	1,0	3,5	1,06
9	90,8	5,4	1,2	0,3	0,7	0,6	–	1,0	1,08
10	83,1	9,1	1,4	0,5	0,5	4,1	–	1,3	1,07
11	93,2	0,7	0,6	0,6	0,5	–	–	4,4	1,05
12	92,2	0,8	1,1	1,0	0,4	–	–	4,5	1,10
13	85,0	7,4	1,0	0,8	0,7	0,2	0,3	4,6	1,10
14	91,0	0,2	0,7	0,4	–	0,1	–	7,6	1,04
15	92,4	0,6	–	1,2	0,3	0,1	–	5,4	1,10
16	94,3	–	1,2	0,7	2,0	0,2	0,5	1,1	1,02
17	96,7	2,2	0,2	0,3	0,6	–	–	–	1,08
18	90,2	2,1	0,4	1,0	2,5	0,7	–	3,1	1,10
19	92,0	4,7	0,4	1,8	1,1	–	–	–	1,07
20	95,3	2,0	0,1	1,2	0,6	0,1	0,1	0,6	1,08
21	94,3	1,3	0,4	1,6	1,0	0,4	1,0	–	1,05
22	90,8	4,0	0,8	0,8	0,7	–	0,3	2,6	1,10
23	92,6	3,5	1,1	0,4	0,8	0,5	–	1,1	1,02
24	88,2	5,8	2,0	1,6	1,2	0,9	0,3	–	1,07
25	93,7	2,0	0,7	0,8	0,5	0,1	–	2,2	1,04

Таблиця 5 – Вихідні дані для розрахунку завдань 2 та 3

№ варіанта	Марка сплаву	Продуктивність коротко-барабанної печі P , т/год
1	АЛ4	3,5
2	ВАЛ8	4,0
3	АЛ9-1	4,5
4	АЛ10В	5,0
5	АЛ11	5,5
6	АЛ16В	3,5
7	АЛ25	4,0
8	АЛ30	4,5
9	АЛ32	5,0
10	АЛ34	5,5
11	АК4М4	3,5
12	АК4М2Ц6	4,0
13	АК5М2	4,5
14	АК5М4	5,0
15	АК5М7	5,5
16	АК6М2	3,5
17	АК6М7	4,0
18	АК7	4,5
19	АК7М2	5,0
20	АК7Ц9	5,5
21	АК8п	3,5
22	АК9М2	4,0
23	АК9Ц6	4,5
24	АК12ММгН	5,0
25	АК21М2,5Н2,5	5,5

Додаток А
ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ

Таблиця А.1 – Середні теплоємності газів

Темпе- ратура, °С	Середні теплоємності газів, кДж/(м ³ ·°С)							
	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	повітря	CO	H ₂	SO ₂
0	1,6204	1,2908	1,3076	1,4914	1,3009	1,3021	1,2777	1,5156
100	1,7200	1,3013	1,3193	1,5019	1,3051	1,3021	1,2896	1,5407
200	1,8079	1,3030	1,3369	1,5174	1,3097	1,3105	1,2979	1,5742
300	1,8808	1,3080	1,3583	1,5379	1,3181	1,3231	1,3021	1,6077
400	1,9436	1,3172	1,3796	1,5592	1,3302	1,3315	1,3021	1,6454
500	2,0453	1,3294	1,4005	1,5831	1,3440	1,3440	1,3063	1,6832
600	2,0592	1,3419	1,4152	1,6078	1,3583	1,3607	1,3105	1,7208
700	2,1077	1,3553	1,4370	1,6338	1,3725	1,3733	1,3147	1,7585
800	2,1517	1,3683	1,4529	1,6601	1,3821	1,3901	1,3189	1,7962
900	2,1915	1,3817	1,4663	1,6865	1,3993	1,4026	1,3230	1,8297
1000	2,2266	1,3938	1,4801	1,7133	1,4118	1,4152	1,3273	1,8632
1100	2,2593	1,4056	1,4935	1,7397	1,4236	1,4278	1,3356	1,8925
1200	2,2886	1,4065	1,5065	1,7657	1,4347	1,4403	1,3440	1,9218

