

**Рис. 2.** Зависимость степени пылеподавления от расхода азота при подаче его через 2 сопла диаметром 240 мм при сливе чугуна из миксера в ковш в миксерном отделении ККЦ меткомбината «Азовсталь»: 1 — расчетная кривая. Точками обозначены средние экспериментальные значения степени пылеподавления. Цифры у точек — число опытов

Таким образом, в результате выполненных экспериментальных и теоретических исследований получены следующие результаты:

— установлено, что, снижая концентрацию кислорода в зоне дымообразования, можно существенно снизить выбросы бурого дыма в атмосферу без применения фильтров;

— разработана относительно дешевая и простая в использовании технология подавления бурого дыма газообразным азотом при переливах чугуна;

— получена пригодная для практического использования зависимость степени пылеподавления от управляемых конструктивных и технологических параметров.

### Список литературы

1. Толочко А.И., Филиппев О.В., Славин В.И., Гурьев В.С. Очистка технологических и неорганизованных выбросов от пыли в черной металлургии. — М.: Металлургия, 1986. — 208 с.
2. Кравец В.А. Подавление бурого дыма азотом при разливке жидкого чугуна // Метроном, 1993. — С. 28–30.
3. Кравец В.А. Изменение поверхности испарения капельного аэрозоля в результате внешнего аэродинамического воздействия // Вестник ДГАСА. Инженерная и техногенная безопасность в строительстве, 1998. — № 2. — С. 92–94.

© Кравец В.А., 2002

ПОПОВ А.Л., САФОНОВА Е.К., САФЬЯНЦ С.М., КОНСТАНТИНОВ Г.Е. (ДонНТУ)

### МЕТОД РАСЧЕТА СТЕПЕНИ РАЗВИТИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

*Механическая прочность и восстановимость агломерата при постоянной основности зависит от степени развития окислительно-восстановительных реакций в процессе спекания. Предложен метод расчета степени развития окислительно-восстановительных реакций в процессе агломерации, в основу которого положено определение по составу отходящих газов количества выделившегося или поглощенного оксидами железа кислорода по высоте зоны горения твердого топлива.*

Механическая прочность и восстановимость агломерата при постоянной основности в значительной степени определяется содержанием в нем оксидов железа, т.е. зависит от степени развития окислительно-восстановительных реакций в процессе спекания шихты.

Количественная оценка степени развития окислительно-восстановительных процессов заключается в определении либо суммарного эффекта реакций восстановления и окисления [1-3], либо по высоте зоны горения в пространстве и во времени [4, 5].

В основу предлагаемого метода расчета степени развития окислительно-восстановительных реакций в процессе агломерации положено определение количества кислорода выделившегося или поглощенного оксидами железа по высоте зоны горения твердого топлива. Суммарное количество кислорода определяется по изменению концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$  в отходящих газах при ликвидации активной зоны агломерации на колосниковой решетке либо на любом горизонте слоя, где установлено газоотборное устройство.

В процессе агломерации от горения твердого топлива, разложения карбонатов шихты и прохождения окислительно-восстановительных реакций газ, отобранный из любого элементарного слоя имеет определенное содержание  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ .

Обозначим:  $M_{\text{вх}}$  — количество кг-молей газа, входящего в элементарный слой с известными концентрациями  $\text{CO}_2^{\text{вх}}$ ,  $\text{CO}^{\text{вх}}$  и  $\text{O}_2^{\text{вх}}$ ;  $M_{\text{вых}}$  — количество кг-молей газа, выходящего из элементарного слоя с концентрациями  $\text{CO}_2^{\text{вых}}$ ,  $\text{CO}^{\text{вых}}$  и  $\text{O}_2^{\text{вых}}$ .

Для офлюсованного агломерата обозначим  $\beta = M_{\text{CO}_2} / M_{\text{C}}$  — количество кг-молей двуокси углерода карбонатов шихты, приходящейся на один кг. атом сожженного углерода. Учитывая, что количество кг-молей  $\text{CO}_2$  численно равно количеству кг атомов углерода карбонатов  $C_k$ , то выражение для  $\beta$  будет иметь вид  $\beta = C_k / C_c$ .

Определяем количество кг-молей углерода топлива и карбонатов, перешедших в газовую фазу, исходя из соотношения  $\beta = M_k / M_c$ , где  $M_k$  и  $M_c$  — количество кг-молей углерода карбонатного и топлива, перешедших в газовую фазу соответственно.

