

УДК 669.162.2

© Волошин В.С.¹, Зинченко Ю.А.², Косолап Н.В.³, Куземко Р.Д.⁴**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА
ГАЗОДИСПЕРСНОЕ ТЕЧЕНИЕ В ТОПЛИВНОЙ ФОРСУНКЕ
ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

Используя дифференциальные уравнения движения и энергии, а также систему замыкающих соотношений установлено, как распределяются давление в газозвесе, сила межфазного взаимодействия, скорость частиц, объемная доля твердой фазы, плотность газоносителя как вдоль форсунки, так и в выходном её сечении. Показано, как на это распределение влияет концентрация угольного порошка, нагрев газозвеси, давление в фурменном очаге и форма частиц.

Ключевые слова: газозвесь, форсунка, массовая концентрация, форма частиц.

Волошин В.С., Зінченко Ю.А., Косолап М.В., Куземко Р.Д. Вплив різноманітних фізичних дій на газодисперсну течію в паливній форсунці доменної печі. Використовуючи диференціальні рівняння руху та енергії, а також систему замикаючих співвідношень встановлено, як розподіляються тиск в газосуспензії, сила міжфазної взаємодії, швидкість часток, об'ємна частка твердої фази, щільність газоносія як уздовж форсунки, так і в вихідному її перетині. Показано, як на цей розподіл впливає концентрація вугільного порошку, нагрів газосуспензії, тиск в фурменному вогнищі і форма частинок.

Ключові слова: газозвесь, форсунка, масова концентрація, форма частинок.

V.S. Voloshyn, Yu.A. Zinchenko, M.V. Kosolap, R.D. Kuzemko. Influence of different physical impact on gas-dispersed flows in blast furnace fuel injector. Using the differential equations of motion and energy as well as the locking system of relations found for distribution of pressure in the gas suspension, the interfacial interaction force, velocity of particles, the volume fraction of solids, the density of nozzles along the carrier gas, as well as in its output section. It is shown how it affects the distribution of the concentration of carbon powder, heating the gas suspension, the pressure in the hearth tuyere and particle shape.

Keywords: gazovzves, nozzle, mass concentration, particle shape.

Постановка проблемы. Одной из основных научных, технологических и экономических проблем, существующих в современной металлургии, является снижение расхода кокса при производстве чугуна и замена природного газа пылеугольным топливом. Сейчас, как никогда ранее, металлургические комбинаты Украины заинтересованы в скорейшем внедрении в полном объеме технологии подачи пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи. Освоение пылеугольных комплексов позволяет почти в 2 раза сократить расход дорогостоящего кокса и отказаться от использования природного газа в доменной плавке. Только на 3-х меткомбинатах Украины это даст возможность сэкономить до 1 млрд м³/год.

Анализ последних исследований и публикаций. Для обеспечения 5-ти печей доменного цеха ПАО «ММК им. Ильича» смонтирован пылеугольный комплекс и внедряется самая масштабная среди меткомбинатов Украины энерго- и ресурсосберегающая ПУТ-технология. Результаты выполненных исследований, частично опубликованы в тематических журналах №10-12 «Металл и литье Украины», 2013г, где представлена только технология ПУТ – яркий пример, когда фундаментальные знания реализуются для получения конкретного технологиче-

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² генеральный директор, ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь

³ зам. гл. инженера, ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», г. Мариуполь

⁴ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, ruslan.kuzemko@mail.ru

ского результата. Эти работы охватывают как методы исследования и результаты внедрения энерго- и ресурсосберегающей коксозаменяющей технологии перевода доменных печей на пылеугольное топливо, так и развитие теории сложных процессов межфазного и внутрифазного взаимодействия частиц в топливных форсунках [1, 2], теорию разогрева пылеугольного топлива в фурменной зоне. Особо важной в этой технологии является проблема полного сгорания топлива [3-5]. Необходимо в самое короткое время разработать теорию горения пылеугольного топлива в специфических условиях фурменного очага доменной печи. Эти разработки позволят прогнозировать окисление частиц угля в фурменной зоне печи, где давление существенно выше атмосферного.

