

Г.М. ШАБАНОВА, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»,

Г.В. ЛІСАЧУК, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»,

А.М. КОРОГОДСЬКА, канд. техн. наук, докторант, НТУ «ХП»,

А.В. ЛІСІЙЧУК, магістрант, НТУ «ХП»

ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА ПРИ ВИПАЛІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОГО КЛІНКЕРУ В ОБЕРТОВІЙ ПЕЧІ З РЕАКТОРОМ-ДЕКАРБОНІЗАТОРОМ

У статті наведено результати розрахунку теплового та матеріального балансу обертової печі з реактором-декарбонізатором при переведенні її з газоподібного на тверде паливо. Вказано на перевагу даного типу палива у порівнянні з газоподібним, що призведе до зниження собівартості продукції за рахунок нижчої вартості палива. При цьому досягнута продуктивність та якість продукції залишаються на достатньо високому рівні.

Ключові слова: портландцемент, клінкер, обертова піч, тверде паливо, матеріальний баланс, тепловий баланс.

Портландцементний клінкер обпалюється при 1440 – 1450 °С, температура полум'яного простору в зоні спікання значно перевищує цю величину і, отже, процес горіння у обертових печах повинен протікати в дифузній області. У той же час слід зазначити, що горіння в обертовій печі відбувається дещо в інших умовах, ніж в котельних топках. Принципові відмінності полягають у кількості та розташуванні форсунок, більш високій температурі стінки і контакті факела з випалюваним матеріалом в обертових печах [1].

При спалюванні твердого палива також переважає думка про дифузне горіння, проте в деяких випадках передбачається можливість протікання процесу в перехідній області. Деякі дослідники довжину основної частини факела розраховують по інтенсивності вигорання коксового частинки максимально розміру, тобто лімітуючою стадією вважають молекулярну дифузію. У зв'язку з цим, для розробки практичних способів оптимізації спалювання палива, необхідно розглянути основні закономірності горіння палива в обертових печах [2].

Турбулентна дифузія визначає процес макрозмішування, тобто усереднення паливно-газо-повітряної суміші, молекулярна ж дифузія лімітує процес горіння безпосередньо біля поверхні частинок твердого палива.

Загальний час горіння складається з часу турбулентної та молекулярної дифузії. Вважається, що час змішування зазвичай в 2 – 4 рази більше час вигорання коксової частинки, тому інтенсифікація горіння зазвичай проводиться шляхом турбулізації потоку.

Для оцінки ступеня турбулізації потоку автори пропонують вести показники питомої потужності паливно-повітряної суміші і добуток критерію Фур'є – FO на коефіцієнт перетворення суміші.

Дані величини в комплексі залежать від розміру і форми топкового простору, кількості, конструкції та розташування форсунок; температури, кількості та швидкості вильоту паливно-повітряної суміші з форсунки; умов підведення і характеристики вторинного повітря; конструктивних особливостей головки печі та холодильника. Час молекулярно-дифузійного обміну залежить від коефіцієнта дифузії кисню в прикордонному шарі і розмірів твердої паливної частинки. Зі збільшенням температури суміші і тонкості помелу вугілля скорочується час вигорання частинки [3, 4].

Для розрахунку швидкості горіння палива і довжини факела в окремих роботах наводяться рівняння, які отримані емпіричним шляхом або рішенням диференціальних рівнянь тепло-масообміну паливно-газової фази. При цьому, як правило, враховується лише вплив окремих факторів, а не весь комплекс параметрів, який включає понад 10 елементів.

Загальним у всіх формулах є положення, яке узгоджується з численними практичними експериментами, що горіння всіх видів палива інтенсифікується при збільшенні початкової швидкості і потужності паливного потоку.

За впливом інших факторів, немає такої єдності. Так, наприклад, в одних роботах стверджується що зі збільшенням коефіцієнта надлишку повітря α подовжується факел, за даними ж інших, навпаки, зі збільшенням α прискорюється змішання палива з повітрям α , отже, і горіння.

