

УДК: 669.1

**Черненко А. С.¹, Калинчак В. В.¹, Козловцев С. В.²,
Ассиил Мохаммед Кадхим³, Куземко Р. Д.³**

¹Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова

²ЧАО "ММК им.Ильича"),

³Приазовский государственный технический университет

E-mail: chernalex@ukr.net

Особенности горения полидисперсной угольной пыли при факельном торкретировании футеровки кислородного конвертера

Проводится анализ тепломассообмена, движения и горения частиц торкрет-массы (смесь доломита 70 % и кокса 30 %, несущая среда – азот) с размерами трех фракций (40, 70 и 100 мкм с численной долей 40%, 40% и 20%) после ее вдувания внутрь кислородного конвертера. Исследовалось горение и динамика изменения температуры и диаметра частиц каждой фракций угольной пыли и огнеупорного порошка. Установлено, что в предположении равномерного предварительного нагрева пыли и газовой смеси, горение угольной пыли различных фракций происходит практически одновременно. После исчезновения кислорода в смеси, дальнейшее преобразование углерода происходит в углекислом газе. Более полно выгорают частицы мелких фракций.

Ключевые слова: факельное торкретирование, угольная пыль, огнеупорный порошок, полидисперсность.

Введение. В процессе выплавки стали в кислородном конвертере происходит постоянное изнашивание футеровки – защитного огнеупорного покрытия внутренней поверхности конвертера (до 1 мм за плавку)[1]. Факельное торкретирование футеровки кислородного конвертера – метод ремонта футеровки путем нанесения на ее изношенные участки слоя огнеупорной массы. Стойкость футеровки с магнезитоуглеродистыми огнеупорами достигает 5-10 тыс. плавов. Для нанесения огнеупорной массы необходим ее разогрев выше температуры размягчения (для MgO около 1550 °C). Нагрев осуществляется за счет сгорания угольной пыли, которая подается одновременно с огнеупорным порошком (исходная смесь порошков – торкрет-масса). Так сгорание кокса в кислороде обеспечивает формирование факела с температурой 1800 - 2000 °C.

Для осуществления этой технологии восстановления футеровки 160 т кислородного конвертера ММК им Ильича используются торкрет-фурмы, из которых через специальные сопла после смешивания истекает газовзвесь (азот + торкрет-масса) и кислород.

Прилипание размягченных частиц порошка на огнеупорной поверхности возможно только тогда, когда они перемещаются в высокоскоростном потоке. Горизонтальное и вертикальное передвижение торкрет-фурмы, вращение вокруг продольной оси на 180° в обе стороны позволяет проводить ремонт футеровки в любом месте конвертера. При оптимальной величине удельного расхода кислорода формируется плотное огнеупорное покрытие, соответствующее

по составу известково-перикладным огнеупорам, которые обладают термостойкостью, механической прочностью и обеспечивают длительную стойкость футеровки конвертера в целом. Эффективность факельного торкретирования можно существенно повысить, если, например, дисперсный поток к соплам торкрет-фурмы подавать подогретым.

Торкрет-фурма работает следующим образом. Перед торкретированием фурму вводят в рабочее пространство конвертера по продольной оси так, чтобы сопла торкрет-массы и кислорода были направлены на изношенные зоны футеровки [2]. Сначала включают подачу торкрет-массы (уголь или кокс – 30 %, огнеупорный порошок – 70%, несущий газ – азот, избыточное давление перед соплом $p = 0.6$ МПа), а потом, после ее появления из сопел, включают кислород при начальном давлении $p_{O_2} = 1.6$ МПа. Торкрет-масса истекает из щелей фурмы со скоростью 30 м/с, кислород на выходе из сопел имеет скорость 300 м/с. Кислород является организующим элементом для потока торкрет-массы, который при такой организации струй становится равномерным.