Результаты проведенных за последние 4 года исследований на трёх меткомбинатах Украины можно отнести к особо выдающимся научно-техническим достижениям, которые приближаются к мировым и утверждают приоритет металлургической науки в Украине, открывают новое, перспективное направление в области высоких технологий, обеспечивают кардинальное ускорение научно-технического прогресса. Например, при внедрении ПУТ – технологии на ПАО «ММК им. Ильича» за короткое время уже достигнуты поразительные результаты – за пол года (октябрь 2012 г – апрель 2013 г) расход кокса снизили более, чем на 100 кг на тонну, а в это короткое время расход пылеугольного топлива увеличили до ~150 кг/т чугуна и более. Эти результаты достигнуты не через 10 – 15 лет после начала работ, как это было ранее в отечественном и мировой практике, а в течение менее года.

Отметим, что уже в ближайшие годы на ММК им. Ильича и «Азовсталь» при внедрении технологии – ПУТ будет использовано около 2 млн т угля в год.

Однако, возникли и серьезные проблемы – массовый выход из строя фурм горячего дутья, снижение стойкости отдельных элементов печи – это, скорее всего, является подтверждением неполного сгорания угля в фурменном очаге. Возникла необходимость более глубокого изучения закономерностей струйного течения многофазного потока в форсунке, а затем и в фурменной зоне.

Цель работы - провести численный эксперимент по установлению влияния разогрева несущего газа в форсунке до температуры t_l , коэффициента формы f , концентрации порошка μ , давления в фурменном очаге $p_{\phi o}$ на распределение давления p по длине l , скорости w_l газа и w_2 частиц, объемную концентрацию несущей фазы ε_l в продольном и поперечном сечении форсунки.

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

Математическая модель. Система уравнений квазидномерного, квазистационарного монодисперсного двухфазного течения в двухскоростном, двухтемпературном приближении имеет следующий вид:

- уравнение совместного движения фаз

$$\frac{dp}{dx} = - e_1 r_1 w_1 \frac{dw_1}{dx} - e_2 r_2 w_2 \frac{dw_2}{dx} - F_{1w} - F_{2w} + (e_1 r_1 + e_2 r_2) g \cos a; \quad (1)$$

- уравнение движения дисперсной примеси

$$e_2 \frac{dp}{dx} = - e_2 r_2 w_2 \frac{dw_2}{dx} + F_{12} - F_{2w} + e_2 r_2 g \cos a; \quad (2)$$

- уравнение энергии несущего газа

$$e_1 r_1 w_1 \frac{d}{dx} (c_p T + w_1^2 / 2) = Q_{1w} - Q_{12} + F_{12} (w_1 - w_2); \quad (3)$$

- балансовое уравнение местной объемной концентрации двух фаз

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 1; \quad \varepsilon_1 = (1 + (\mu / \psi)(\rho_1 / \rho_2))^{-1}. \quad (4)$$

Аналогично (3) записывали уравнение энергии для твердой фазы.

В уравнениях (1)-(4) и далее приняты следующие обозначения: w_1, w_2 – скорость несущего

