

АНАЛІЗ ВЗАЄМНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ОКРЕМИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕСУ ОБПАЛУ ОКАТИШІВ

Анотація. У статті представлені результати моделювання роботи зон сушки, підігріву та обпалу конвеєрної машини для обпалу окатишів. Встановлено, що при наявності залишкової вологи в окатишах розвиток процесів окислення магнетиту і дисоціації вапняку значно сповільнюється в наслідок чого знижується кінцева якість окатишів і продуктивність процесу обпалу.

Ключові слова: обпал окатишів, залишкова волога, розкладання вапняку, окислення магнетиту.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями

Збільшення продуктивності і підвищення якості кінцевого продукту, як правило, є основними напрямками оптимізації будь-якого технологічного процесу. Одним з дієвих шляхів вирішення вказаних завдань, стосовно процесу виробництва залізородних окатишів, є теоретично обґрунтована інтенсифікація роботи зони сушки обпалювальної конвеєрної машини. Загальновідомо, що зона сушки лімітує і визначає як швидкість руху обпалювальних візків, так і, в значній мірі, умови подальшої термічної обробки окатишів, і, отже, їх якість. Незважаючи на беззаперечну важливість глибокого дослідження роботи вказаної зони і істотний резерв її поліпшення, на сьогоднішній день залишається відкритими багато питань. Зокрема, відомо, що застосовувані наразі режими сушки залізородних окатишів не є найефективнішими. [1,2]

Вміст залишкової вологи в окатишах навіть у відносно невеликій кількості в значній мірі впливає на протікання фізико-хімічних процесів в зоні підігріву. Таким чином, дослідження впливу параметрів сушки окатишів на протікання фізико-хімічних процесів у зонах підігріву та обпалу для подальшої оптимізації роботи зони сушки є актуальним завданням.

Аналіз досягнень і публікацій

Складність проблеми раціональної організації роботи зони сушки обпалювальної конвеєрної машини обумовлює різноманіття підходів до її рішення [3,4]. Основна увага приділяється сушці окатишів з погляду запобігання їх руйнування у зоні підігріву. Втім в недостатній мірі розглядаються питання впливу параметрів процесу сушки на подальше протікання фізико – хімічних процесів під час обпалу.

Постановка завдання

Метою даної статті є дослідження роботи обпалювальної конвеєрної машини із застосуванням різних режимів сушки і подальший аналіз одержаних результатів, який передбачає визначення впливу режиму сушки на ступінь розкладання вапняку та окислення магнетиту. Зазначене дослідження проводилось із застосуванням методів математичного моделювання.

Методика дослідження

Використана для дослідження динамічна математична модель [5], в якій використані наступні основні рівняння:

Диференціальне рівняння видалення вологи в шарі окатишів [6]:

$$L_{H_2O} \cdot \rho_{ок} \cdot (1 - \xi) \cdot \frac{\partial W_{H_2O}}{\partial \tau} = -a_v \cdot (t_{ок} - t_{вип}), \quad (1)$$

де: L_{H_2O} – прихована теплота пароутворення води, Дж/кг; $\rho_{ок}$ – щільність концентрату кг/м³; ξ – пористість шару окатишів, дол. од.; W_{H_2O} – вміст вологи в окатишах, дол. од.; $t_{ок}$ – температура окатишів, °С; τ – час, с; a_v – коефіцієнт теплопровідності (від газу до окатишів), Вт/(м·К); $t_{вип}$ – температура випаровування, °С.

Диференціальне рівняння теплового балансу для шару сухих окатишів:

$$\rho_{ок} \cdot (1 - \xi) \cdot C_{ок} \cdot \frac{\partial t_{ок}}{\partial \tau} = -a_v \cdot (t_2 - t_{ок}) + Q_1 - Q_2 + Q_3, \quad (2)$$

де: $\rho_{ок}$ – щільність концентрату кг/м³; ξ – пористість шару окатишів, дол. од.; $t_{ок}$ – температура окатишів, °С; τ – час, с; a_v – коефіцієнт теплопровідності (від газу до окатишів), Вт/(м·К); t_2 – температура газу, °С; Q_1 – теплота окислення магнетиту, Дж; Q_2 – теплота розкладання вапняку, Дж; Q_3 – теплота окислення вуглецю, Дж.