Таким образом, в полость кислородного конвертера, где температура ~ 1300 °С, вытекает газопорошковая струя. Уголь (кокс) горит, а частицы огнеупорного порошка в факеле нагреваются до пластического состояния и будут навариваться на "холодную" (~ 1000 °С) поверхность футеровки. Расстояние от сопла к футеровке ~ 2.7 м.

Изучение горения пылеугольного факела остается актуальной задачей [4-7]. Внимания заслуживают экспериментальные работы по горению угольной пыли в модельных установках [4] и в фурменном очаге вагранки [5]. Турбулентное движение пыли существенно усложняет математическое описание протекающих процессов. Однако использование численных методов позволяют проводить анализ решений, несмотря на громоздкость, физико-математических моделей [6, 7].

В работе [1] представлена физико-математическая модель горения монодисперсных частиц пылеугольного топлива (диаметр частиц угля пылеугольного топлива (ПУТ) и доломита (MgO) 40 мкм).

Целью данного исследования является построение физико-математической модели горения и динамики движения полидисперсных частиц пылеугольного топлива и разогрева частиц огнеупорного порошка в условиях факельного горения в кислороде.

Постановка задачи. Используем ряд обоснованных предположений:

- газообразные продукты имеют температуру и скорость дисперсных частиц; за счет турбулентности концентрации газообразных компонентов моментально устанавливаются в выбранном объеме;
- частицы не коагулируют и в среднем равноудалены; частицы и газ в факеле двигаются с одинаковой скоростью, изменение которой описывается теоретически полученной зависимостью для турбулентной струи с твердыми примесями;

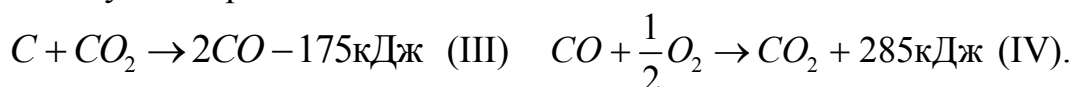
- химические реакции протекают по первому порядку; внутренним реагированием внутри частиц кокса (а также стефановским течением) будем пренебрегать в связи с высокой интенсивностью внешнего массопереноса.

Для аналитического рассмотрения горения и движения торкрет-массы в полости кислородного конвертера используется система уравнений, основанная на законах сохранения массы, энергии и импульса, законах химической кинетики.

Для описания кинетики химических процессов и тепломассообмена коксовых частиц ПУТ принимается подход, описанный в [3]. Так в процессе реагирования углерода частиц ПУТ с кислородом протекают в основном следующие реакции



С появлением газообразных продуктов реакций они могут в дальнейшем вступать в следующие реакции



Концентрации (массовые доли) кислорода и углекислого газа вблизи поверхности частиц кокса определяются интенсивностью массопереноса:

$$Y_{O_{2s}} = \frac{\beta}{\beta + (k_1 + k_2)} Y_{O_2}, \quad Y_{CO_{2s}} = \frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}} \frac{k_1}{(\beta + k_3)} Y_{O_{2s}} + \frac{\beta}{(\beta + k_3)} Y_{CO_2}, \quad \beta = \frac{D_g Nu}{d_c}.$$

Изменение температуры частицы кокса происходит за счет тепловыделения в гетерогенных химических реакциях (I) -(III), теплообмену с окружающим газом за счет молекулярной и турбулентной диффузии, а также теплообмена излучения со стенками футеровки, согласно уравнению:

$$\frac{c_c \rho_c d_c}{6} \cdot u_c \frac{\partial T}{\partial x} = q_{ch} - q_g - q_w, \quad T(x=0) = T_b, \quad (1)$$

$$q_{ch} = ((Q_1 k_1 + Q_2 k_2) \rho_{gs} Y_{O_{2s}} - Q_3 k_3 \rho_{gs} Y_{CO_{2s}}) (1 - X_A), \quad k_j = k_{0j} \exp\left(-\frac{E_j}{RT}\right), j = 1..3, \quad (2)$$

$$q_g = \frac{\lambda_g Nu}{d_c} (T - T_g), \quad q_w = \varepsilon \sigma (T^4 - T_w^4). \quad (3)$$