газа и частиц, m/c ; $p, p_{\phi 0}$ – абсолютное давление в потоке газозвеси и в фурменном очаге, Pa ; ρ_1, ρ_n, ρ_2 – плотность газонесителя при данных и нормальных физических условиях, а так же частиц порошка, kg/m^3 ; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – местная объемная доля газовой и твердой фазы; F_{1w}, F_{2w} – приведенная сила трения газа и частиц о стенку, H/m^3 ; F_{12} – приведенная сила межфазного взаимодействия, H/m^3 ; Q_{1w}, Q_{12} – приведенный тепловой поток, передаваемый конвекцией от стенки к газу и от несущего газа к частицам порошка, Bm/m^3 ; c_p – теплоемкость несущего газа при постоянном давлении, $Dж/(кг\cdot K)$; T – термодинамическая температура, K ; t_1 – температура газонесителя в выходном сечении форсунки, $^{\circ}C$; $\mu = m_2 / (\rho_n V_n)$ – массовая концентрация порошка в газозвеси, kg/kg ; m_2 – массовый расход порошка, kg/c ; V_n – объемный расход взвесенесущего газа при н.у., m^3/c ; C_D – коэффициент аэродинамического сопротивления; k_{ϕ} – поправочный множитель, учитывающий форму частиц; f – коэффициент формы; Re_{12} – число Рейнольдса двухскоростного потока; Nu – число Нуссельта; $Pr = \nu/a$ – число Прандтля; ν, a – коэффициенты кинетической вязкости и температуропроводности, m^2/c ; η – коэффициент динамической вязкости, $Pa\cdot c$; ζ_i – коэффициент потери на трение i -ой фазы о стенку; S – поверхность частицы, m^2 ; $\psi = w_2/w_1$ – коэффициент динамического запаздывания; D, l – внутренний диаметр и длина форсунки, m ; δ – эквивалентный диаметр частицы, m ; α – угол наклона форсунки к горизонту, $град$; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ;

Индексы: 1 – газ; 2 – дисперсная фаза; 12 – газозвесь; w – параметры на стенке.

Замыкающие соотношения. Силу межфазного взаимодействия определяли как

$$F_{12} = 0,75 C_D \rho_1 \varepsilon_2 |w_1 - w_2| (w_1 - w_2) / \delta. \quad (5)$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления C_D в зависимости от числа Рейнольдса Re_{12} вычисляли по формуле

$$C_D = (24 / Re_{12}) (1 + 0,179 \sqrt{Re_{12}} + 0,013 Re_{12}) \varepsilon_1^{-2n}, \quad (6)$$

где коэффициент структуры потока $n = 2,25 \div 4,5$.

Влияние формы частиц учитывали поправочными множителями

$$k_{\phi} = 12,4 - 11,4 / f; \quad f = S / S_{нар}$$

Интенсивность межфазного теплообмена определяли как

$$Q_{12} = \frac{6\eta c_p}{\delta^2 Pr} Nu_{12} (T_1 - T_2) \varepsilon_2. \quad (7)$$

Число Нуссельта вычисляется по формуле Маршалла-Ранца

$$Nu_{12} = 2 + 0,6 Re_{12}^{0,5} Pr^{0,33}. \quad (8)$$

В (8) зависимость вязкости газа от температуры учитывали по формуле

$$\eta = \eta_0 \frac{Ca + T_0}{Ca + T} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2}, \quad (9)$$

где Ca – коэффициент Саттерленда.

Потери импульса газа и частиц на трение о стенку трубы находили, используя известное соотношения

$$F_{1w} = \zeta_i \varepsilon_i \rho_i w_i^2 / 2D \quad \zeta_1 = 0,3164 / Re_{12}^{0,25}. \quad (10)$$

Интенсивность теплообмена газа со стенкой трубы определяли как

$$Q_{1w} = 4Str_1 c_1 w_1 (T_w - T_1) / D. \quad (11)$$

Число Стантона для дозвукового течения рассчитывали по формуле

$$St = 0,0167 (Re_{12} Pr)^{0,18} (T_1 / T_w)^{0,35}. \quad (12)$$

Коэффициент кинематической вязкости ν выбирали в зависимости от температуры t и давления p несущего газа.

Граничные условия. На входе в форсунку ($x = 0$) задавали температуру газа и дисперсной примеси $T_1 = T_0$, $T_2 = b_1 T_0$. Так как расходы фаз G_1 , G_2 известны, то задавали скорости фаз и давление на входе, причём коэффициент скорости $\psi = (w_2 / w_1)_{x=0} < 1$, но далее по длине l скорости w_1 и w_2 рассчитывали.

