

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ТЕПЛОФІЗИКИ ГОРІННЯ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА В ФУРМОВОМУ ВОГНИЩІ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

О. С. Черненко¹, Ю. А. Зінченко², В. В. Калінчак¹,
Т. І. Заярняя¹, С. А. Мірошніченко³, Р. Д. Куземко³

¹Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, мОдеса, Україна

²ПАТ «ММК ім. Ілліча», м. Маріуполь, Україна

³Приазовський державний технічний університет, мМаріуполь, Україна
teplophys@onu.edu.ua

Проведено моделювання горіння частинок пиловугільного палива (ПВП) в фурмовому вогнищі доменної печі з урахуванням стефанівського потоку, кінетики гетерогенних реакцій окислення і газифікації вуглецю, гомогенної реакції окислення чадного газу, турбулентного тепломасообміну і теплового випромінювання. Вугільний пил вдувається в потоці розігрітого до високої температури повітря, збагаченого киснем. Це дозволило судити про ступінь впливу масової витрати вугільного пилу, дисперсності пилу, температури і масової частки кисню повітряного дуття на механічну повноту згоряння, довжину кисневої зони і газовий склад.

Ключові слова: пиловугільне паливо, фурмове вогнище, масова витрата, полідисперсність, механічна повнота згоряння, газовий склад, киснева зона.

УДК 662.6, 667

Основною метою вдування пиловугільного палива в фурмове вогнище є створення високої температури і високої концентрації чадного газу для забезпечення процесів відновлення заліза і його плавлення. При цьому масова частка пиловугільного палива (ПВП), що перетворюється, повинна бути близькою до 100% щодо початкової.

Вугільний пил вдувається в потоці розігрітого до високої температури повітря (в межах 900 ÷ 1400 °С), збагаченого киснем (від 23 до 38% по масі). Подача ПВП і повітря здійснюється окремо. На деякій відстані (близько 0.4 м) від вхідного отвору фурми відбувається інтенсивне перемішування цих двох потоків. Після чого утворена суміш потрапляє в фурмове вогнище, де і відбувається спалювання частинок ПВП. Зону горіння вуглецевих частинок (факел) представимо у вигляді осесиметричного струменя, через бічну поверхню якої можливе перенесення тепла і маси [1].

Діаметр частинок δ_b , з яких складається пиловугільне паливо, варіюється від 10 до 80 мкм. Масова витрата пиловугільного палива на фурму $\dot{m} = 10 \div 25$ кг/хв. Частинки вугілля підхоплюються турбулентним потоком збагаченого повітря і розганяються практично до швидкості газу

($w_b = 200 \div 290$ м/с). Тому величини, що розглядаються, вважаємо середніми для даного перетину, які є функціями тільки координати. Довжина фурменого вогнища $L = 2 - 2.2$ м. Тиск в доменній печі в районі фурмового вогнища вважаємо рівним $P = 0.36$ МПа.

У найближчій до фурми області факела (кисневої зоні), де основним окислювачем є кисень, інтенсивно протікають екзотермічні гетерогенні реакції $C + O_2 \rightarrow CO_2$ (I) і $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ (II), а також екзотермічна гомогенна реакція $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$ (IV). Природно, температура частинки і газу починають зростати. При цьому діаметр і густина частинки інтенсивно зменшуються [2, 3]. Чадний газ, який утворюється в реакції (II), в подальшому реагує з киснем в реакції (IV), швидкість якої дуже висока. Тому в кисневій зоні в газі факела практично відсутній чадний газ, а вміст вуглекислого газу швидко зростає.

За рахунок великої концентрації частинок основна частина кисню зникає в гетерогенних реакціях. Діаметр частинки при цьому залишається досить великим (маса вуглецевої частинки становить $35 \div 60\%$ від початкової). У зв'язку з турбулентністю режим окислення дрібних частинок визначається кінетикою реакцій.

Високі значення температури частинок і газу, а також концентрації вуглекислого газу в кінці кисневої зони сприяють формуванню області газифікації коксових частинок в вуглекислом газі (вуглекислотна зона). Швидкість газифікації частки згідно ендотермічної реакції $C + CO_2 \rightarrow 2CO$ (III) істотно падає з пониженням температури до рівня 1700 °С. При цьому зміна діаметра і густини частинки практично припиняється. Частка вигорання такої частинки при високих початкових масових концентраціях ПВП ($0.08 \div 0.12$ кг/м³) досягає $65 \div 90\%$. Разом з цим відбувається зменшення концентрації вуглекислого газу до $5 \div 10\%$. Масова частка чадного газу при цьому підвищується до рівня $35 \div 50\%$.

В якості величин для аналізу надалі вибиралися: механічна повнота згорання частинок (частка початкової маси частинки, що прореагувала) ϕ_k , розміри кисневої зони L_{ok} , масова частка чадного і вуглекислого газів після самовільного згасання частки.