Теоретическое изменение количества кг-молей кислорода  $\Delta M_o$  в газе вытекает из того, что в результате горения углерода топлива количество кг-молей кислорода в газовой фазе не изменяется, т.е. кислород не поглощается и не выделяется, а в газовую фазу поступает кислород с  $\text{CO}_2$  от разложения карбонатов. Количество молей кислорода карбонатов столько, сколько и кг-молей  $\text{CO}_2$  карбонатного, т.е.  $M_k$ .

Так как  $M_k$  кг-молей углерода карбонатного вносит в газовую фазу  $M_k$  молей кислорода, то теоретическое изменение количества кг-молей кислорода:

$$(\Delta M_o)_T = M_k = M_{\text{свх}} \cdot \frac{\beta}{1 + \beta} \left[ (\text{CO}_2^{\text{свх}} + \text{CO}^{\text{свх}}) - \frac{N_2^{\text{свх}}}{N_2^{\text{сх}}} \right].$$

Фактическое изменение кг-молей кислорода в газовой фазе:

$$(\Delta M_o)_\phi = \sum O^{\text{свх}} - \sum O^{\text{сх}} = M_{\text{свх}} (\text{CO}_2^{\text{свх}} + \text{O}_2^{\text{свх}} + \frac{1}{2} \text{CO}^{\text{свх}}) - M^{\text{сх}} (\text{CO}_2^{\text{сх}} + \text{O}_2^{\text{сх}} + \frac{1}{2} \text{CO}^{\text{сх}}).$$

Исходя из баланса азота:

$$(\Delta M_o)_\phi = \sum O^{\text{свх}} - \sum O^{\text{сх}} = M_{\text{свх}} (\text{CO}_2^{\text{свх}} + \text{O}_2^{\text{свх}} + \frac{1}{2} \text{CO}^{\text{свх}}) - \frac{N_2^{\text{свх}}}{N_2^{\text{сх}}} (\text{CO}_2^{\text{сх}} + \text{O}_2^{\text{сх}} + \frac{1}{2} \text{CO}^{\text{сх}}).$$

Изменение суммарного кислорода, т.е. разность фактического и теоретического изменения количества кг-молей кислорода, отнесенного к количеству кг-молей

выходного газа, можно представить в виде:

$$d\Sigma O = \frac{(\Delta M_O)_\phi - (\Delta M_O)_\tau}{M^{\text{был}}} \quad (1)$$

Так как  $M_K = \beta M_C$ , т.е. на один кг. атом углерода топлива в газовую фазу переходит  $\beta$  1 кг моль карбонатного углерода, то всего в газовую фазу переходит  $\Delta M_C$  кг·молей углерода:

$$\Delta M_C = M_C + M_K = M_C + \beta \cdot M_C,$$

что можно выразить и через состав газовой фазы:

$$\Delta M_C = M^{\text{был}} (\text{CO}_2^{\text{был}} + \text{CO}^{\text{был}}) - M^{\text{ex}} (\text{CO}_2^{\text{ex}} + \text{CO}^{\text{ex}}).$$

Исходя из материального баланса азота  $M^{\text{ex}} \cdot N_2^{\text{ex}} = M^{\text{был}} \cdot N_2^{\text{был}}$ , откуда:

$$M^{\text{ex}} = M^{\text{был}} \cdot \frac{N_2^{\text{был}}}{N_2^{\text{ex}}}.$$

Тогда:

$$\Delta M_C = M^{\text{был}} (\text{CO}_2^{\text{был}} + \text{CO}^{\text{был}}) - M^{\text{был}} \cdot \frac{N_2^{\text{был}}}{N_2^{\text{ex}}} (\text{CO}_2^{\text{ex}} + \text{CO}^{\text{ex}}),$$

или

$$\Delta M_C = M_C + \beta \cdot M_C = M^{\text{был}} (\text{CO}_2^{\text{был}} + \text{CO}^{\text{был}}) - \frac{N_2^{\text{был}}}{N_2^{\text{ex}}} (\text{CO}_2^{\text{ex}} + \text{CO}^{\text{ex}}).$$

Отсюда, количество кг·молей углерода топлива, перешедшего в газовую фазу, равно:

$$M_C = M^{\text{был}} \frac{1}{1+\beta} (\text{CO}_2^{\text{был}} + \text{CO}^{\text{был}}) - \frac{N_2^{\text{был}}}{N_2^{\text{ex}}} (\text{CO}_2^{\text{ex}} + \text{CO}^{\text{ex}}),$$