Дифференциальные уравнения (1)-(3) заменяли разностными по схеме Рунге-Кутты четвертого порядка аппроксимации.

Рассматриваемая задача не может быть поставлена как задача Коши, так как давление p задается не в начальной точке ($l = 0$ м), а в конечной ($l = 2,15$ м). Для решения такой краевой задачи использовали метод стрельбы, когда задавали некоторое произвольное значение давления на входе в форсунку $p_0 > p_k = p_{\phi 0}$.

Если расчёт всей форсунки закончен, но при этом условие $p_c \approx p_k$ не выполнено, производится новый подбор давления p_0 , величина которого уменьшается и расчёт возобновляется.

Исходные данные. Расчет выполняли для режимов подачи пылеугольного топлива в форсунки доменных печей №1-5 ПАО «ММК им. Ильича». Принимали, что длина и внутренний диаметр форсунки $l = 2,15$ м, $D = 14$ мм, эквивалентный диаметр частиц угольного порошка и его плотность $\delta = 0,08$ мм, $\rho_2 = 1700$ кг/м³. Коэффициент формы частиц был равен $f = 1,3$ (кроме рис. 2, 4, 6). Расход азота при нормальных физических условиях $V_H = 35$ м³/ч, массовый расход пылеугольного топлива $m_2 = 21,8$ кг/мин (кроме рис. 6). Этим расходам фаз соответствует массовая концентрация порошка $m_2/m_1 = 30$ кг/кг, где $m_1 = \rho_H V_H$. В расчетах принимали, что давление в фурменном очаге составляло $p_{\phi 0} = 0,33$ МПа (кроме рис. 5).

Результаты расчета и их анализ. На распределение параметров газодисперсного потока по длине l форсунки и в каждом её поперечном сечении оказывает влияние более 10 факторов и физических воздействий. Наиболее существенными из них является нагрев газонесителя до температуры t_1 , коэффициент формы f частиц и давление в фурменном очаге $p_{\phi 0}$, влияние которых и рассмотрено в настоящей статье.

Как следует из рис. 1, давление p дисперсного потока плавно уменьшается по длине l форсунки. Так, если температура на выходе из форсунки $t_1 = 200^\circ\text{C}$, то на длине $l = 2,15$ м давление p снижается с 0,41 МПа до 0,33 МПа.

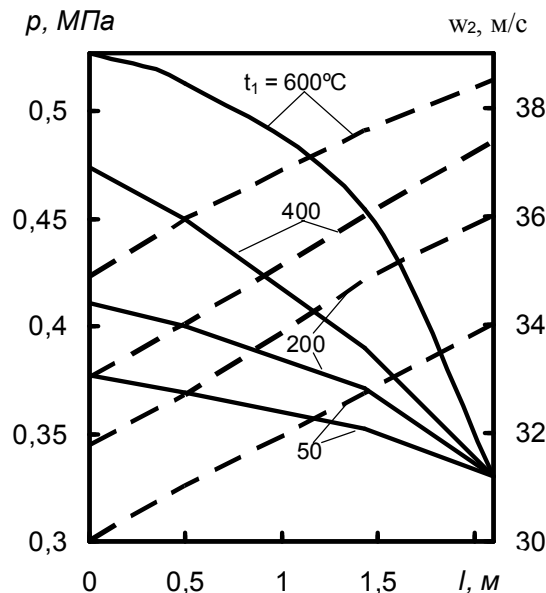


Рис. 1 – Изменение статического давления p (—) и скорости w_2 (- -) частиц по длине l форсунки при различной температуре t_1 нагрева несущего газа в выходном её сечении. Исходные данные: $\delta = 0,08$ мм, $l = 2,15$ м, $\rho_2 = 1700$ кг/м³, $m_2 = 22,5$ кг/мин, $V_H = 35$ м³/ч, $p_{\phi 0} = 0,33$ МПа, $D = 14$ мм, $\mu = 20$ кг/кг