Попередній нагрів газу і частинок (до температури вище температури самозаймання) призводить до суттєвого зменшення протяжності кисневої зони (рис. 1а). З ростом концентрації кисню в дутті повнота згорання частинок швидко наближається до 100% . Окислювальна зона за рахунок зростання температури частинок і газу і, отже, зростання швидкостей реакції, слабо зменшується (рис.1b). Зміст чадного і вуглекислого газів в продуктах реакції також залежить від початкової концентрації кисню.

Варіювання дисперсного складу пиловугільного палива при постійній масовій концентрації ПВП дозволяє варіювати частку цільового газу в продуктах згорання і механічну повноту згорання частинок ПВП.

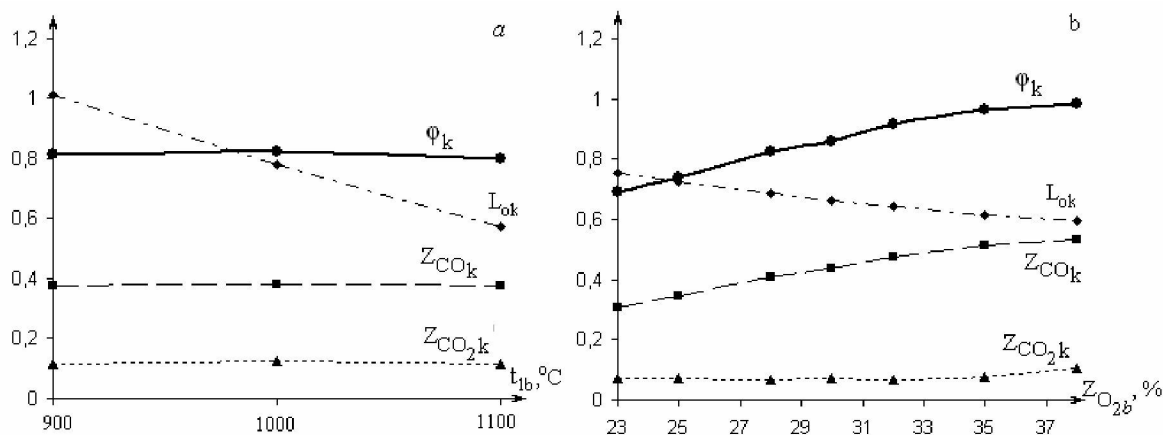


Рис. 1. Вплив а) початкової температури газу і б) масової частки кисню в газі на довжину кисневої зони L_{ok} , на кінцеву механічну повноту згоряння φ_k і кінцевий газовий склад по СО і СО₂. а) $\delta_b = 30$ мкм, $Z_{O_2b} = 30\%$; б) $\delta_b = 20$ мкм, $t_{1b} = 1000$ °С. Сталі параметри: $\rho_{2b} = 1440$ кг/м³, $V_g = 210$ м³/хв, $w_{1b} = 200$ м/с, $P_b = 0,36$ МПа, $\dot{m} = 20$ кг/хв ($C_m = 0.093$ кг/м³).

При цьому масова концентрація ПВП залишається постійною. Використання дрібних частинок при високих витратах палива є оптимальним. Однак занадто висока концентрація ПВП приводить до високої повноти згоряння частинок. Тому при виборі оптимального співвідношення між діаметром і масовою витратою частинок слід орієнтуватися на коефіцієнт надлишку кисню суміші трохи більше одиниці, наприклад $1.1 \div 1.2$ (масова концентрація 0.093 кг/м³ для частинок ПВП діаметром $20 \div 30$ мкм). Діаметр частинки при сталих витратах повітря і ПВП не впливає на коефіцієнт надлишку кисню. Зменшити коефіцієнт надлишку кисню до оптимальних значень можна збільшенням температури газу, концентрації кисню і тиску в газі, а також зниженням масової витрати палива.

Література

1. Зинченко Ю.А., Калинчак В.В., Черненко А.С., Куземко Р.Д. *Оценка доли выгорания частиц пылеугольного топлива в фурменном очаге* // *Металл и литье Украины*. – 2013. – № 12. – С. 9-16.
2. Orlovskaya S. G., Kalinchak V. V., Zui O. N. *Effect of an internal reaction on the characteristics of high-temperature heat and mass transfer of gas suspensions of carbon particles* // *High Temperature*. – 2014. – № 52, Vol.5. – P. 715–722.
3. Kalinchak V., Zinchenko Yu., Chernenko A.S., Kuzemko R. D. *Analytical determination of temperature of ignition and extinction of carbon particles with regard to thermal radiation and simultaneous reactions* // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – № 8. – P. 568-575.