

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ ЧЕРЕЗ ФОРСУНКУ С УЧЕТОМ НАГРЕВА ГАЗОВЗВЕСИ

Куземко Р.Д.¹, Калинин В.В.², Шевченко Т.Г.³,
Черненко А.С.², Лухтура Ф.И.¹

¹Приазовский государственный технический университет,
Мариуполь,

²Одесский национальный университет им. Мечникова,

³ЧАО «ММК им. Ильича»

ruslan.kuzemko@i.ua

Постановка проблемы. Подача пылеугольного топлива (ПУТ) в горн доменных печей стала неотъемлемым элементом новых энерго- и ресурсосберегающих технологий при производстве чугуна. В результате внедрения высоких технологий за счёт экономии кокса только на двух комбинатах г. Мариуполя («Азовсталь» и им.Ильича), где по перспективному плану будет сжигаться ~ 2 млн т угля в год, экономический эффект составляет ~ 240 тыс. \$ в сутки. Но до сих пор не решена главная проблема – степень сгорания угля в фурменных зонах не превышает 80%, а это значит что ~150 эшелонов угля в год в доменных печах полностью не сгорает. При стоимости угля ~ 110\$ за тонну убыток только по двум меткомбинатам составляет ~1,14 млрд грн. Поэтому в чёрной металлургии самой важной проблемой является моделирование и совершенствование процесса горения угля в фурменных зонах печей с целью разработки рекомендаций по более полному сжиганию топлива в фурменной зоне.

Одним из самых эффективных способов ускорения горения частиц является нагрев пылегазового потока до форсунки доменной печи.

Цель работы. Используя систему дифференциальных и алгебраических уравнений провести численное моделирование и показать, как увеличение температуры t_1 несущего газа в выходном сечении копы влияет на повышение давления p перед форсункой.

Физическая модель. По горизонтально установленной стальной трубке диаметром D и длиной l перемещается пылеугольное топливо, эквивалентный диаметр δ частиц которых задан. Часть трубки (длиной ~ 0,5 м) находится в потоке нагретого до ~ 1100 °С воздуха. Истечение из форсунки происходит в фурменный очаг, где поддерживается давление в диапазоне $p_{fo} = 0,33 - 0,55$ МПа.

Математическая модель. При численном моделировании поставленной задачи использовали ~60 расчётных уравнений движения, энергии, неразрывности, теплообмена и целого ряда других. В качестве

примера ниже приведены только некоторые из них. Так, система уравнений неизотермического полидисперсного течения газозвеси в цилиндрическом канале в одномерном приближении с учётом сжимаемости газа имеет вид:

– уравнение движения для i -той твердой фазы

$$G_i \frac{dw_i}{dx} + e_i \frac{dp}{dx} = \sum_{j=2}^N F_{ji} - F_{iw} + e_i r_i g \cos \alpha + \sum_{j=2}^N I_{ij}; \quad (1)$$

– уравнение энергии для несущего газа

$$G_1 \frac{d}{dx} \left(h_1 + \frac{w_1^2}{2} \right) = Q_{1w} - \sum_{i=2}^N Q_{1i} - \sum_{i=2}^N F_{1i} (w_1 - w_i). \quad (2)$$

В формулах и подрисуночных подписях приняты следующие обозначения: w_i , e_i , ρ_i – скорость (м/с), объемная доля и плотность (кг/м³) i -й фракции дисперсной фазы; p – статическое давление, Па; h_1 – энтальпия газовой фазы, кДж/кг; F_{iw} – сила взаимодействия частиц со стенкой, Н/м³, F_{ji} – сила межфазного взаимодействия, Н/м³; I_{ij} – изменение импульса i -й фракции в результате столкновений с частицами j -й фракции, Н/м³; G_1 , G_i – приведенные расходы газа и частиц i -й фракции, кг/(с·м²); Q_{1w} , Q_{1i} – приведенные тепловые потоки от стенки форсунки к газу, Вт/м³.

Расчёты показывают (рис.1), что чем выше давление $p_{фо}$ в фурменном очаге, тем больше необходимо иметь давление p перед форсункой. Например, если $p_{фо}$ увеличивается с 0,28 МПа до 0,38 МПа, то при нагреве газа до $t_1 = 400^\circ\text{C}$, давление p нужно увеличить с 0,38 МПа до 0,46 МПа. Видно, что если $p_{фо} = 33 \text{ МПа}$, то увеличение t_1 с 20°C до 600°C вызывает необходимость повысить давление p перед форсункой с 0,34 МПа до 0,48 МПа. При этих условиях скорость w_1 газа в выходном сечении сопла возрастает с 19 м/с до 39 м/с.

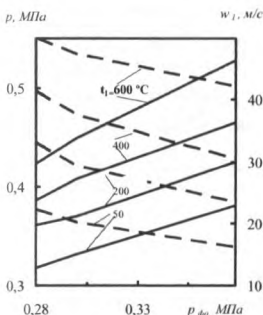


Рис.1. Влияние температуры несущего газа в выходном сечении форсунки и давления $p_{фо}$ в фурменном очаге на давления p перед форсункой и скорость w_1 несущего газа на выходе из копия. Исходные данные: $l=2,15 \text{ м}$, $m_2 = 16,7 \text{ кг/мин}$, $V_n = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\mu = 40 \text{ кг/кг}$, $\delta_i = 0,025 \text{ мм}$, $g_i/g_1 = 0,5/0,5$, $\rho_i = 1700 \text{ кг/м}^3$, $k_r=0,5$, $k_n=0,8$.

Вывод. Нагрев газопорошковой смеси – один из самых важных технологических приёмов для решения проблемы повышения степени сгорания топлива в фурменной зоне.