Однако, если несущий газ в форсунке нагревается, например, до $t_1 = 600^\circ\text{C}$ (в сечении, где, $l = 2,15$ м), то давление p на входе ($l = 0$ м) возрастает до 0,58 МПа. Это объясняется тем,

что при нагреве возникает дополнительное, так называемое тепловое сопротивление. При нагреве несущего газа резко снижается плотность ρ_1 и, как следует из уравнения неразрывности, скорость w_1 по длине l увеличивается, поток ускоряется. Темп ускорения возрастает, если газ нагревается. Так если t_1 увеличивается с 50°C до 600°C , то скорость w_2 частиц в сечении, где $l = 2,15\text{ м}$ возрастает с 34 м/с до $38,5\text{ м/с}$. Этот прирост скорости тем больше, чем меньше диаметр фурмы D .

Как показано в работе [2], где приведена микроструктура частиц (увеличение $\times 80$), их форма существенно отличается от шаровой. Из рис. 2 следует, что с увеличением парусности частиц резко возрастает сопротивление движению газодисперсного потока. Так, если коэффициент формы f увеличивается с 1 до 2, то давление на входе в форсунку повышается с $0,39$ до $0,85\text{ МПа}$. Из-за ускорения газовой фазы $w_1(l)$ повышается и скорость w_2 частиц. Если $f = 1$, то по длине l скорость порошка возрастает с 30 м/с до 34 м/с . Чем выше f , тем больше и скорость w_2 частицы. Например, увеличение f с 1 до 2 приводит к росту скорости w_2 истечения из форсунки с 34 м/с до 37 м/с .

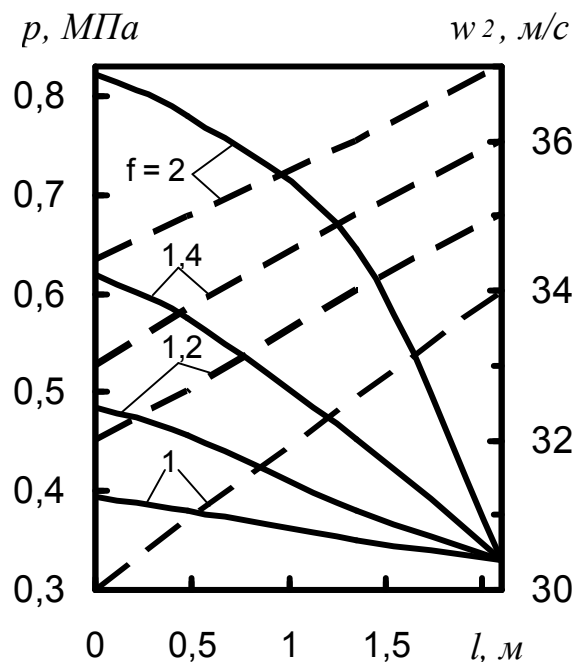


Рис. 2 – Зависимость давления p (—) и скорости w_2 (- -) порошка от длины форсунки l при различном коэффициента формы f частиц

Сила межфазного взаимодействия F_{12} по длине l форсунки снижается при любой интенсивности теплоподвода (рис. 3). Это объясняется уменьшением плотности ρ_1 газовой фазы и снижением местной объемной доли ε_2 твердой фазы по длине форсунки l – в менее плотном потоке сила F_{12} уменьшается, что естественно. Так как часть трубки ($l = 0,5\text{ м}$) находится в высокотемпературном ($t = 1100^\circ\text{C}$) воздушном потоке, то пылеугольная газовзвесь, перемещаясь по раскаленной трубке, существенно нагревается. Теплоподвод к дисперсному потоку оказывает значительное влияние на силу F_{12} . Так, если взвесенесущий газ в выходном сечении ($l = 2,15\text{ м}$) нагревается с 50°C до 600°C , то сила F_{12} снижается с $0,17\text{ МН/м}^3$ до $0,02\text{ МН/м}^3$ (в 8,5 раз) (рис. 3). С нагревом смеси резко возрастает скорость истечения газа w_1 . Например, при нагреве газа в выходном сечении с 50°C до 600°C скорость w_1 повышается с 42 м/с до 75 м/с . Поэтому ускорение потока с нагревом газоносителя нельзя не учитывать. Повышение скорости газа w_1 и частиц w_2 крайне нежелательно.