Таблиця А.2 – Теплові ефекти деяких реакцій

Реакція	Q, кДж/кг	Реакція	Q, кДж/кг
Be + 0,5O ₂ = BeO	64201	2Cr + 1,5O ₂ = Cr ₂ O ₃	10870
Si + O ₂ = SiO ₂	30670	2Fe + 1,5O ₂ = Fe ₂ O ₃	7306
2Al + 1,5O ₂ = Al ₂ O ₃	30523	Mn + 0,5O ₂ = MnO	7084
Mg + 0,5O ₂ = MgO	25470	Zn + 0,5O ₂ = ZnO	5523
Ti + O ₂ = TiO ₂	19060	Ni + 0,5O ₂ = NiO	4166
Zr + O ₂ = ZrO ₂	11871	Cu + 0,5O ₂ = CuO	2468

Таблиця А.3 – Середні теплоємності алюмінію та флюсів

Темпе- ратура, °C	C_p , кДж/(кг·°C)			Темпе- ратура, °C	C_p , кДж/(кг·°C)		
	Al	NaCl	KCl		Al	NaCl	KCl
0	0,874	0,854	0,674	500	1,180	0,929	0,741
50	0,914	0,862	0,682	550	1,180	0,938	0,749
100	0,939	0,871	0,687	600	1,217	0,946	0,754
150	0,958	0,879	0,695	650	1,231	0,955	0,762
200	0,977	0,888	0,699	660	1,255	0,955	0,762
250	1,001	0,892	0,708	700	1,176	0,959	0,766
300	1,025	0,900	0,716	750	1,176	0,967	0,755
350	1,052	0,909	0,720	800	1,176	0,976	–
400	1,079	0,917	0,729	850	1,176	–	–
450	1,111	0,921	0,733	900	1,176	–	–

Таблица А.4 – Хімічний склад ливарних алюмінієвих сплавів за

Марка сплаву	Масова частка основних елементів, %				
	Mg	Si	Mn	Cu	інші
1	2	3	4	5	6
АЛ1	1,25...1,75	—	—	3,75...4,50	1,75...2,25·Ni
АЛ3	0,20...0,80	4,50...5,50	0,60...0,90	1,50...3,00	—
АЛ3В	0,35...0,60	4,00...6,00	0,20...0,80	1,50...3,50	—
АЛ4	0,17...0,30	8,00...10,5	0,20...0,50	—	—
АЛ4-1	0,25...0,35	9,00...10,5	0,20...0,35	—	0,08...0,15·Ti
АЛ5	0,35...0,60	4,50...5,50	—	1,00...1,50	—
ВАЛ8	0,20...0,45	7,00...8,50	—	2,50...3,50	0,50...1,00·Zn
»	»	»	»	»	0,10...0,25·Ti
АЛ9-1	0,25...0,40	7,00...8,00	—	—	0,08...0,15·Ti
АЛ10В	0,20...0,50	4,00...6,00	—	5,00...8,00	—
АЛ11	0,10...0,30	6,00...8,00	—	—	7,00...12,0·Zn
АЛ13	4,50...5,50	0,80...1,30	0,10...0,40	—	—
АЛ15В	—	3,00...5,00	0,20...0,60	3,50...5,00	—
АЛ16В	—	3,00...5,00	0,20...0,50	2,00...4,00	2,00...4,00·Zn
АЛ17В	0,10...0,20	3,50...5,50	0,40...0,70	1,50...3,00	5,00...7,00·Zn
АЛ18В	—	1,50...2,50	0,30...0,80	7,50...9,50	1,00...1,80·Fe
АЛ19	—	—	0,60...1,00	4,50...5,30	0,15...0,35·Ti
АЛ21	0,80...1,30	—	0,15...0,25	4,60...6,00	2,60...3,60·Ni
»	»	»	»	»	0,10...0,20·Cr
АЛ22	10,5...13,0	0,80...1,20	—	—	0,05...0,15·Ti
»	»	»	»	»	0,03...0,07·Be
АЛ24	1,50...2,00	—	0,20...0,50	—	3,50...4,50·Zn
»	»	»	»	»	0,10...0,20·Ti
АЛ29	6,00...8,00	0,50...1,00	0,25...0,60	—	—
АЛ30	0,80...1,30	11,0...13,0	—	0,80...1,50	0,80...1,30·Ni
АЛ32	0,30...0,50	7,50...9,00	0,30...0,50	1,00...1,50	0,10...0,30·Ti
АМГ4К1,5М	4,50...5,20	1,30...1,70	0,60...0,90	0,70...1,00	0,10...0,25·Ti
АЛ34	0,35...0,55	6,50...8,50	—	—	0,15...0,40·Be
»	»	»	»	»	0,10...0,30·Ti
АК4М4	—	3,00...5,00	—	3,50...5,50	—
АК4М2Ц6	—	3,50...5,50	0,40...0,70	1,60...3,00	5,00...7,00·Zn
АК5-1	0,40...0,55	4,50...5,50	—	1,00...1,50	0,08...0,15·Ti
АК5М2	0,20...0,80	4,00...6,00	0,20...0,80	1,50...3,50	0,05...0,20·Ti
АК5М2п	0,20...0,80	4,00...6,00	0,20...0,80	1,50...3,50	—
АК5М4	0,20...0,50	3,50...6,00	0,20...0,60	3,00...5,00	0,05...0,20·Ti
АК5М7	0,20...0,50	4,50...6,50	—	6,00...8,00	—
АК6М2	0,35...0,50	5,50...6,50	—	1,80...2,30	0,10...0,20·Ti
АК6М7	0,20...0,50	5,00...6,00	0,30...0,50	6,50...7,50	—