Здесь c_c , ρ_c , d_c , u_c , T – удельная теплоемкость, плотность, диаметр, относительная скорость и температура частиц ПУТ, X_a – массовая зола в коксе ПУТ; Q_j , k_j , E_j – тепловой эффект в расчете на 1 кг активного реагента, константа и энергия активации j -той химической реакции; ρ_g , λ_g , T_g – плотность, коэффициент теплопроводности и температура газовой смеси; Nu – число Нуссельта, x – координата вдоль факела, ε – эффективный коэффициент черноты поверхности частицы, который зависит дополнительно от концентрации и размера факела; T_w – температура стенок футеровки; β – коэффициент массопереноса кислорода к поверхности частицы ПУТ.

В результате протекания гетерогенных реакций уменьшается размер частицы:

$$-\frac{1}{2}\rho_c \cdot u_c \frac{\partial d_c}{\partial x} = \frac{\mu_c}{\mu_{O_2}}(k_1 + 2k_2)\rho_{gs}Y_{O_{2s}} + \frac{\mu_c}{\mu_{CO_2}}k_3\rho_{gs}Y_{CO_{2s}}, \quad d_c(x=0) = d_{cb}. \quad (4)$$

Нагрев и увеличение температуры частицы огнеупорного порошка (индекс f) происходит за счет теплообмена с окружающей газовой смесью, а также теплообмена излучением со стенками футеровки согласно дифференциальному уравнению:

$$\frac{c_f \rho_f d_f}{6} \cdot u_f \frac{\partial T_f}{\partial x} = -q_{gf} - q_{wf}, \quad T_f(x=0) = T_{fb}, \quad (5)$$

$$q_{gf} = \frac{\lambda_g Nu_f}{d_f} (T_f - T_g), \quad q_{wf} = \varepsilon \sigma (T_f^4 - T_w^4).$$

Диаметр частиц огнеупорного порошка не изменяется во времени (частицы инертны)

$$-\frac{1}{2}\rho_f \cdot u_f \frac{\partial d_f}{\partial x} = 0, \quad d_f(x=0) = d_{fb}. \quad (6)$$

В данной работе, анализируя влияние полидисперсности, принимается, что торкрет-масса (смесь доломита 70 % и кокса 30 %, несущая среда – азот) состоит из частиц размерами трех фракций (40, 70 и 100 мкм с численной долей 40%, 40% и 20%).

Изменение температуры газовой смеси (индекс g) определяется за счет тепловыделения в гомогенной реакции окисления угарного газа, теплообмена с частицами каждой из фракций, теплотерями с окружающей средой и переходом части кинетической энергии движения в тепловую:

$$c_g \rho_g u_g \frac{dT_g}{dx} = Q_4 k_4 \rho_g Y_{CO} - \sum_{i=1}^3 q_{gf,i} \frac{S_{f,i}}{S} \frac{\dot{N}_{f,i}}{u_g} + \sum_{i=1}^3 q_{g,i} \frac{S_{c,i}}{S} \frac{\dot{N}_{c,i}}{u_g} - q_{qaz} \frac{p_s}{S} - \rho_g u_g^2 \frac{du_g}{dx}, \quad (7)$$

$$T_g(x=0) = T_{gb}.$$

Здесь i – номера фракции частиц по размерам; $\dot{N}_{c,i}$, $\dot{N}_{f,i}$ – число частиц i -фракции, влетающих в сечение факела за 1 секунду.