Диференціальне рівняння теплового балансу для газу:

$$\rho_2 \cdot C_2 \cdot W_2 \cdot \frac{\partial t_2}{\partial x} = a_v \cdot (t_{ок} - t_2); \quad (3)$$

де: ρ_2 – щільність газу кг/м³; C_2 – теплоємність газу, кДж/(К·м³); W_2 – нормальна швидкість руху газу крізь перетин шару, м/с; t_2 – температура газу, °С; ∂x – координата, спрямована по висоті шару зверху вниз, м; a_v – коефіцієнт теплопровідності (від газу до окатишів), Вт/(м·К); $t_{ок}$ – температура окатишів, °С.

Для опису швидкості протікання процесу окислення магнетиту використовувалася підмодель [7], в якій прийнято, що окислення протікає від поверхні окатишу до його центру, визначається масообміном на поверхні окатишу і швидкістю дифузії кисню з поверхні окатишу до ще неокисленого ядра. Швидкість окислення магнетиту розраховували за формулою:

$$V_{Fe_3O_4} = \frac{16\pi r_M^2(\tau) \cdot P \cdot (C_{O_2}^{равн} - C_{O_2})}{R_o T_{ок} \cdot \left\{ \frac{1}{k_r} + \frac{r_M^2(\tau)}{r_{ок}^2 \cdot k_{gO_2}} + \frac{r_M(\tau)}{D_{O_2}} \cdot \left[1 - \frac{r_M(\tau)}{r_{ок}} \right] \right\}}, \quad (4)$$

де: $V_{Fe_3O_4}$ – швидкість реакції окислення магнетиту, моль/с; $r_M(\tau)$ – радіус ядра магнетиту, який ще не окислився, м; $r_{ок}$ – радіус окатишу, м; P – загальний тиск газу, Па; $C_{O_2}^{равн}$ – рівноважна об'ємна концентрація O₂, моль/м³; C_{O_2} – об'ємна концентрація O₂ у поверхні окатишу, моль/м³; R_o – універсальна газова стала, Дж/(моль·К); $T_{ок}$ – температура окатишу, К; k_r – швидкість хімічної реакції окислення магнетиту, м/с; k_{gO_2} – коефіцієнт передачі маси на поверхні окатишу, м/с.

Швидкість розкладання вапняку визначається за рівнянням [8]:

$$V_{CaCO_3} = \frac{4\pi r_{ок}^2 (C_{CO_2}^{равн} - C_{CO_2})}{\frac{1}{k_{CO_2}} + \left[\frac{r_{ок}}{r_1(\tau)} \right]^2 \frac{K_1}{k_1 R_o T_{ок}} + \frac{r_{ок} [r_{ок} - r_1(\tau)]}{r_1(\tau) D_{CO_2}}}, \quad (5)$$

де: V_{CaCO_3} – швидкість реакції розкладання вапняку, моль/с; $C_{CO_2}^{равн}$ – рівноважна об'ємна концентрація CO_2 , моль/м³; C_{CO_2} – об'ємна концентрація CO_2 у поверхні окатишу, моль/м³; k_{CO_2} – коефіцієнт масо-переносу CO_2 на поверхні окатишу, м/с; $r_1(\tau)$ – радіус ядра, який містить вапняк, що не розклався, в момент часу τ , м; K_1 – константа реакції розкладання вапняку, С⁻¹; k_1 – швидкість хімічної реакції розкладання вапняку, м/с; D_{CO_2} – коефіцієнт дифузії CO_2 в повітрі, м²/с.

Результати дослідження

Для визначення впливу залишкової вологи на процеси, що протікають при підігріві окатишів, проведено дослідження за допомогою математичного моделювання впливу температури газу і швидкості газового потоку на вміст залишкової вологи в окатишах для умов сушки окатишів просмокуванням повітря з гори до низу, а також вплив вмісту залишкової вологи на ступінь дисоціації вапняку і ступінь окислення магнетиту (розподіл залишкової вологи розраховувався з урахуванням використання реверсивної сушки окатишів).

Відсоток розподілення залишкової вологи за висотою шару окатишів, в залежності від температури їх сушки та швидкості газового потоку за результатами моделювання наведений у таблиці 1.

Залежність ступеню розкладання вапняку від вмісту залишкової вологи в окатишах по висоті шару наведена на рисунку 1. Залежність ступеню окислення магнетиту від вмісту залишкової вологи в окатишах по висоті шару наведена на рисунку 2.

Встановлено, що зі збільшенням температури газу в зоні сушки до 450°С в і швидкості газового потоку понад 1,2 м/с волога в окатишах видаляється на 90% і більш по всій висоті шару.