стандартами України, Росії, Німеччини, Франції, США, Японії

Марка сплаву	Масова частка домішок, не більше %								
	Mg	Si	Mn	Cu	Zn	Fe	Pb	Sn	інші
1	7	8	9	10	11	12	13	14	15
АЛ1	-	0,7	-	-	0,3	0,8	-	-	-
АЛ3	-	-	-	-	0,3	1,2	-	-	-
АЛ3В	-	-	-	-	0,5	1,3	-	-	-
АЛ4	-	-	-	0,3	0,3	0,5	0,03	0,008	0,1 Ni, 0,10 Be
АЛ4-1	-	-	-	0,1	0,3	0,3	0,03	0,005	0,15 Be
АЛ5	-	-	0,5	-	0,3	1,0	-	0,010	0,15 Ti+Zr, 0,1 Be
ВАЛ8	-	-	0,5	-	-	0,4	-	-	0,15 Zr, 0,15 Cd
АЛ9-1	-	-	0,1	0,1	0,2	0,4	0,03	-	-
АЛ10В	-	-	0,5	-	0,6	1,2	-	-	0,15 Zr
АЛ11	-	-	0,5	0,6	-	1,2	-	-	-
АЛ13	-	-	-	0,1	0,2	0,5	-	-	0,15 Zr
АЛ15В	0,5	-	-	-	2,0	1,3	-	-	-
АЛ16В	0,5	-	-	-	-	1,2	-	-	-
АЛ17В	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-
АЛ18В	0,8	-	-	-	0,5	-	-	-	-
АЛ19	0,5	0,3	-	-	0,2	0,3	-	-	0,1 Ni, 0,2 Zr
АЛ21	-	0,5	-	-	0,3	0,6	-	-	-
АЛ22	-	-	-	-	0,1	1,0	-	-	0,20 Zr
АЛ24	-	0,3	-	0,2	-	0,5	-	-	0,1 Be, 0,1 Zr
АЛ29	-	-	-	0,1	0,2	0,9	-	-	-
АЛ30	-	-	0,2	-	0,2	0,7	0,05	0,01	0,2 Ti, 0,2 Cr
АЛ32	-	-	-	-	0,3	0,8	-	-	0,10 Zr
АМГ4К1,5М	-	-	-	-	0,1	0,4	-	-	-
АЛ34	-	-	0,1	0,3	0,3	0,6	-	-	0,20 Zr
АК4М4	0,5	-	0,6	-	2,0	1,1	-	-	0,5 Ni
АК4М2Ц6	0,3	-	-	-	-	1,2	-	-	-
АК5-1	-	-	0,1	-	0,3	0,5	0,01	-	0,15 Zr
АК5М2	-	-	-	-	1,5	1,0	-	-	0,5 Ni
АК5М2п	-	-	-	-	0,3	1,0	-	-	-
АК5М4	-	-	-	-	1,5	1,2	-	-	0,5 Ni
АК5М7	-	-	0,5	-	0,6	1,2	-	-	0,5 Ni
АК6М2	-	-	0,1	-	0,06	0,5	-	-	0,05 Ni, 0,06 Zr
АК6М7	-	-	-	-	0,4	0,8	-	-	-