Изменение концентраций газообразных веществ в газовой смеси в основном определяются массообменом с поверхностью частиц ПУТ, где протекают гетерогенные реакции, и протеканием реакции окисления угарного газа (IV):

$$-\rho_g u_g \frac{dY_{O_2}}{dx} = \frac{\mu_{O_2}}{2\mu_{CO}} k_4 \rho_g Y_{CO} + \sum_{i=1}^3 (k_{1,i} + k_{2,i}) \rho_{gs} Y_{O_{2s,i}} \frac{S_{c,i}}{S} \frac{\dot{N}_{c,i}}{u_g} + j_{O_2qaz} \frac{p_s}{S}, \quad (8)$$

$$\rho_g u_g \frac{dY_{CO_2}}{dx} = \frac{\mu_{CO_2}}{\mu_{CO}} k_4 \rho_g Y_{CO} + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\mu_{CO_2}}{\mu_{O_2}} k_{1,i} \rho_{gs} Y_{O_{2s,i}} - k_{3,i} \rho_{gs} Y_{CO_{2s,i}} \right) \frac{S_{c,i}}{S} \frac{\dot{N}_{c,i}}{u_g} - j_{CO_2qaz} \frac{p_s}{S}, \quad (9)$$

$$\rho_g u_g \frac{dY_{CO}}{dx} = -k_4 \rho_g Y_{CO} + \sum_{i=1}^3 \left(\frac{2\mu_{CO}}{\mu_{O_2}} k_{2,i} \rho_{gs} Y_{O_{2s,i}} + \frac{2\mu_{CO}}{\mu_{CO_2}} k_{3,i} \rho_{gs} Y_{CO_{2s,i}} \right) \frac{S_{c,i}}{S} \frac{\dot{N}_{c,i}}{u_g} - j_{COqaz} \frac{p_s}{S}, \quad (10)$$

$$Y_{O_2}(x=0) = Y_{O_{2b}}, \quad Y_{CO_2}(x=0) = Y_{CO_{2b}}, \quad Y_{CO}(x=0) = Y_{CO_{2b}}.$$

После интегрирования и получения массовых долей компонентов смеси каждая из концентраций на каждом этапе интегрирования умножалась на множитель

$$\frac{1}{Y_{O_2} + Y_{CO} + Y_{CO_2}},$$

что позволяло действительно находить массовую частицу каждого компонента и выполнять равенство $Y_{O_2} + Y_{CO} + Y_{CO_2} = 1$.

Для оценки изменения средней скорости газовой среды используем формулу Абрамовича для осевой скорости затопленной газовой турбулентной струи [11]:

$$\frac{\partial u_g}{\partial x} = -\frac{u_g^2}{u_{gb}} \frac{p}{p_0} \frac{1}{16r_{sb}} \quad u_g(x=0) = u_{gb}, \quad (11)$$

где x – расстояние от среза сопла фурмы r_{sb} – радиус сопла фурмы.

Изменение площади осевой перерезу струи находится из закона сохранения массы по мере распространения факелу:

$$\rho_g u_g^2 \frac{\partial S}{\partial x} = W_c S_c \dot{N} - \rho_g S \frac{\partial u_x}{\partial x} - u_g^2 S \frac{\partial \rho_g}{\partial T_g} \frac{\partial T_g}{\partial x}, \quad S(x=0) = S_b. \quad (12)$$

Влияние характера движения частиц и газовой смеси учитывается турбулентными коэффициентами переноса. Так при турбулентном движении газа эффективные коэффициенты переноса (коэффициент вязкости ν , диффузии D , теплопроводности λ) в газовой смеси определяются через молекулярные (индекс m) и турбулентные (индекс t) характеристики:

$$\begin{aligned} \nu_g &= \nu_{gm} + \nu_{gt}, \quad D_g = D_{gm} + D_{gt}, \quad \lambda_g = \lambda_{gm} + \lambda_{gt}. \\ \nu_{gm} &= \nu_{g0} \left(\frac{T_g}{T_0} \right)^{2.5} \frac{p_0}{p} \left(\frac{T_0 + C}{T_g + C} \right), \quad \lambda_{gm} = \lambda_{g0} \left(\frac{T_g}{T_0} \right)^{1.5} \left(\frac{T_0 + C}{T_g + C} \right), \quad \rho_g = \rho_{g0} \frac{T_0}{T_g} \frac{p}{p_0}, \\ D_{gt} &\approx 18 \cdot 10^{-3} u_g \sqrt{\frac{S}{\pi}} \text{Re}_g^{-0.16} \frac{p_0}{p} \text{ (для чисел } \text{Re} < 10^5), \quad \lambda_{gt} = D_{gt} c_g \rho_g. \end{aligned}$$