Как следует из рис. 4, сила F_{12} межфазного взаимодействия по длине форсунки l снижается при любом значении коэффициента f . Например, если $f = 1,2$, то при перемещении газодисперсного потока от входного сечения ($l = 0\text{ м}$) до среза ($l = 2,15\text{ м}$) сила F_{12} уменьшается с $0,28\text{ МН/м}^3$ до $0,04\text{ МН/м}^3$ а скорость w_1 газоносителя возрастает с 33 м/с до 35 м/с .

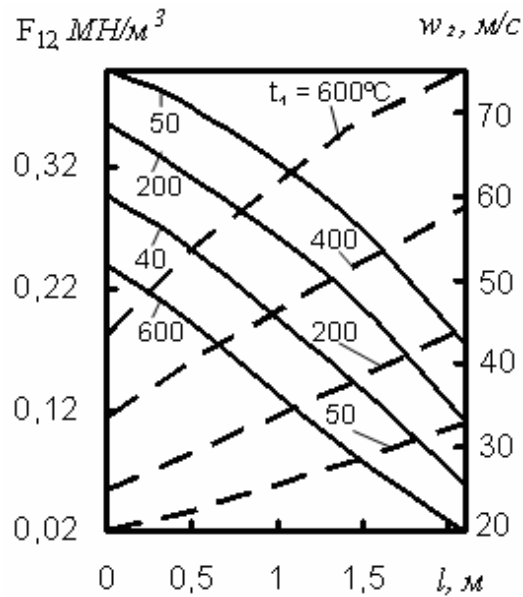


Рис. 3 – Влияние температуры t_1 в выходном сечении форсунки на распределение силы F_{12} (—) межфазного взаимодействия и скорость w_2 (---) частиц по её длине l

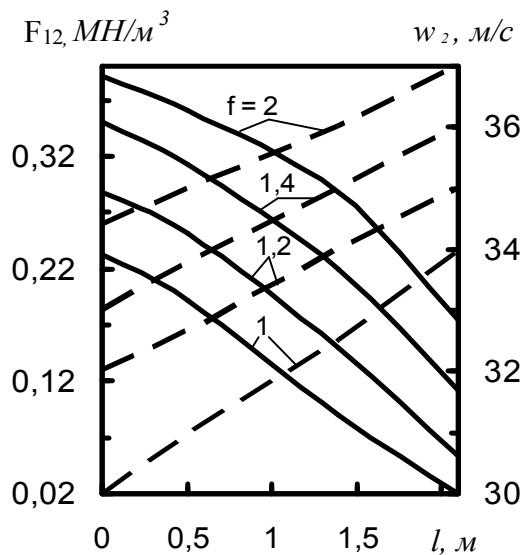


Рис. 4 – Изменение силы F_{12} (—) межфазного взаимодействия и скорости w_2 (---) порошка по длине форсунки l в зависимости от коэффициента формы f частиц

Поток существенно ускориться не может, так как пылевая загрузка весьма существенная, а длина l форсунки мала. С увеличением f парусность частиц повышается, что снижает скольжение фаз $w_1 - w_2$ (рис. 4). В этом случае коэффициент аэродинамического сопротивления C_D и давление p возрастают, но медленнее, чем уменьшается динамическое скольжение газа и частиц. Это приводит к снижению силы F_{12} взаимодействия фаз. Так, если в выходном сечении ($l = 2,15\text{ м}$) коэффициент f увеличивается с 1 (шар) до 2 (ближе к пластине), то это снижает силу F_{12} с $0,19\text{ МН/м}^3$ до $0,02\text{ МН/м}^3$.