Марка сплаву	Масова частка основних елементів, %				
	Mg	Si	Mn	Cu	інші
1	2	3	4	5	6
AK7	0,20...0,55	6,00...8,00	0,20...0,60	–	–
AK7M	0,20...0,60	6,50...8,00	0,20...0,60	1,00...2,00	–
AK7M2	0,20...0,60	6,00...8,00	0,20...0,60	1,50...3,00	–
AK7M2π	0,20...0,60	6,00...8,00	0,20...0,60	1,50...3,00	–
AK7M3Ц2Mг	0,30...0,50	6,50...8,00	–	2,50...3,50	1,50...2,00 Zn
					0,07...0,20 Cr
					0,05...0,20 Ti
AK7Ц9	0,15...0,35	6,00...8,00	–	–	7,00...12,0 Zn
AK8M3	–	7,50...10,0	–	2,00–4,50	–
AK8π	0,40...0,60	6,50...8,50	–	–	0,10...0,30 Ti
					0,15...0,40 Be
AK9	0,20...0,40	8,00...11,0	0,20...0,50	–	–
AK9M2	0,25...0,85	7,50...10,0	0,10...0,40	0,50...2,00	0,05...0,20 Ti
AK9Ц6	0,35...0,55	8,00...10,0	0,10...0,60	0,30...1,50	5,00...7,00 Zn
					0,30...1,00 Fe
AK10Cy	0,15...0,55	9,00...11,0	0,30...0,60	–	0,10...0,25 Sb
AK12MMгH	0,85...1,35	11,0...13,0	–	0,80...1,50	0,80...1,30 Ni
AK12M2	–	11,0...13,0	–	1,80...2,50	0,60...0,90 Fe
AK12M2MгH	0,80...1,30	11,0...13,0	0,30...0,60	1,50...3,00	0,80...1,30 Ni
					0,05...0,20 Ti
AK21M2,5H2,5	0,30...0,60	20,0...22,0	0,20...0,40	2,20...3,00	2,20...2,80 Ni
					0,20...0,40 Cr
					0,10...0,30 Ti
A-S5UZ (FRA)	–	5,00...7,00	0,20...0,60	3,00...5,00	–
A-S9GU (FRA)	0,15...0,50	8,00...11,0	0,25...0,60	0,40...1,00	–
DIN226	0,20...0,50	8,00...11,0	0,10...0,50	2,50...3,50	–
DIN226D	0,10...0,50	8,00...11,0	0,10...0,40	2,50...3,50	–
DIN1725	0,10...0,50	5,00...7,50	0,10...0,60	3,00...5,00	–
ADC12	–	9,60...12,0	–	1,50...3,50	–
380 (USA)	–	7,50...9,50	–	3,00...4,00	–
238 (USA)	0,10...0,40	3,00...5,00	0,50...0,70	9,50...10,5	0,80...1,20 Ni
					0,20...0,30 Ti
328 (USA)	0,20...0,60	7,00...9,00	0,20...0,60	1,00...2,00	0,10...0,40 Ni
					0,20...0,30 Ti
AC4B (JPN)	–	7,00...10,0	–	2,00...4,00	–
AC8B (JPN)	0,50...1,50	8,50...10,5	–	2,00...4,00	0,10...1,00 Ni
AC2A (JPN)	–	4,00...6,00	–	3,00...4,50	–