Для численных расчетов системы (1) – (12) использованы классические схемы Рунге-Кутты. Вся длина факела разбивается на 500-3000 участков, в результате чего получаются профили температур смеси, частиц огнеупорного порошка, диаметра и массы частиц ПУТ.

В интервале температур от 200 до 1500 °С зависимость удельной теплоемкости MgO от температуры можно аппроксимировать $c_f = 185.8 \ln T - 51.85$. Плотность кокса взята 1500 кг/м³, а удельная теплоемкость аппроксимирована зависимостью (в интервале 400-3000 °С): $c_c = 1000 + 60(T - 400)^{0.4}$, Дж/(кг К).

При расчетах принимаются следующие кинетические параметры: $E_1 = 140030$ Дж/моль, $E_2 = 154000$ Дж/моль, $E_3 = 308000$ Дж/моль, $E_4 = 96.3$ кДж/моль, $Q_1 = 12.343$ МДж/кгO₂, $Q_2 = 6.844$ МДж/кгO₂; $Q_3 = 4$ МДж/кгCO₂; $Q_4 = 20.39$ кДж/кг CO, $k_{01} = 6.5 \cdot 10^4$ м/с, $k_{02} = 12.4 \cdot 10^4$ м/с, $k_{03} = 1.54 \cdot 10^8$ м/с, $k_{04} = 7.05 \cdot 10^2$ 1/с.

Анализ результатов. На рис. 1 представлены пример результатов численного решения системы (1) – (12). Расчеты были выполнены для 160 т кислородного конвертера ММК им Ильича.

Принималось, что на выходе из водоохлаждаемой торкрет-фурмы смешиваются под высоким давлением потоки торкрет-массы (6 атм) и кислорода (15 атм). Результирующая смесь на выходе имеет давление близкое к атмосферному и попадает в полость кислородного конвертера с высокой температурой (1200 °С) и содержанием угарного газа.

Частицы огнеупорного порошка считаются инертными частицами. Газовая фаза факела содержит кислород, необходимый для окисления углерода частиц ПУТ, и является посредником передачи тепла от частиц ПУТ к частицам огнеупора. Таким образом, температура этих фаз не является одинаковой ($T_f(\text{MgO}) < T_g(\text{газовая смесь}) < T(C)$), а понятие температуры факела, которую и определяют экспериментальным путем, становится определенным усреднением.

В данной модели не учитывается наличие летучих газов, которые значительно улучшат разогрев и последующее горение углеродных частиц. Поэтому нагрев порошка до 1000 – 1100 °С не приводит к их быстрому воспламенению.

Со временем, когда начинается воспламенение и горение частиц кокса (рис.1), доля кислорода в смеси начинает активно уменьшаться. На поверхности частиц появляются продукты реакций: угарный и углекислый газ, которые практически мгновенно (турбулентный факел) переходят в газовую смесь. До тех пор, пока температура смеси «низкая» в гетерогенных реакциях образуются в соизмеримых количествах углекислый и угарный газы. После более высоких температурах сказывается роль эндотермической реакции (III): продуктом реакции является преимущественно угарный газ.

Скорость изменения диаметра и массы частиц угольной пыли высокая только при наличии в смеси кислорода. После его «исчезновения», медленное уменьшение диаметра и массы угольных частиц происходит за счет реакции восстановления углекислого газа. Частицы меньшего размера могут полностью выгорать, а более крупные терять в массе до 80 %.