а количество кг·молей углерода карбонатов, перешедшего в газовую, будет:

$$M_K = M^{\text{был}} \frac{\beta}{1+\beta} [(\text{CO}_2^{\text{был}} + \text{CO}^{\text{был}}) - \frac{N_2^{\text{был}}}{N_2^{\text{ex}}} (\text{CO}_2^{\text{ex}} + \text{CO}^{\text{ex}})].$$

Подставляя значения  $(\Delta M_O)_\phi$  и  $(\Delta M_O)_\tau$  в формулу (1) и после преобразования получим:

$$d\Sigma O = \text{CO}_2^{\text{был}} \left(1 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) + \text{O}_2^{\text{был}} + \text{CO}^{\text{был}} \left(\frac{1}{2} - \frac{\beta}{1+\beta}\right) - \frac{N_2^{\text{был}}}{N_2^{\text{ex}}} [\text{CO}_2^{\text{ex}} \left(1 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) + \text{O}_2^{\text{ex}} + \text{CO}^{\text{ex}} \left(\frac{1}{2} - \frac{\beta}{1+\beta}\right)]. \quad (2)$$

С целью проверки формулы (2) преобразуем ее вид, исходя из того, что входящим в слой газом будет воздух, т.е.  $\text{CO}_2^{\text{вх}} = \text{CO}^{\text{вх}} = 0$ ;  $\text{O}_2^{\text{вх}} = 21\%$ , а  $\text{N}_2^{\text{вх}} = 79\%$ .



$$d\Sigma O = CO_2^{вых} \left(1 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) + O_2^{вых} + CO^{вых} \left(\frac{1}{2} - \frac{\beta}{1+\beta}\right) - \frac{N_2^{вых}}{0,79} [(0 + 0,21 + 0)] . \quad (3)$$

Подставив выражение  $N_2^{вых} = 1 - CO_2^{вых} - O_2^{вых} - CO^{вых}$  в формулу (3) получим:

$$d\Sigma O = CO_2^{вых} \left(1,266 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) + O_2^{вых} \cdot 1,266 + CO^{вых} \left(0,766 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) - 0,266 ,$$

а если в %, то:

$$d\Sigma O = CO_2^{вых} \left(1,266 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) + O_2^{вых} \cdot 1,266 + CO^{вых} \left(0,766 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) - 26,6 . \quad (4)$$

Для сравнения результатов с известной методикой В.А.Шурхала [1] упростим его формулу:

$$\Sigma O_T = \frac{1 + 0,5r}{y} \cdot N_2^e + \frac{\beta}{1+\beta} [100 + (\mu - \eta + \frac{r}{y})N_2^e] \quad (5)$$

Принимая  $N_2 = 0$  и  $r = 0$  преобразуем обозначения, принятые автором:

$$\eta = \frac{1 + y + 2r}{y} = \frac{1}{y} + 1; \quad \mu = \frac{1}{y \cdot \alpha}; \quad \alpha = \frac{N_{2e}}{N_{2e} - y \cdot O_{2e}} .$$

После подстановки  $\eta$  и  $\mu$  в выражение (5) получим:

$$\Sigma O_T = \frac{1}{y} N_{2e} + \frac{\beta}{1+\beta} [100 - (\frac{O_{2e}}{N_{2e}} + 1)N_{2e}] .$$

Так как  $O_{2r} + CO_{2r} + CO_r + N_{2r} = 100\%$ , то окончательно:

$$\Sigma O_m = \frac{1}{y} (100 - CO_{2e} - CO_e - O_{2e}) + \frac{\beta}{1+\beta} (CO_{2e} + CO_e) .$$

Фактическое содержание кислорода:

$$\Sigma O_\phi = CO_{2e} + O_{2e} + 0,5CO_e .$$

Изменение суммарного кислорода:

$$\Delta \Sigma O = \Sigma O_\phi - \Sigma O_T .$$

После подстановки и преобразований получаем:

$$\Delta \Sigma O = CO_{2e} \left(1,266 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) + O_{2e} \cdot 1,266 + CO_e \left(0,766 - \frac{\beta}{1+\beta}\right) - 26,6 . \quad (6)$$

Формула (6) не отличается от (4) и является частным случаем выражения  $d\Sigma O$  при входе в слой воздуха. Таким образом, определение  $\Delta \Sigma O$  справедливо и для окислительных процессов.

Величина  $d\Sigma O$  для элементарного участка спекаемого слоя, когда газ содержит кроме  $O_2$  и  $N_2$  также  $CO_2$  и  $CO$  от вышележащих горизонтов позволяет оценить развитие окислительно-восстановительных процессов по высоте активной зоны.