Марка сплаву	Масова частка домішок, не більше %								
	Mg	Si	Mn	Cu	Zn	Fe	Pb	Sn	інші
1	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AK7	-	-	-	1,5	0,5	1,0	-	-	-
AK7M	-	-	-	-	1,0	0,8	-	-	-
AK7M2	-	-	-	-	0,5	1,0	-	-	-
AK7M2п	-	-	-	-	0,3	1,0	-	-	-
AK7M3Ц2Mг	-	-	0,25	-	-	0,5	-	-	-
AK7Ц9	-	-	0,5	0,6	-	1,2	-	-	-
AK8M3	0,45	-	0,5	-	1,2	1,3	0,5	-	0,5 Ni
AK8п	-	-	0,1	0,3	0,3	0,5	-	-	0,5 Pb+Sn
AK9	-	-	-	1,0	0,5	1,2	-	-	0,3 Ni
AK9M2	-	-	-	-	1,2	0,9	0,15	-	0,5 Ni, 0,1 Cr
AK9Ц6	-	-	-	-	-	-	0,3	-	0,3 Ni
AK10Cy	-	-	-	1,8	1,8	1,1	-	-	0,5 Ni
AK12MMгH	-	-	0,2	-	0,2	0,6	0,05	0,01	0,2 Ti, 0,2 Cr
AK12M2	0,2	-	0,5	-	0,8	-	0,15	0,1	0,2 Ti, 0,3 Ni
AK12M2MгH	-	-	-	-	0,5	0,8	0,1	0,02	0,2 Cr
AK21M2,5H2,5	-	-	-	-	0,2	0,9	0,05	0,01	-
A-S5UZ (FRA)	0,3	-	-	-	2,0	1,0	-	-	0,3 Ni, 0,25 Ti
A-S9GU (FRA)	-	-	-	-	0,5	0,9	-	-	0,2 Ni, 0,2 Ti
DIN226	-	-	-	-	1,2	0,7	0,2	0,1	0,3 Ni, 0,15 Ti
DIN226D	-	-	-	-	1,2	1,0	0,2	0,1	0,3 Ni, 0,15 Ti
DIN1725	-	-	-	-	2,0	1,0	-	-	0,3 Ni, 0,15 Ti
ADC12	0,3	-	0,5	-	1,0	0,9	-	-	0,5 Ni, 0,15 Ti
380 (USA)	0,3	-	0,5	-	3,0	1,0	-	0,35	0,5 Ni
238 (USA)	-	-	-	-	1,5	1,5	-	-	-
328 (USA)	-	-	-	-	1,5	1,0	-	-	-
AC4B (JPN)	0,5	-	0,5	-	1,0	1,0	-	-	0,35 Ni, 0,2 Ti
AC8B (JPN)	-	-	0,5	-	0,5	1,0	-	-	0,2 Ti
AC2A (JPN)	0,25	-	0,55	-	0,55	0,8	-	-	0,3 Ni, 0,2 Ti

Додаток Б
ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОЇ СТОРІНКИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

Кафедра металургії

КОНТРОЛЬНА РОБОТА
з дисципліни “Конструкції технологічних
агрегатів кольорової металургії”

Виконав

(дата, підпис)

ст. гр. МЕТ–2–12з

Петриченко С.М.

Перевірив

(дата, підпис)

доцент, к.т.н.

Нестеренко Т.М.

Запоріжжя

2016

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шкляр, М. С. Печи вторичной цветной металлургии [Текст] / М.С. Шкляр. – М.: Металлургия, 1987. – 216 с. – Библиогр.: с. 214-216.
2. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини: навч. посіб. [Текст] / Т. М. Нестеренко, О. М. Нестеренко, Г. О. Колобов, В. П. Грицай. – К.: Вища шк., 2007. – 207 с. – ISBN 978-976-642-354-5.
3. Єгоров, С. Г. Конструкція агрегатів кольорової металургії: Підручник для вnz [Текст] / С. Г. Єгоров, І. Ф. Червоний, Р. М. Воляр, під ред. д.т.н., проф. Червоного І. Ф.; Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 230 с.– Библиогр.: с. 230. – ISBN 978–966–8462–60–3.
4. Нестеренко Т.М. Виробництво алюмінієвих сплавів із рудної та вторинної сировини. Методичні вказівки до практичних занять для студентів ЗДІА спеціальності 7.090402 “Металургія кольорових металів” [Текст] / Т. М. Нестеренко. –Запоріжжя: ЗДІА, 2006. – 40 с.