Немає єдиної думки і про роль характеристики палива, положення пальника, температури вторинного повітря та ін.

Згідно деяким дослідженням можна інтенсифікувати теплообмін і горіння шляхом направлення факела на матеріал, досвід же інших показує, що в цьому випадку подовжується факел.

За впливом складу вугільного палива загальна думка сформульована Є.І. Ходоровим, зводиться до того що вугілля з великим вмістом летких V_p горить розтягнутим полум'ям.

Однак є і зворотня думка, а саме – вугілля з високим вмістом летких дає

на колосникових решітках довгий факел, і тому його називаються довгополум'яним [5 – 7].

Властивості вугілля змінюються при спалюванні його у вигляді вугільного пилю в обертових печах. Довгополум'яне вугілля, що подається у вигляді пилю в гарячу обертову піч, розпадається з великою швидкістю. Летючі компоненти газифікуються і повільно згорають, а частинки коксу, що розділились одержують високу пористість; це сприяє інтенсивному і повному доступу кисню, що призводить до швидкого згорання коксу.

З цим висловлюванням важко погодитися, тому що процес горіння лімітується в печі не стільки швидкістю вигорання вуглецевої частинки, скільки турбулентною дифузією, що визначає інтенсивність макрозмішування палива з повітрям.

Важливою характеристикою твердого форсунокового палива є також тонкість помелу R_{008} , зольність A_p і вологість W_p .

Якщо раніше рекомендувався залишок на ситі $R_{008} = 0,6 \cdot V_p$, то в даний час пропонується більш тонкий помел вугілля до $R_{008} = 4 - 10 \%$.

При цьому, як стверджується, відбувається більш раннє займання і вище випромінювальна здатність факела, що позитивно позначається на теплообміні в печі.

При грубому помелі віддаляється від головки температурний максимум. Для великих печей рекомендується більш грубий помел. З підвищенням вмісту золи слід тонше молоти вугілля і подавати більше первинного повітря. При збільшенні $W_p > 1 - 2 \%$ істотно сповільнюється горіння.

Великий вплив при спалюванні палива приділяється конструктивним елементам форсунок і топкових камер.

До форсунок пред'являються вимоги по широкому діапазону регулювання, який би забезпечував інтенсивне і повне горіння палива, ефективний теплообмін в печі. З цією метою запропоновані різні конструкції для всіх видів палива.

Тенденція останніх років зводиться до забезпечення можливості одночасного спалювання декількох видів палива, а також застосуванню для інтенсифікації нехімічних видів енергії [8 – 9].

У висновку огляду необхідно ще раз відзначити, що, згідно із загальними поглядами, процес горіння в печі в основному лімітується інтенсивністю турбулентного змішування палива з повітрям.

За теоретичним уявленням, в турбулентному полум'ї довжина факела

прямо пропорційна швидкості вдування, квадрату діаметра форсунки, і обернено пропорційна коефіцієнту дифузії. Таким чином, можна констатувати, що поки немає ще єдиного уявлення про теорію і практику спалювання палива в обертових печах, і це питання вимагає подальшого вивчення.

Технологічна лінія сухого способу виробництва оснащена пічним агрегатом $\text{Ø}4,5 \times 80$ м з реактором – декарбонізатором.

Досягнута продуктивність пічного агрегату складає 155 т/год клінкеру (проектна – 125 т/год) при питомій витраті тепла 764,3 ккал/кг клінкеру.

Основним паливом для випалу клінкеру є природний газ, теплотворної здатності $Q_{\text{нр}} = 8100$ ккал/м³.

Проектом передбачається переведення пічного агрегату на тверде паливо.