В случае спекания нефлюсованного агломерата конечная формула и порядок вычисления  $d\Sigma O$  отличается. При этом, количество кг-молей кислорода в газе, входящем в элементарный слой будет равен:

$$\Sigma O^{ex} = M^{ex} \left( O_2^{ex} + CO_2^{ex} + \frac{1}{2} CO^{ex} \right),$$

а в выходящем из слоя:

$$\Sigma O^{blyx} = M^{blyx} \left( O_2^{blyx} + CO_2^{blyx} + \frac{1}{2} CO^{blyx} \right).$$

Изменение количества молей кислорода на элементарном участке равно разности количества молей кислорода выходящего и входящего газа:

$$\Delta M_{O_2} = M^{blyx} \left( O_2^{blyx} + CO_2^{blyx} + \frac{1}{2} CO^{blyx} \right) - M^{ex} \left( O_2^{ex} + CO_2^{ex} + \frac{1}{2} CO^{ex} \right). \quad (7)$$

Исходя из баланса азота количество молей газа, входящего в слой равно:

$$M^{ex} = M^{blyx} \cdot \frac{N_2^{blyx}}{N_2^{ex}}, \quad (8)$$

а изменение количества молей кислорода в элементарном слое, отнесенное к количеству молей выходного газа:

$$d\Sigma O = \frac{\Delta M_{O_2}}{M^{ex}}. \quad (9)$$

Подставив значения  $\Delta M_{O_2}$  и  $M^{ex}$  в формулу  $d\Sigma O$  получим:

$$d\Sigma O = \Sigma O^{blyx} - \frac{N_2^{blyx}}{N_2^{ex}} \cdot \Sigma O^{ex}. \quad (10)$$

Формула (10) представляет изменение суммарного кислорода в элементарном слое для нефлюсованного агломерата.

В случае, если в слой входит воздух, т.е.  $CO_2^{bx} = CO^{bx} = 0$ ;  $O_2^{bx} = 21\%$ , а  $N_2^{bx} = 79\%$ , то

$$d\Sigma O = \Delta\Sigma O = \Sigma O^{blyx} - 0,266 N_2^{blyx}. \quad (11)$$

Формула (11) является частным случаем формулы (10) вычисления суммарного кислорода по методике В.А.Шурхала [1]:

$$\Delta\Sigma O = \Sigma O_{\phi} - 0,266 N_2.$$

В дальнейшем, под высотой зоны восстановления будем понимать ту часть активной зоны агломерации, в которой  $d\Sigma O$  имеет положительное значение, а под зоной окисления — когда  $d\Sigma O$  отрицательное.

Интенсивность поглощения или выделения кислорода ( $i$ ), определяет кинетику окислительно-восстановительных процессов по высоте активной зоны. Задача сводится к определению связи скорости окислительно-восстановительных процессов с изменением суммарного кислорода  $d\Sigma O$ , т.е., определению количества кг выделившегося кислорода на кг шихты в единицу времени.

Исходя из (9), получим:

$$\Delta M_{O_2} = d\Sigma O \cdot M^{blyx}.$$

Количество молей газа на выходе из слоя:

$$M^{\text{вых}} = S \cdot \omega \cdot \Delta\tau \cdot \rho,$$

где  $S$  — площадь сечения,  $\text{м}^2$ ;  $\omega$  — скорость потока воздуха через слой,  $\text{м/с}$ ;  $\Delta\tau$  — интервал измерения,  $\text{с}$ ;  $\rho$  — плотность газа,  $\text{кг/м}^3$ .

Тогда:

$$i = \frac{d\Sigma\text{O} \cdot S \cdot \omega \cdot \Delta\tau \cdot \rho}{(S \cdot \Delta h \cdot \gamma) \cdot \Delta\tau}, \quad (12)$$

где  $\Delta h$  — высота элементарного слоя,  $\text{м}$ ;  $\gamma$  — насыпная масса шихты,  $\text{кг/м}^3$ .

После преобразований получим формулу для определения интенсивности выделения (поглощения) кислорода при агломерации:

$$i = d\Sigma\text{O} \cdot \frac{1}{\Delta\tau} \cdot \frac{\omega}{U_{\text{сн}}} \cdot \frac{\rho}{\gamma}, \quad (13)$$

где  $U_{\text{сн}} = \Delta h / \Delta\tau$  — скорость спекания  $\text{м/с}$ .

По изменению  $\text{FeO}$  в слое судят о степени окисленности агломерата. Известна формула [7]:  $\Delta\text{FeO}' = \frac{144}{16} \cdot \Delta Q_{\text{O}_2}$ , где  $\Delta Q_{\text{O}_2}$  — количество кислорода, пошедшего на окисление  $\text{FeO}$  в окислительной зоне.

