

МВ ССО УРСР

ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФІЛІАЛ

ЛЬВІВСЬКОГО ОРДЕНА ЛЕНІНА ПОЛІТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ

ім. ЛЕНІНСЬКОГО КОМСОМОЛУ

Кафедра обладнання і технологій підприємств
будівельних матеріалів

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

з курсу "Теплові установи заводів будівельних
матеріалів"

"Зняття температурної кривої і вивчення теплового
балансу при відпалі вапняку в муфельній електропечі"

Тернопіль - 1990 р.

I. Мета роботи

1. Вивчити процес високотемпературного відпалу вапняку і на основі експериментальних даних побудувати криву процесу.
2. Ознайомитися із структурою теплового балансу і скласти тепловий баланс муфельної печі при відпалі вапняку.

II. Теоретичні відомості

При виробництві керамічних і в'язких будівельних матеріалів найбільш енергоємною операцією являється відпал. Під відпалом розуміють високотемпературний тепловий обробіток сировини і напівфабрикатів, в результаті якого в них відбуваються незворотні фізико-хімічні процеси, які приводять до зміни фазового стану, структури і фізико-технічних властивостей матеріалу, без зміни агрегатного стану і без суттєвої зміни об'єму. При цьому ефективність використання енергії визначається, в основному, трьома факторами: повнотою горіння палива, глибиною охолодження технологічних газів і кількістю втрат тепла в навколишнє середовище. Для визначення цих факторів, а також для визначення теплового коефіцієнту корисної дії печі відпалу використовують метод теплового балансу.

Тепловий баланс печі — це рівняння, яке дозволяє встановити взаємозв'язок між кількістю тепла, виділеного за час роботи печі, кількістю тепла, використаного на технологічні процеси (корисно використаного) і втраченого в навколишнє середовище. З допомогою балансу можна також розраховувати температурну криву по довжині робочого простору безперервно діючої печі.

Тепловий баланс складають в одиницях теплової потужності — Вт або в одиницях питомої теплоти — кДж/кг (кількість тепла, віднесена до 1 кг відпаленого матеріалу). Згідно з законом збереження енергії розхід тепла повинен бути рівний приходу, тому

рівняння теплового балансу при відпалі вапняку в лабораторній муфельній електропечі в одиницях питомої теплоти буде мати вигляд:

$$Q_{\text{ел.н}} = Q_M + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{х.м.}} + Q_{\text{газ}} + Q_{\text{клад}} + Q_{\text{т.г}} + Q_{\text{н.с.}}, \quad (1)$$

За прхід тепла будемо вважати тепло, що виділяється електричними нагрівниками муфельної електропечі

$$Q_{\text{ел.н.}} = \frac{N \cdot 3600 \cdot \eta}{G_K}, \quad \text{кДж/кг} \quad (2)$$

де N - затрачена потужність, визначена згідно показаннів електричного лічильника, кВт/год (1 кВт/год = 3600 кДж)

$$N = N_{\text{кін}} - N_{\text{поч}}, \quad \text{кДж} \quad (3)$$

$N_{\text{поч}}$ - показаннв електричного лічильника перед початком експерименту;

η - коефіцієнт корисної дії нагрівників, $\eta = 0,8$;

G_K - кінцева маса відпаленого продукту, кг.

При відпалі вапняку розхід тепла оцінюється сумою складових правої частини рівняння (1)

I. Q_M - тепло, затрачене на нагрівання матеріалу;

$$Q_M = Q_1 + Q_2, \quad \text{кДж/кг} \quad (4)$$

де Q_1 - тепло, затрачене на нагрівання сухого матеріалу від 293°K до 773°K ;

Q_2 - тепло, затрачене на нагрівання дегідратованого матеріалу від 773°K до 1173°K ;

$$Q_1 = (G_n - G_v) \cdot \frac{1}{G_K} \cdot C_1 \cdot (t'_K - t_n), \quad \text{кДж/кг} \quad (5)$$

де G_n - початкова маса матеріалу, кг;

G_v - маса фізично зв'язаної води в матеріалі перед відпалом, визначається висушенням проби матеріалу

до постійної ваги при 373°K , кг;

$C_1 = 1,06$ кДж/кг К - середня теплоємність сухої сировини;

$t_n = 293^{\circ}\text{K}$ - початкова температура матеріалу;

$t'_k = 773^{\circ}\text{K}$ - температура дисоціації карбонатних сполук;

$$Q_2 = (G_n - G_v - G_{гггг}) \cdot \frac{1}{G_k} \cdot C_2 \cdot (t_k - t'_k), \text{ кДж/кг} \quad (6)$$