На распределение газотермодинамических параметров в выходном сечении форсунки существенное влияние оказывает давление $p_{\text{фо}}$ в фурменном очаге (рис. 5). Так, увеличение $p_{\text{фо}}$ с $0,35\text{ МПа}$ до $0,5\text{ МПа}$ при температуре в выходном сечении $t_1 = 50^\circ\text{C}$ приводит к уменьшению скорости w_2 частиц в этом сечении с 30 м/с до 17 м/с . При этих условиях плотность ρ_1 взвешенного газа (N_2) повышается с $1,2$ до $1,6\text{ МПа}$.

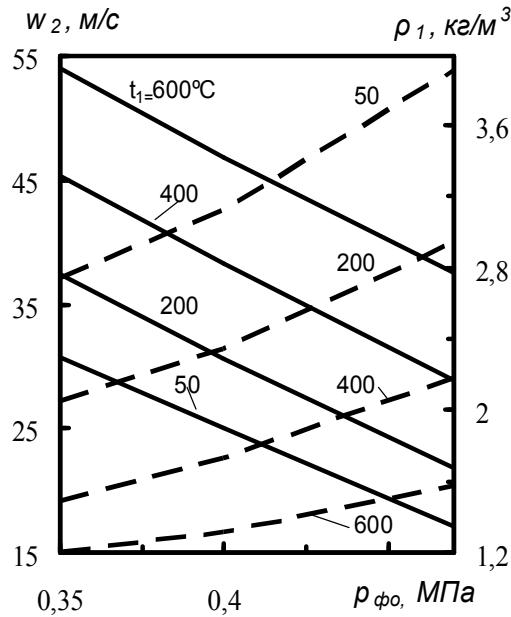


Рис. 5 – Влияние температуры t_1 несущего газа и давления $p_{\phi o}$ в фурменном очаге на распределение скорости w_2 (—) частиц и плотность газа ρ_1 (---) в выходном сечении форсунки

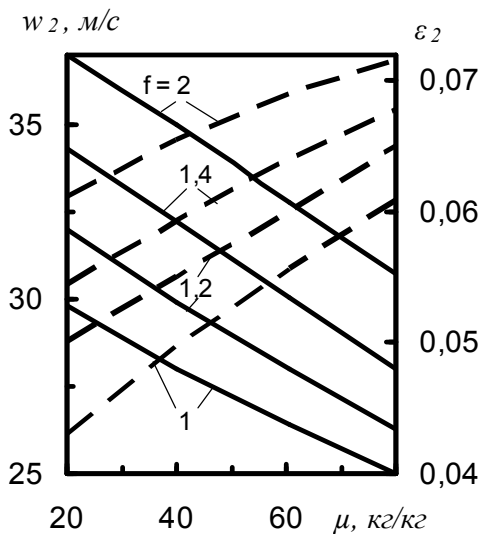


Рис. 6 – Изменение скорости w_2 (—) порошка и объемной доли ε_2 (---) твердой фазы в выходном сечении форсунки при различной концентрации μ порошка и коэффициенте формы f частиц

Если газоноситель нагревается с $t_1 = 50^\circ\text{C}$ до $t_1 = 600^\circ\text{C}$, то, например, при $p_{\phi o} = 0,4 \text{ МПа}$, скорость w_2 частиц возрастает с 24 м/с до 47 м/с , а плотность газа ρ_1 уменьшается с $3,5 \text{ кг/м}^3$ до $1,3 \text{ кг/м}^3$.

В газодисперсных потоках одним из основных физических воздействий на течение является концентрация порошка μ в газозвеси (рис. 6). При любом значении f с увеличением μ поток затормаживается и скорость w_2 уменьшается. Так, если $f = 1,2$ и μ возрастает с 20 кг/кг до 80 кг/кг , то скорость w_2 частиц снижается с 32 м/с до 26 м/с , а местная объемная доля газовой фазы ε_2 увеличивается с $0,05$ до $0,061$.