Изменение  $\text{FeO}$  в элементарном слое будет равно:

$$\Delta\text{FeO} = \Delta\text{FeO}' / m_{\text{ш}},$$

где  $m_{\text{ш}}$  — масса шихты этого участка.

Тогда:

$$\Delta\text{FeO} = \frac{144}{16} \cdot \frac{\Delta Q_{\text{O}_2}}{m_{\text{ш}}}, \quad (14)$$

где  $\frac{\Delta Q_{\text{O}_2}}{m_{\text{ш}}}$  — интенсивность выделения (поглощения) кислорода на данном участке.

Подставляя в формулу (14) вместо отношения  $\frac{\Delta Q_{\text{O}_2}}{m_{\text{ш}}}$  значение интенсивности (13), получим выражение для определения изменения  $\text{FeO}$  по высоте активной зоны:

$$\Delta\text{FeO} = \frac{144}{16} \cdot d\Sigma\text{O} \cdot \frac{\omega \cdot \rho}{U_{\text{сн}} \cdot \gamma}. \quad (15)$$

В качестве примера использования методики приведен расчет окислительно-восстановительных реакций и изменения содержания  $\text{FeO}$  по высоте активной зоны при спекании офлюсованной магнетитовой шихты с расходом топлива 4%,  $\beta = 0,614$ ,  $U_{\text{сн}} = 4,23 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ ,  $\gamma = 1802 \text{ кг/м}^3$  и соотношении концентрат — руда 809:20.

Изменение состава отходящих газов и скорости фильтрации воздуха, входящего в слой, а также расчетные показатели представлены в таблице.

Плотность газа рассчитывается по формуле:

$$\rho = 0,714\text{CO}_2 + 0,179\text{O}_2 + 1,25.$$



Таблица. Изменение показателей по высоте активной зоны

Время, с	Температура в слое, °С	Высота зоны, мм	Состав агломерационных газов, %			Скорость фильтрации воздуха, м/с	Плотность газа, кг/м <sup>3</sup>	Изменение суммарного кислорода dΣO, %	Интенсивность I, кг/кг·с	ΔFeO, %	FeO в слое, %
			CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	307	0	14,0	1,20	8,85	0,450	1,357	-	-	-	16,00
15	585	5,5	13,4	1,10	9,40	0,458	1,362	-0,131	-0,715	-0,96	15,04
30	712	11,0	14,4	1,07	8,75	0,463	1,367	-0,041	-0,091	-0,31	14,74
45	958	16,6	14,9	1,11	8,25	0,470	1,371	0,176	0,999	1,34	16,07
60	1185	22,1	14,3	1,18	7,90	0,475	1,356	0,914	5,101	7,00	23,08
75	1344	27,6	15,8	1,17	7,65	0,480	1,377	-0,978	-5,653	-7,63	15,44
90	1398	33,1	16,8	1,17	7,60	0,485	1,383	-0,798	-4,68	-6,32	9,12
105	1352	38,6	15,2	1,12	8,80	0,491	1,374	-0,092	-0,543	-0,72	8,40
120	1324	44,2	11,4	0,98	11,5	0,498	1,352	0,153	0,901	1,21	9,61
135	1145	49,7	8,0	0,80	14,0	0,503	1,332	-0,289	-1,693	-2,29	7,32
150	1092	55,2	5,3	0,60	16,1	0,508	1,316	-0,081	-0,474	-0,64	6,68
165	985	60,7	3,0	0,40	17,6	0,512	1,303	-0,071	-0,415	-0,56	6,12
180	910	66,2	1,0	0,31	19,0	0,520	1,290	-0,021	-0,117	-0,16	5,98

Для 15-й секунды (весь пример выполнен для этого времени):

$$\rho = 0,714 \cdot 13,4 + 0,179 \cdot 9,4 + 1,25 = 1,362.$$

Подставляя соответствующие значения величин в уравнение (2) находим изменение суммарного кислорода:

$$d\Sigma O = 14,0 \left(1 - \frac{0,614}{1 + 0,614}\right) + 1,20 \left(0,5 - \frac{0,614}{1 + 0,614}\right) + 8,85 - \frac{75,95}{76,10} \left[13,40 \left(1 - \frac{0,614}{1 + 0,614}\right) + 1,10 \times \left(0,5 - \frac{0,614}{1 + 0,614}\right) + 95\right] = -0,131.$$

Интенсивность выделения (поглощения) кислорода определяем по уравнению (13):

$$i = -0,131 \frac{0,458 \cdot 1,362}{15 \cdot 0,432 \cdot 10^{-4} \cdot 1802} = -0,715 \text{ кг / кг} \cdot \text{с}.$$

Изменение содержания FeO рассчитываем по формуле (15):

$$\Delta \text{FeO} = -0,131 / [(0,458 \cdot 1,362 \cdot 144) / (0,423 \cdot 10^{-4} \cdot 1802 \cdot 16)] = -0,96.$$

Значение FeO в каждом горизонте слоя определяется как сумма FeO шихты и  $\Delta\text{FeO}$ . Для первого горизонта  $\text{FeO}_1 = 16 + (-0,96) = 15,04$ .