Такое поведение угольных частиц объясняет качественное изменение температур составляющих элементов пылегазовой смеси. На начальном этапе температура частиц угольной пыли повышается. Они нагревают газ, который способствует нагреву частиц огнеупорного порошка. То есть, $T_p < T_g < T_c$.

После выгорания кислорода в смеси температура частиц за счет излучения падает быстрее, чем температура газа. Газовая смесь нагревает остывающие частицы огнеупорного порошка и оставшуюся угольную пыль. То есть: $T_g > T_c, T_p$.

В результате частицы огнеупорного порошка удастся разогреть до температур выше температуры размягчения (1550 °С). При этом в газопылевом факеле практически исчезают исходные активные компоненты смеси: кислород и угольная пыль.

Выводы. Предложена физико-математическая модель, которая позволяет описать процессы и оценить основные параметры в полидисперсном пылекис

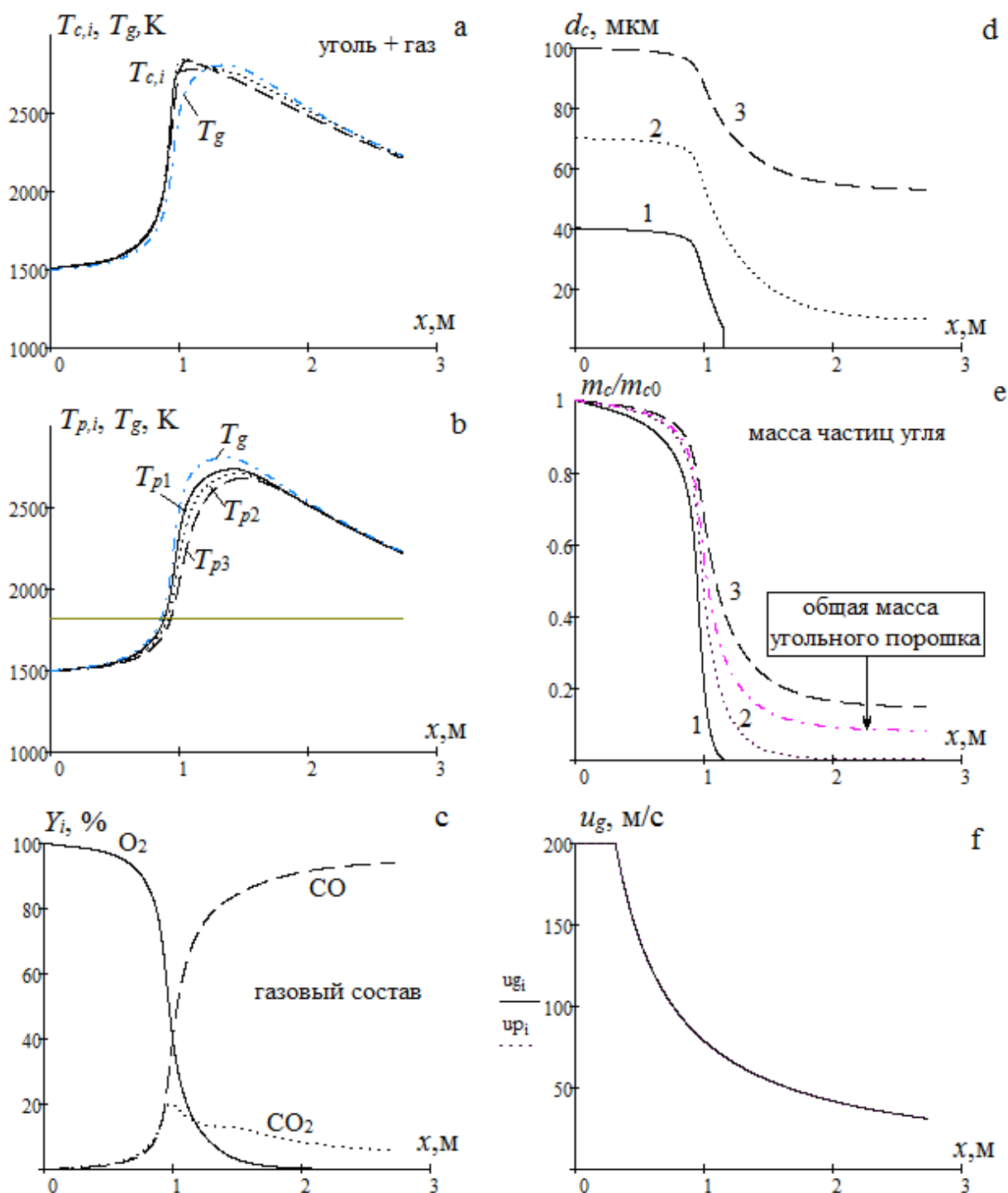


Рис. 1. Профили по длине факела а) температур частиц угольной пыли и газовой смеси, б) температур частиц огнеупорного порошка, в) газового состава газовой смеси; д, е) диаметров и масс частиц угольной пыли, ф) скорости смеси при вдувании порошка. Размеры угольного и огнеупорного порошка $d_c = 40, 70$ и $100 \mu m$ с численной долей 40, 40 и 20 %, соответственно. Начальная температура смеси $1200^\circ C$ и средняя скорость 200 м/с . Начальный массовый расход порошка (30% C + 70% MgO) = 7 кг/мин , массовый расход кислорода – 7 кг/мин

лородном факеле. В результате окисления частиц кока, идет нагрев газовой смеси с окислением угарного газа, которая и нагревает частицы огнеупорного порошка выше температуры размягчения ($1550^\circ C$). Показано, что существуют