де $G_{гггг}$ - маса хімічно зв'язаної води перед відпадом, кг;

$$G_{гггг} = G_k \cdot \left(\frac{M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot AL_2O_3}{M_{AL_2O_3} \cdot 100} \right), \text{ кг} \quad (7)$$

де $M_{\text{H}_2\text{O}} = 2(1 \times 2 + 16) = 36$ - молекулярна маса двох молекул води;

$M_{AL_2O_3} = 2 \times 26 + 3 \times 16 = 100$ - молекулярна маса молекули оксиду алюмінію;

AL_2O_3 - процентний вміст оксиду алюмінію в сировині для вапняків Тернопільської області

$AL_2O_3 = 0,001 + 1,66\%$;

$C_2 = 1,185$ кДж/кг К - середня теплоємність дегідратованої сировини;

$t_k = 1173^{\circ}\text{K}$ - максимальна температура відпаду;

2. $Q_{\text{вип}}$ - тепло, затрачене на випаровування води з матеріалу

$$Q_{\text{вип}} = (C_v \cdot t_n + \gamma) \cdot \frac{G_v}{G_k}, \text{ кДж/кг} \quad (8)$$

де $C_v = 4,2$ кДж/кг К - теплоємність води;

$\gamma = 2500$ кДж/кг - прихована теплота пароутворення;

3. $Q_{\text{хим}}$ - тепло, затрачене на хімічні ендотермічні процеси дегідратації і декарбонізації;

$q_{гггг} = 6700$ кДж/кг - тепловий ефект дегідратації вапніну;

$$Q_{\text{хим}} = (q_{\text{гдр}} \cdot G_{\text{гдр}} + q_{\text{CaCO}_3} \cdot G_{\text{CaCO}_3} + q_{\text{MgCO}_3} \cdot G_{\text{MgCO}_3}) \cdot \frac{1}{G_K}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (9)$$

$q_{\text{CaCO}_3} = 1584$ кДж/кг - тепловий ефект декарбонізації вуглекислого кальцію;

$q_{\text{MgCO}_3} = 1316$ кДж/кг - тепловий ефект декарбонізації вуглекислого магнію;

G_{CaCO_3} - кількість вуглекислого кальцію у вапняку, кг;

G_{MgCO_3} - кількість вуглекислого магнію у вапняку, кг;

4. $Q_{\text{роз}}$ - тепло, затрачене на перегрів випареної вологи

$$Q_{\text{роз}} = (G_v \cdot L_1 + G_{\text{гдр}} \cdot L_2) \cdot \frac{1}{G_K}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (10)$$

$L_1 = 1898$ кДж/кг - тепловміст (ентальпія) випареної фізично зв'язаної вологи при температурі 1173°K ;

$L_2 = 3488$ кДж/кг - тепловміст випареної хімічно зв'язаної вологи з врахуванням прихованої теплоти пароутворення;

5. $Q_{\text{клад}}$ - тепло, затрачене на нагрівання ізоляційної кладки печі акумульоване кладкою

$$Q_{\text{клад}} = G_{\text{клад}} (C_H \cdot t_H - C_X \cdot t_X) \cdot \frac{1}{G_K}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (11)$$

$G_{\text{клад}} = 10,5$ кг - маса шамотної кладки муфельної печі;

$t_H = 773^\circ\text{K}$ - середня температура нагрітої шамотної кладки;

$C_H = 0,964$ кДж/кг К - питома теплоємність нагрітої шамотної кладки;

t_X - температура холодної шамотної кладки, К;

$C_X = 0,808$ кДж/кг К - питома теплоємність холодної шамотної кладки;

6. $Q_{\text{під}}$ - тепло, затрачене на нагрівання підставки з сіткою

$$Q_{\text{під}} = G_{\text{під}} (C_{\text{стк}} - C_{\text{стп}}) \frac{1}{G_{\text{ст}}}, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \quad (12)$$

де $G_{\text{під}}$ - кг маса металеві підставки;

$C_{\text{стк}}$ - кДж/кг К - питома теплоємність нагрітої металеві підставки;

$C_{\text{стп}}$ - 0,048 кДж/кг К - питома теплоємність холодної металеві підставки;

7. $Q_{\text{н.с.}}$ - Втрати тепла корпусом печі в навколишнє середовище

$$Q_{\text{н.с.}} = 3,6 \alpha_{\text{заг}} \cdot F \cdot \varrho (t_{\text{ст}} - t_{\text{с}}) \cdot \frac{1}{G_{\text{ст}}} \cdot 12, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (13)$$