Згідно до Відомчих норм технологічного проектування цементних заводів кам'яне вугілля повинно відповідати наступним вимогам: теплота згоряння форсуночного палива не нижче 5500 ккал/кг; вихід летких речовин (у перерахунку на форсуночне паливо) у межах 18 – 28 %; зольність не повинна перевищувати значень, передбачених відповідними стандартами для кожного родовища вугілля.

У процесі випалу клінкеру зола практично повністю адсорбується клінкером. Тому при розрахунках хімічного складу сировинної суміші потрібно враховувати хімічний склад золи.

Для проведення розрахунків сировинних сумішей з урахуванням присадки золи палива склад вугілля перерахований на вологість форсуночного палива 1,5%.

Для випалу клінкеру використовуються наступні сировинні матеріали: Єленовський, Комсомольський і Жовтокаменський вапняки, доменний гранульований шлак, золошлакові відходи, відпрацьовані формовочні маси і некондиційна фракція рудної маси.

Вихідні дані для розрахунку матеріального та теплового балансів обертової печі наведені у табл. 1

Результати розрахунку матеріального балансу обертової печі наведені у табл. 2.

Результати розрахунку теплового балансу обертової печі наведені у табл. 3.

Порівняльна характеристика природного газу та використаного вугілля представлена у табл. 4.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку матеріального та теплового балансів обертової печі

Продуктивність печі		155 т/год
Питома витрата палива на випал клінкеру		764,3 ккал/кг·кл.
Склад вугільного палива		
	C _r	73,4 %
	H _r	3,66 %
	N _r	1,7 %
	O _r	7,9 %
	S _r	0,34 %
Зольність вугільного палива		11,5 %
Вологість вугільного палива		1,5 %
Теплотворна здатність		6613 ккал/кг·кл.
Хімічний склад сировинної суміші		
	в.п.п.	29,93 %
	SiO ₂	14,9 %
	Al ₂ O ₃	3,29 %
	Fe ₂ O ₃	2,45 %
	CaO	46,64 %
	MgO	1,99 %
	SO ₃	0,58 %
Питома витрата повітря на охолодження клінкеру		2,15 нм ³ /кг·кл.
Витрата надлишкового повітря із холодильника		1,3411 нм ³ /кг·кл.
Температура відходячих газів		3600 °С
Температура клінкеру		1500 °С
Температура надлишкового повітря із холодильника		3600 °С

Таблиця 2 – Матеріальний баланс обертової печі

Витрата	ккал/кг·кл.	%	Прихід	ккал/кг·кл.	%
Сировина	1,5404	46,92	Клінкер	1,0	30,46
Паливо	0,1156	3,52	Відходячі гази	2,1590	65,76
Повітря	1,627	49,56	Безповоротний пиловинос	0,1226	3,74
			Нев'язання	0,0014	0,04
УСЬОГО	3,283	100	УСЬОГО	3,283	100

Проект передбачає випуск портландцементу за сухим способом, сировина, що використовується в даному випадку є непластичною, тому найбільш доцільно застосовувати циклонні теплообмінники.

Перевагою використання циклонних теплообмінників є також можливість використання відходячих газів з попередньою очисткою, за рахунок їх малої вологості.

Таблиця 3 – Тепловий баланс обертової печі

Прихід	ккал/кг·кл.	%	Витрата	ккал/кг·кл.	%
Тепло згорання палива	764,3	96,3	Теоретична витрата тепла	288,4	36,3
Фізичне тепло палива	1,8	0,2	На випаровування вологи із сировини	4,5	0,6
Фізичне тепло повітря	9,5	1,2	З пилом відходячих газів	11,2	1,4
Фізичне тепло сировинної суміші	18,1	2,3	З надлишковим повітрям холодильника	152,7	19,2
			З клінкером	29,0	3,7
			З відходячими газами	192,3	24,2
			В навколишнє середовище	114,6	14,5
			Нев'язання	1,0	0,1
УСЬОГО	793,7	100	УСЬОГО	793,7	100