Результаты расчета представлены в таблице и на рис. 1.

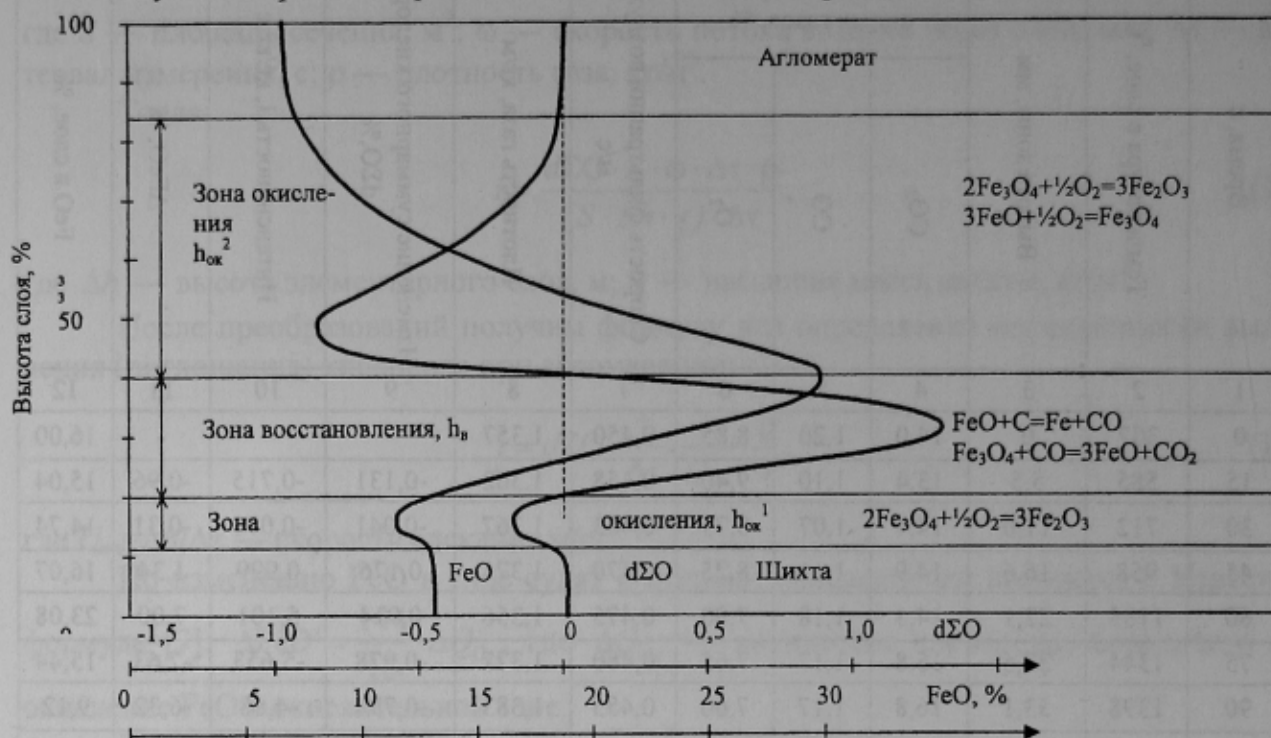


Рис. 1. Схема развития окислительно-восстановительных реакций оксидов железа по высоте активной зоны при спекании магнетитовой шихты

Высота зон окисления и восстановления определяется по данным изменения суммарного кислорода  $d\Sigma\text{O}$  в момент перехода его значения из положительной области в отрицательную. Из рис. 1 для данного опыта, высота нижней зоны окисления ( $h_{\text{окн}}$ ) 8 мм. Высота зоны восстановления ( $h_{\text{в}}$ ) 12 мм, и высота верхней зоны окисления ( $h_{\text{окв}}$ ) 33 мм.

Анализ результатов исследований позволяет представить схему развития окислительно-восстановительных реакций оксидов железа по высоте активной зоны при спекании магнетитовых концентратов. Схема иллюстрируется на рис. 2.