де $\alpha_{\text{заг}}$ - сумарний коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні муфельної печі;

$$\alpha_{\text{заг}} = \alpha_{\text{кон}} + \alpha_{\text{випр}}, \quad \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (14)$$

де $\alpha_{\text{кон}}$ - 8,4 Вт/м²К - коефіцієнт конвективної тепловіддачі від зовнішньої поверхні муфельної печі;

$\alpha_{\text{випр}}$ - 0,06 $(t_{\text{ст}} - t_{\text{с}})$ Вт/м²К - коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від зовнішньої поверхні муфельної печі;

$t_{\text{ст}}$ - температура зовнішньої стінки муфельної печі, К;

$t_{\text{с}}$ - температура повітря всередині печі, К;

F - м² - площа зовнішньої поверхні вкладки муфельної печі;

ϱ - тривалість дослідів, с;

Підставляючи одержані дослідні і розрахункові значення в

рівняння (I), одержимо прихідну і розхідну частини теплового балансу і визначимо їхню різницю ΔQ , яка називається неузгодженістю теплового балансу і залежить від точності проведення досліду і ступеня врахування затратних статей теплового балансу.

Тепловий коефіцієнт корисної дії печі характеризує досконалість конструкції і ефективність її роботи і являє собою відношення корисно затраченого тепла на технологічні процеси до загальної кількості приведенного тепла

$$\eta_{\tau} = \frac{Q_{\text{м}} + Q_{\text{випл}} + Q_{\text{хім}} + Q_{\text{газ}}}{Q_{\text{сн}}} \cdot 100\% \quad (15)$$

III. Будова лабораторної установки

Основною лабораторної установки (мал. I) являється муфельна електрична піч Н 2У-І з авторегулятором температури 2 і дверма 3 для завантаження матеріалу 4, який в печі розміщується на підставці 5. В робочу камеру печі введена термопара типу ХА 6, яку прикріплюють до матеріалу і під'єднують до багатоканального самопилючого потенціометра КСПЧ 7. Для вимірювання температури всередині робочої камери і температури зовнішньої поверхні камери встановлені термопари типу ХА 8 і 9, приєднані до потенціометра. Для відключення установки, замірювання затрат електроенергії і контролю за роботою електрообладнання на щиті керування встановлено пристрій захисного відключення УЗО-ІО-2 ІО і лічильник СО-446 ІІ. Муфельна піч і вимірювальні прилади встановлені на рамі І2.

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

I. Познайомитися з конструкцією і принципом роботи лабораторної установки, одержати дозвіл на проведення роботи.

2. Одержати необхідні прилади і матеріали для проведення роботи: різноважки, зразки вапняку, секундомір.

3. Перевірити справність лабораторної установки.

4. Включити рубильник СП-62 (лаборант).

5. Включити рубильник ЯРБ-100Н (лаборант).

6. З допомогою регулятора температури встановити температуру нагріву муфельної електричної печі і увімкнути її в розетку пристрою захищеного відключення УЗО-ІО-2.

7. На пульті УЗО-ІО-2 натиснути кнопку "Пуск".

8. При загоранні лампочки "Сеть" натиснути кнопку "Контроль". Якщо лампочка "Сеть" не погасла, необхідно припинити всі види робіт і повідомити наладдача.

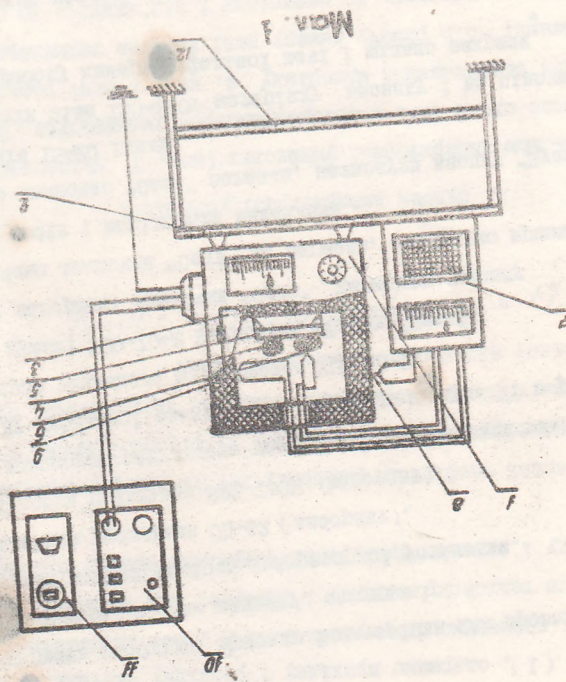
9. Якщо лампочка "Сеть" погасла, натиснути кнопку "Пуск" і прогрівати віч 15-20 хвилин.