За результатами дослідження ходу протікання процесів окислення магнетиту і дисоціації вапняку в залежності від вмісту залишкової вологи в окатишах встановлено, що при наявності залишкової вологи розвиток процесів окислення магнетиту та дисоціації вапняку значно сповільнюється. Тому, щоб не допустити сповільнення процесів, що протікають при підігріві, необхідно максимально повно видалити зайву вологу з окатишів в зоні їх сушки.

Залишкова волога в залежності від температури газу у зоні сушки та швидкості газового потоку по висоті шару

Температура газу, °С	350			400			450			Висота у шарі, мм	
	Швидкість газу, м/с	0,8	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2	0,8	1,0		1,2
Залишкова волога, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240
	3,3	0,6	0	1,4	0	0	0	0	0	0	180
	5,5	3,7	1,4	4,3	1,8	0	3	0	0	0	120
	6,9	5,7	4,1	6,1	4,4	2,1	5,3	2,9	0	0	60

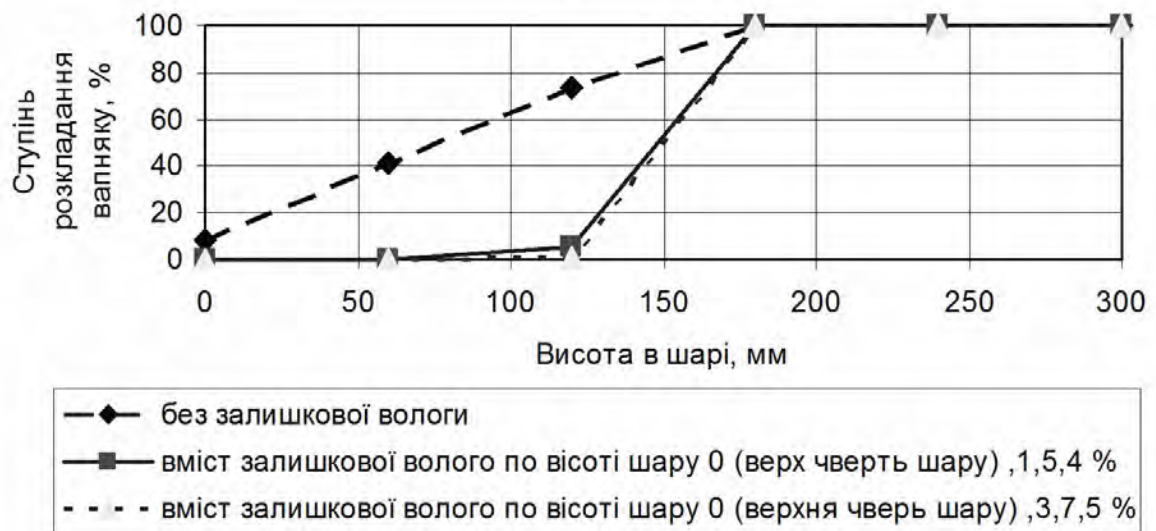


Рисунок 1 - Залежність ступеню розкладання вапняку від вмісту залишкової вологи в окатишах по висоті шару в кінці зони підігріву