Таблиця 4 – Порівняльна характеристика природного газу та використаного вугілля

	Пиловугільне паливо ($Q_{PH} = 6613$ ккал/кг)				Природний газ ($Q_{PH} = 8100$ ккал/кг)			
	т/т кл	т/год	т/доб	тис.т/рік	т/т кл	т/год	т/доб	тис.т/рік
Умовне паливо	$\frac{109,19}{\text{кг ум.п.}} \text{ т кл}$	16,92	406,19	120,11	$\frac{109,19}{\text{м}^3 \text{ ум.п.}} \text{ т кл}$	16,92	406,19	120,11
Природний газ	-	-	-	-	$94,36 \text{ м}^3/\text{т кл}$	$1,59 \text{ м}^3/\text{год}$	$37,1 \text{ м}^3/\text{доб}$	$11002,8 \text{ м}^3/\text{рік}$
Пиловугільне паливо	$\frac{116,76}{\text{кг вуг.}} \text{ т кл}$	18,1	434,35	128,44	-	-	-	-
Вугілля вологістю 14 %	$\frac{135,43}{\text{кг вуг.}} \text{ т кл}$	20,99	503,8	148,98	-	-	-	-

Таким чином за результатами проведених розрахунків можна зробити висновок, при виробництві цементу в обертовій печі $\varnothing 4,5 \times 80$ м з реактором-декарбонізатором використання вугільного палива, теплота згоряння якого не нижче 5500 ккал/кг, приведе до зниження собівартості продукції, за рахунок нижчої вартості палива. При цьому досягнута продуктивність та якість продукції залишаються на високому рівні.

Список літератури: 1. Бутт Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с. 2. Дуда В. Цемент / В. Дуда. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с. 3. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшова, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989 – 384 с. 4. Классен В.К. Обжиг цементного клинкера / В.К. Классен. – Красноярск: Стройиздат, 1994. – 322 с. 5. Пащенко О.О. В'яжучі матеріали / О.О. Пащенко, В.П. Сербін, О.О. Старчевська. – К.: Вища школа, 1995. – 413 с. 6. Зозуля П.В. Проектирование цементных заводов / П.В. Зозуля, Ю.В. Никифоров. – С.-Пб: Синтез, 1995. – 445 с. 7. Ходоров Е.И. Печи цементной промышленности / Е.И. Ходоров. – Л.: Недра, 1968. – 456 с. 8. Равич М.Б. Топливо / М.Б. Равич. – М.: Наука, 1972. – 216 с. 9. Юнг О. Снижение производительных затрат путем использования альтернативного топлива и энергосберегающих мельниц / О. Юнг // Цемент и его применение. – 2004. – № 4. – С. 31 – 35.

Надійшла до редколегії 27.11.2012

УДК 666.94

Використання твердого палива при випалі портландцементного клінкера в обертовій печі з реактором-декарбонізатором / Г.М. ШАБАНОВА, Г.В. ЛІСАЧУК, А.М. КОРОГОДСЬКА, А.В. ЛІСІЙЧУК // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 63 (969). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 3 – 9. – Бібліогр.: 9 назв.

В статье приведены результаты расчета материального и теплового балансов вращающейся печи с реактором – декарбонизатором при перевод ее с газообразного на твердое топливо. Указаны преимущества данного типа топлива с сравнении с газообразным, что приведет к снижению себестоимости продукции за счет более низкой стоимости топлива. При этом достигаемая производительность и качество продукции остается на достаточно высоком уровне.

Ключевые слова: портландцемент, клинкер, вращающаяся печь, твердое топливо, материальный баланс, тепловой баланс.

The results of the calculation of the material and heat balances of the rotary kiln with reactor - calciner at its transfer from gaseous to solid fuel are presented. Are advantages of this type of fuel compared to gas, thereby reducing the cost price of production due to the lower cost of fuel. This delivers productivity and product quality remains at a high level.

Keywords: portland cement, clinker, rotary kiln, solid fuel, material balance, heat balance.