10. Зважити біля 150-200г матеріалу вапняку і на підставці помістити в роботу камеру муфельної печі і щільно закрити двері.

11. Включити контрольно-вимірні прилади і зафіксувати початкові показання температури в печі і на її зовнішній поверхні, показники електричного лічильника і час початку досліджу.

12. Слідкувати за процесом відпалу в муфельній печі і заносувати показники потенціометрів через кожні 10-15 хвилин в таблицю І.

13. Паралельно дослідженню процесу відпалу вапняку взяти 15-20г матеріалу (вапняку), визначити його початкову вагу G_0 , помістити в сушильну шафу і при температурі 373°K сушити до постійної ваги $G_{\text{сух}}$, проводячи повторні зважування через кожні 10 хвилин.



14. Використовуючи залежність

$$\omega = \frac{G_o - G_{сух}}{G_o} \quad , \quad (16)$$

визначити початкову вологість матеріалу.

15. Використовуючи залежність

$$G_v = \omega \cdot G_n \quad , \quad \text{кг} \quad (17)$$

визначити масу фізично зв'язаної води в матеріалі перед відпадом.

16. Після нагрівання поверхні досліджуваного матеріалу до температури $T \gg 1173^\circ\text{K}$ виключити електричне живлення печі шляхом натискання на пульті УЗО-10-2 кнопки "Стоп" і вимикання з розетки.

17. Записати кінцеві показники всіх приладів і виключити живлення контрольно-вимірювальних приладів. Після охолодження матеріалу визначити його кінцеву масу G_k .

18. Вимкнути рубильник СП-62 (лаборант).

19. Вимкнути рубильник ЯРВ-100Н (лаборант).

20. Використовуючи приведені в таблиці 2 процентний вміст в досліджуваному матеріалі і початкову масу матеріалу G_n , вирахувати вагу компонентів і записати в таблицю 2.

21. Виконати розрахунки теплового балансу, використовуючи формули (1) - (14), теплового К.К.Д. печі (15). Одержані результати записати в таблицю 3, зробити аналіз одержаних результатів і висновки.

22. Побудувати температурну криву відпаду.

У. Оформлення результатів досліджень

Таблиця 1.

Результати досліджень температурного режиму відпалу напівпалу

Час з початку експерименту	Температура матеріалу	Температура всередині печі	Температура зовнішньої отінки
τ , хв.	t_n , К	t_s , К	t_{cr} , К
10			
20			
...			
$\Sigma \tau$			$t_{cp} = \frac{\Sigma t_{cr}}{n}$

Таблиця 2.

Склад досліджуваного матеріалу

Хімічна сполука	G_n	$CaCO_3$	$MgCO_3$	Al_2O_3	SiO_2	F_2O	FeO_2	SO_3	нерозв. осадок	П.П.П.
% вміст	100	50,05	1,34	1,66	5,8	0,39	0,19	0,28	6,06	34,23
Вага, кг										

Таблиця 3.

Результати досліджень

Маса, кг		Показники лічильника		N	$Q_{del. n.}$	ΣQ	ΔQ	η_n
Зразка	Порції	кВт год	кВт год					
G_n G_n	$G_{св}$ $G_{ср}$ G_z	G_o G_{ovx}	$N_{псд}$ $N_{кін}$	кВт год	$\frac{кДж}{кг}$	$\frac{кДж}{кг}$	$\frac{кДж}{кг}$	%

Л і т е р а т у р а

1. Левченко П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности.
- М.,:Высшая школа, 1968.- 368 с.
2. Воробьев Х.С., Мазуров Д.Я., Соколов А.А. Теплотехнологические процессы и аппараты силикатных производств.
- М.,:Высшая школа, 1965.- 776 с.
3. Перегудов В.В., Роговой М.И. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей.
- М.,:Стройиздат, 1983.- 416 с.
4. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы.
- М.,:Стройиздат, 1986.- 688 с.

Укладачі: асистент, к.т.н.

Балабан С.М.

ст.викл., к.т.н.

Куц В.П.

ст.викл., к.т.н.

Калущка В.П.

Відповідальний за випуск:

зав.кафедрою, доцент, к.х.н.

Каспрук Б.І.

Здано в набір 18.06.90. Підписано до друку 18.06.90

Формат 60х84/16. Зам. № 2923. Тираж 50

Друкарня видавництва "Збруч" Тернопільського обкому

Компартії України

м. Тернопіль, вул. Евкова, 11