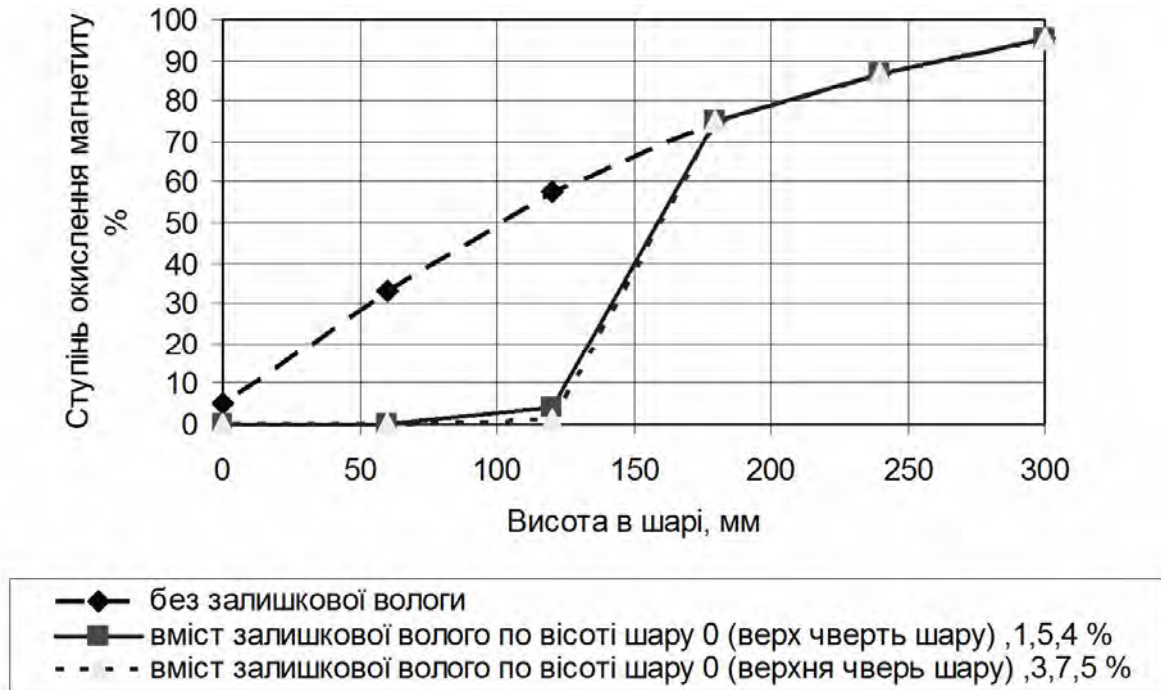


Рисунок 2 - Залежність ступеню окислення магнетиту від вмісту залишкової вологи в окатишах по висоті шару в кінці зони підігріву

При температурі сушки 350 - 400°C в окатишах на виході з зони сушки залишається істотна кількість вологи, а при температурі 350°C і швидкості газового потоку 0,8 м/с не встигає висушитися більша частина шару, при цьому процеси розкладу вапняку та окислення магнетиту протікатимуть більшою мірою у зоні обпалу, що негативно позначиться на якості окатишів і продуктивності процесу.

Висновки

На підставі проведених досліджень встановлено, що при обпалі окатишів необхідна ступінь зневоднення в зоні сушки повинна бути не менше 90-95%, щоб окатиші не руйнувалися при подальшому інтенсивному нагріванні.

За наявності значної кількості залишкової вологи декарбонізація вапняку починається в зоні підігріву - там, де температура окатишів в шарі досягає температури його розкладання, і, більшою частиною, протікає в зоні обпалу. Окислення магнетиту починається в зоні підігріву і закінчується на 90% і більше в зоні обпалу, при цьому значного окислення магнетиту в зонах рекуперації та охолодження на конвеєрних машинах не спостерігається.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кокорин Л.К. Производство окисленных окатышей. Л.К. Кокорин, С.Н. Лелеко - Екатеринбург: Изд-во «Уральский центр ПР и рекламы».- 2004.- 208с.
2. Абзалов В.М. Эффективность работы зон сушки обжиговых машин. В.М. Абзалов // Сталь.- 2008.- № 12.- С.25-27.
3. Механизм упрочнения и свойства окатышей из железорудного концентрата Михайловского ГОКа. / Журавлев Ф.М., Малышева Т.Я., Чумак А.Д. и др. // Сталь – 1981 - № 4 – С.16 – 20.
4. Интегральный показатель качества технологии производства железорудных окатышей (на примере Лебединского горнообогатительного комбината) / А.Р. Жак, Ю.С. Юсфин, Р.Г. Мирнова [и др.] // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия.-1998.- № 3.- С. 6 – 14.
5. Ковалёв Д.А Разработка динамической математической модели для управления обжигом углеродсодержащих железорудных окатышей / Д.А. Ковалёв, Н.Д. Ванюкова, М.Н. Бойко // Системні технології : регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – 2008г – Дніпропетровськ: Системні технології, № 1. – с. 93-102.
6. Young R.W. Mathematical model of grate – kiln – cooler process used for induration of iron are pellets / R.W. Young, M. Cross, R.D. Gibson // Ironmaning and Steelmaking. – 1979. – N 1. – P. 1 – 13.
7. Ванюкова Н.Д. Теоретические исследования окисления магнетита в окатышах / Н.Д.Ванюкова, Д.А.Ковалёв, М.Н. Бойко // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Металургія та освіта. проблеми і перспективи».- Запоріжжя.- 2006.- С. 24-26.
8. Теорія металургійних процесів. / [В.Б. Охотський, О.Л. Костьолов, А.К. Тараканов та ін.]- К.: ІЗМН, 1997.- 512 с.