параметры массового расхода и гранулометрического состава торктер-массы, при котором возможно достижение частиц MgO мягкого состояния, высокой полноты сгорания коксовых частиц и практически полное выгорание кислорода в факеле.

Литература:

1. Аксельрод Л. М., Лантев А. П., Устинов В. А., Геращук Ю. Д. Increasing the stability of the lining of converters: refractories, technological methods// *Металл и литье Украины*. – 2009. – № 1-2. – С. 9-15.
2. Kalimullin R. D. Development and improvement of girdle tuyeres and technology for the application of slag skins and shotcrete coatings to lining converters: thesis PhD. Novokuznezk. – 2014. – 23 с.
3. Калінчак В. В., Черненко О. С., Шевченко Т. Г., Козловцев С. В., Дорота Каліш, Куземко Р. Д., Сінельніков В.О. Модель горіння вугілля і розігріву вогнетривких частинок в технології факельного торкретування футеровки конвертера // *Теорія і практика металургії*. – 2018. – № 1-2. – С. 27-34.
4. Kuniyoshi Ishii Advanced pulverized coal injection technology and blast furnace operation. – Eastbourne, Elsevier Science Ltd, 2000. – 325 p.
5. Feoktistov A. V., Chernyatevich A. G., Protopopov E. V., Chubina E. A., Kramar' N. S., Kramar' V. S. High-temperature modeling of gas flow and coke in a combustion zone of cupola furnace. // *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. – 2014. – Vol. 57(6). – P.:25-30.
6. Higuera F. J. Numerical simulation of the devolatilization of a moving coal particle // *Combustion and Flame*. – 2009. – Vol. 156, Issue 5. – P. 1023-1034.
7. Bermudez A., Ferrín J.L., Linan A., Saavedra L. Numerical simulation of group combustion of pulverized coal // *Combustion and Flame*. – 2011. – Vol. 158. – P. 1852–1865.