В этой схеме нет принципиальных отличий от схемы В.И.Коротича [8]. В ней уточняются и расширяются понятия и определения. В предлагаемой схеме конкретизированы понятия и определены границы зон окисления и восстановления по данным об изменении суммарного кислорода.

Из рис. 2 видно, что зона окисления нижняя ( $h_{\text{окн}}$ ) расположена в интервале температур от  $300^{\circ}\text{C}$  до температуры воспламенения топлива, а ее границы определяются отрицательными значениями изменения суммарного кислорода  $d\Sigma\text{O}$ . Зона восстановления ( $h_{\text{в}}$ ) — это та часть активной зоны, в которой изменение суммарного кислорода имеет положительное значение. Ее нижняя граница распространяется от температуры воспламенения топлива, верхняя — захватывает нижнюю часть зоны плавления до участка полного выгорания основного количества топлива. Верхняя зона окисления ( $h_{\text{окв}}$ ) расположена над зоной восстановления и определяется областью, где значения суммарного кислорода имеют отрицательное значения, она совмещена зоной плавления и кристаллизации расплава.



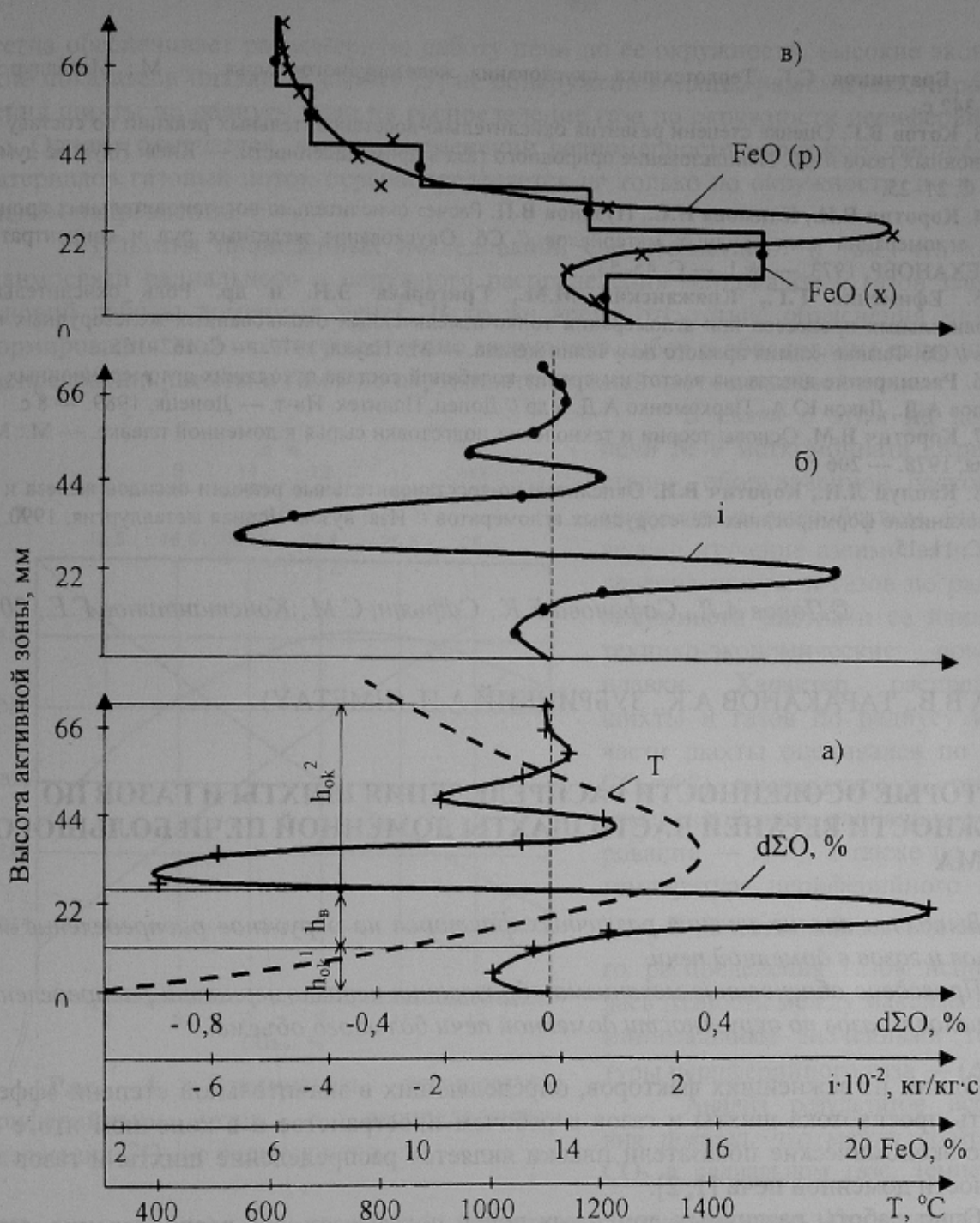


Рис. 2. Изменение суммарного кислорода  $\Delta\Sigma O$ , температуры в слое  $T$ , интенсивности выделения (поглощения) кислорода  $I$ , содержания монооксида железа расчетного  $\text{FeO}_p$  и по данным химанализа  $\text{FeO}_x$  по высоте активной зоны

При спекании магнетитовых шихт вначале материал частично окисляется, а затем с момента воспламенения топлива происходит интенсивное его восстановление. Опытами подтверждено, что содержание монооксида железа в зоне восстановления значительно увеличивается и формирование агломерата начинается из сильно восстановленного материала. В верхней зоне происходит основной объем окислительной работы.

#### Список литературы

1. Сигов А.А., Щурхал В.А. Агломерационный процесс. — Киев: Техника, 1969. — 232 с.

2. Братчиков С.Г. Теплотехника окускования железорудного сырья. — М.: Металлургия, 1970. — 342 с.

3. Котов В.Г. Оценка степени развития окислительно-восстановительных реакций по составу агломерационных газов // Сб. Использование природного газа в промышленности. — Киев: Наукова думка, 1976. — С. 21–25.

4. Коротич В.И., Климова Н.С., Пузанов В.П. Расчет окислительно-восстановительных процессов при агломерации железорудных материалов // Сб. Окускование железных руд и концентратов. УРАЛМЕХАНОБР, 1973. — № 1. — С. 45–53.

5. Ефименко Г.Г., Княжанский М.М., Григорьев Э.Н. и др. Роль окислительно-восстановительных процессов при агломерации тонко-измельченных окомкованных железорудных материалов // Сб. Физико-химия прямого получения железа. — М.: Наука, 1977. — С. 162–165.