Выводы

1. Используя численные методы расчёта движения газопоршкового потока получено, что если газозвесь в пределах форсунки нагревается до $400 - 600^\circ\text{C}$, то давление на входе возрастает в $1,3 - 1,5$ раза.
2. Впервые показано, как форма частиц влияет на распределение параметров в продольном и выходном сечении топливной форсунки при течении холодного и разогретого потока газозвеси.
3. Установлено, что при увеличении коэффициента формы f частицы с 1 до 2 (ближе к пластине) давления газозвеси нужно повысить почти вдвое.
4. Впервые показано, что при повышении давления $p_{\phi o}$ в фурменном очаге, например с $0,35 \text{ МПа}$ до $0,5 \text{ МПа}$, скорость частиц снижается в $1,4 - 1,5$ раза вне зависимости от степени разогрева газоносителя в форсунке.

Список использованных источников:

1. Исследование полидисперсного течения в форсунке для подачи пылеугольного топлива в доменную печь / В.С. Волошин [и др.] // *Металл и литьё Украины*. – 2013. – №10. – С. 15-20.
2. Волошин В.С. Влияние концентрации угольного порошка на сопротивление частиц в форсунке доменной печи / В.С. Волошин, Ю.А. Зинченко, Р.Д. Куземко // *Металл и литьё Украины*. – 2013. – №12. – С. 28-36.
3. Оценка доли выгорания частиц пылеугольного топлива в фурменном очаге / В.В. Калинин [и др.] // *Металл и литьё Украины*. – 2013. – №12. – С.16-19.
4. Исследование превращения вдуваемых углей и других порошков в шахтных печах / А.И. Бабич [и др.] // *Труды международной научно-технической конференции «Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна»* Донецк: УНИТЕХ. – 2006. – С. 181-192.
5. Высокотемпературный массообмен и кинетика химических реакций углеродных частиц с газами / В.В. Калинин [и др.] // *Металл и литьё Украины*. – 2013. – №11. – С.14-24.

Bibliography:

1. Study polydisperse flow in the nozzle for feeding pulverized coal into blast furnace / V.S. Voloshyn [et al.] // *Metal casting and Ukraine*. - 2013. - №10. - P. 15-20. (Rus.)
2. Voloshyn V.S. Influence of concentration of coal powder resistance of the particles in the nozzle blast furnace / V.S. Voloshyn, Yu.A. Zinchenko, R.D. Kuzemko // *Metal casting and Ukraine*. - 2013. - №12. - P. 28-36. (Rus.)
3. Estimate of the fraction of particles burning pulverized coal in tuyere hearth / V.V. Kalinchak [et al.] // *Metal casting and Ukraine*. - 2013. - №12. - P. 16-19. (Rus.)
4. Study of injected coal conversion and other powders in blast furnaces / A.I. Babich [et al.] // *Proceedings of the International scientific and technical conference "Pulverized coal - alternative to natural gas in iron smelting"* Donetsk: Unitech. - 2006. - P. 181-192. (Rus.)
5. High-mass transfer and chemical kinetics of carbon particles with gases / V.V. Kalinchak [et al.] // *Metal and casting Ukraine*. - 2013. - №11. - P. 14-24. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 14.05.2014

УДК 622.788

© Кривенко С.В.¹, Божков Г.Г.²

СТРУКТУРА АГЛОМЕРАТОВ РАЗЛИЧНОЙ ОСНОВНОСТИ

Исследовано влияние содержания различных компонентов в агломерате на его прочность, восстановимость и микроструктуру. Подобран оптимальный состав агломератов, обеспечивающий максимальную эффективность использования газов в доменной печи.

Ключевые слова: агломерат, основность, восстановимость, микроструктура, прочность.

Кривенко С.В., Божков Г.Г. Структура агломератів різної основності. Досліджено вплив вмісту різних компонентів у агломераті на його міцність, відновлю-

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь

² асистент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, summersky@mail.ru