**Черненко О. С., Калінчак В. В., Козловцев С. В.,
Ассїл Мохаммед Кадхим, Куземко Р. Д.**

Особенности горения полидисперсного углеродного пилу при факельном торкретовании футерования кислородного конвертера

АНОТАЦІЯ

Метою даного дослідження є побудова фізико-математичної моделі горіння і динаміки руху полидисперсних частинок пилувугільного палива і розігріву частинок вогнетривкого порошку в умовах факельного горіння в кисні при відновленні футеровки 160 т кислородного конвертера ММК ім. Ілліча. Як приклад, проводиться аналіз тепломасообміну, руху і горіння частинок торкрет-маси (суміш доломіту 70% і коксу 30%, транспортне середовище – азот) з розмірами трьох фракцій (40, 70 та 100 мкм з чисельною часткою 40%, 40% та 20%) після її вдування всередину кислородного конвертера. Досліджувалося горіння і динаміка зміни температури і діаметра частинок кожної фракції вугільного пилу і вогнетривкого порошку. Для аналітичного розгляду горіння і руху торк-

рет-маси в порожнині кисневого конвертера використовується система рівнянь, заснована на законах збереження маси, енергії та імпульсу, законах хімічної кінетики.

Частинки вогнетривкого порошку вважаються інертними частинками. Також не враховується наявність летких речовин в частинках коксу, які значно покращують розігрів і подальше горіння вуглецевих частинок. Вважається, що на поверхні частинок коксу йдуть гетерогенні реакції $C + O_2 = CO_2$, $C + 1/2O_2 = CO$, $C + CO_2 = 2CO$ та всередині суміші протікає гомогенна реакція $CO + 1/2O_2 = CO_2$.

Встановлено, що в припущенні рівномірного попереднього нагріву пилу і газової суміші, горіння вугільного пилу різних фракцій відбувається практично одночасно. Після зникнення кисню в суміші, подальше перетворення вуглецю відбувається в вуглекислому газі. Більш повно вигорають частки дрібних фракцій.

Частинки вогнетривкого порошку нагріваються в такому факелі до температур, які вище температури розм'ягчення. Це необхідно для їх налипання на стінки конвертера (ремонт футеровки).

Ключові слова: факельне торкретування, вугільний пил, вогнетривкий порошок, полідисперсність.

**Chernenko A. S., Kalinchak V. V., Kozlovtshev S. V.,
Assil Moxamed Kadhim, Kuzemko R. D.**

Features of polydispersible coal dust's combustion during flame filling in oxygen converter

SUMMARY

The objective of this study is to construct a physics-mathematical model of combustion and dynamics of polydispersed particles's motion of pulverized coal and to heating a refractory powder's particles in conditions of flare combustion in oxygen at restoration of lining 160 tons of oxygen converter Ilyich iron and steel works. As an example, the analysis of heat and mass transfer, motion and combustion of mixture's particles (dolomite 70% and coke 30%, transport environment, which is nitrogen) with the size of three fractions (40, 70 and 100 μm with a numerical fraction of 40%, 40% and 20%) after its injection inside the oxygen converter. Investigated combustion and dynamics of particles's temperature and diameters change of each fraction coal dust and refractory powder. For the analytical consideration of the combustion and moving of the mixture-mass in the oxygen converter cavity, a system of equations based on the conservation's laws of mass, energy and momentum, and the chemical kinetics's laws is used.

Refractory powder particles are considered to be inert particles. Also, the presence of volatile substances in coke particles is not consideration, which greatly improves the heating and subsequent burning of carbon particles. It is believed that heterogeneous reactions $C + O_2 = CO_2$, $C + 1/2O_2 = CO$, $C + CO_2 = 2CO$ are carried out on the surface of coke particles and a homogeneous reaction $CO + 1/2O_2 = CO_2$ proceeds inside the mixture.

It was established that in the assumption of even preheating of dust and gas mixture, coal dust's combustion of different fractions occurs practically simultaneously. After oxygen's disappearance in mixture, the subsequent conversion of carbon occurs in carbon-acid gas. Particles of small fractions burn more completely.

The refractory powder particles are heated in such a torch to temperatures that are higher than the softening temperature. It is necessary for their sticking to the walls of the converter (lining repair).

Key words: flame filling, carbon dust, refractory powder, polydispersity.