6. Расширение диапазона частот измерения колебаний состава отходящих агломерационных газов / Попов А.Л., Дяков Ю.А., Пархоменко А.Д. и др // Донец. Политех. Ин-т. — Донецк, 1989. — 8 с.

7. Коротич В.М. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. — М.: Металлургия, 1978. — 206 с.

8. Каплун Л.И., Коротич В.И. Окислительно-восстановительные реакции оксидов железа и их роль в механизме формирования железорудных агломератов // Изв. вузов. Черная металлургия, 1990. — № 8. — С. 11–15.

*© Попов А.Л., Сафонова Е.К., Сафьянц С.М., Константинов Г.Е., 2002*

БОЧКА В.В., ТАРАКАНОВ А.К., ЗУБРИЦКИЙ А.П. (НМЕТАУ)

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШИХТЫ И ГАЗОВ ПО ОКРУЖНОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ШАХТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

*Выполнен анализ влияния различных факторов на окружное распределение материалов и газов в доменной печи.*

*Приведено обоснование механизма образования неравномерности распределения материалов и газов по окружности доменной печи большого объема.*

Одним из важнейших факторов, определяющих в значительной степени эффективность противотока шихты и газов в рабочем пространстве и в конечном итоге — технико-экономические показатели плавки является распределение шихты и газов по окружности доменной печи [1, 2].

Опыт работы различных доменных печей показывает, что распределение материалов и газов по окружности колошника должно быть в максимальной степени равномерным. При этом степень достижения этой равномерности на каждой доменной печи зависит от условий ее работы, типа загрузочного устройства и особенно — от характера распределения шихты и газов по радиусу верхней части шахты.

Наличие взаимосвязи радиального и окружного распределения шихты и газов в шахте печи отмечается многими исследователями [3–6]. Однако объяснения этой связи существенно отличаются. Так, в работах [3, 4] указывается, что при подгрузке периферийной зоны железорудными материалами неравномерность окружного распределения по среднеквадратическому отклонению температуры периферийного газа возрастает. В отличие от этого, в работе [6] отмечается уменьшение перепада между максимальным и минимальным значениями температур периферийного газа при подгрузке этой зоны рудными материалами. В то же время в этих работах независимо друг от друга делается весьма важный вывод о том, что уменьшение разности температур по окружности печи не должно быть самоцелью, так как выравнивание температур периферийных газов не