

Методика расчета распределения шихты и газа по радиусу доменной печи

Разработана методика численного анализа распределения шихты и газа по радиусу доменной печи.

Ключевые слова: газовый поток, распределение шихты, методика расчета, математические модели, комплексный коэффициент, сечение колошника

Постановка проблемы. Высокопроизводительная и экономичная работа доменной печи в значительной мере зависит от того, как организовано движение и распределение газов и шихты в ее рабочем пространстве. Движение газов и распределение их в печи определяется множеством факторов, но главным из них является гранулометрический состав шихты. И движущийся газовый поток, в свою очередь, влияет на распределение шихты. Рациональное распределение материалов и газов в печи достигается дозированием и формированием порций шихтовых материалов, выбором режимов загрузки шихты (метод управления сверху), выбором параметров дутья (метод управления снизу). Управление сверху является основным приемом достижения максимального использования тепловой и восстановительной энергии газового потока при интенсивном ведении плавки и ровном устойчивом ходе материалов.

Анализ последних исследований и публикаций. Методологический подход, основанный на аналитическом описании газодинамического режима доменной плавки, предполагает оценку изменения перепадов давления и степени уравнивания шихты в отдельных зонах печи при изменении параметров загружаемой шихты. Определение перепада давления в элементах структуры столба шихтовых материалов необходимо для обоснования выбора и корректировки программ загрузки [1]. Такая методика рассматривает лишь изменение перепада давления на основе результатов эксплуатации радиолокационного профилемера, показавшего, что при используемых на печи программе загрузки и газодинамическом режиме плавки на поверхности засыпи после выгрузки нескольких порций образуется взвешенный слой материалов.

Задачей методики [2] является создание возможности количественного анализа процессов доменной плавки в радиальных кольцевых сечениях по высоте печи при заданном распределении материалов на колошнике. При создании методики использованы

ранее выполненные в ИЧМ разработки: модель распределения материалов на колошнике по заданным параметрам программы их загрузки; расчетная схема многозонного анализа процессов теплопередачи и восстановления по высоте доменной печи. При этом нет конкретных результатов о проведении расчетного анализа полученных данных о количестве газа по радиусу колошника доменной печи, скорости движения шихты и об изменении массы подачи с учетом основных факторов, влияющих на процесс.

Постановка задачи. В работе предложена методика расчета распределения шихты и газа по радиусу доменной печи с использованием формул на основе существующих математических моделей распределения шихты и газа.

Изложение основного материала исследования. Для более детального изучения данного вопроса поперечное сечение колошника разбили на пять равновеликих площадей (от центра до периферии) и подсчитали количество газа, потери давления в разных участках неравномерно распределенного слоя шихты. Необходимые данные для расчета представлены в табл. 1.

Количество газа в каждом участке определяется по известной формуле [3] неравномерного распределения газового потока в зависимости от сопротивления в этих участках.

Комплексный коэффициент сопротивления, учитывающий физические свойства газа и шихты, определяют по формуле

$$B_i = A \mu^n H \gamma / d_{\text{экв}}^{1,2} 2g \varepsilon^{2-n}, \quad (1)$$

где A – постоянная величина неустойчивого турбулентного режима; ε – порозность слоя шихты; $d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр шихты, м; μ – коэффициент кинематической вязкости, м²/с²; γ – насыпная масса шихтовых материалов, кг/м³; H – высота слоя шихты, м.

Поскольку для расчета количества газа по секторам необходимо применить формулу (1), а в ней

Таблица 1

Исходные данные для расчета распределения шихты и газа по радиусу доменной печи

A	n	γ , т/м ³	$d_{\text{экв}}$, м	ε	K_1	K_2	Q , м ³ /с	p	u	μ , 10 ⁻⁶ м/с ²	$V_{\text{ср}}$, м/с	τ_n , с
3,80	0,20	1,30	0,0027	0,45	60	58	47,20	1,05	0,80	12	0,0011	420

фигурируют соотношения комплексных коэффициентов, то для удобства подсчитали их сразу:

$$\left(\frac{B_1}{B_i}\right)^{0,556} = \left(\frac{K_1(1-\varepsilon_1)d_2}{K_2(1-\varepsilon_2)d_1}\right)^{0,667} \left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{0,556} \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right)^{1,667}, \quad (2)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты формы; d_1 и d_2 – средневзвешенный диаметр агломерата и окатышей, м; ε_1 и ε_2 – порозность агломерата и окатышей. Далее определяют радиальное распределение газового потока:

$$Q_p = Q(B_1 t_1 / B_j t_j)^{1/(2-n)} / \sum (B_1 t_1 / B_j t_j)^{1/(2-n)}, \quad (3)$$

где B_j – комплексный коэффициент определения физических свойств газа и шихты; j – номер участка, в котором определяется количество газа; t_i – температура газа в i -х участках колошника, °С, которую можно подсчитать по известным формулам [4]

$$t_i = t_0 \left(1 - \frac{W_m}{W_r}\right), \quad (4)$$

где W_m и W_r – водяные эквиваленты материала и газа, Вт/град; t_0 – максимальная температура шихты верхней ступени теплообмена (~850 °С). Характер теплообмена определяют соотношением водяных эквивалентов шихты [4].

Расход шихты и газа, а особенно их теплоемкости непостоянны по высоте печи, в соответствии с чем доменная печь условно делится на три ступени теплообмена: верхнюю, где $W_{ш} < W_r$, среднюю, где $W_{ш} = W_r$ и нижнюю, где $W_{ш} > W_r$. В данном случае расчет производят для верхней ступени теплообмена, поэтому $W_{ш} < W_r$ соблюдается.

Поскольку в комплексном коэффициенте B содержатся физические данные газового потока (кинематическая вязкость и удельная масса колошниково-го газа), то они зависят от температуры и давления по следующим формулам:

$$\mu_i = (0,143 + 0,0007 T_i - 0,097 P_k) \cdot 10^{-4}, \quad (5)$$

$$\gamma_i = \gamma_0 P_k \cdot 273 / T_i, \quad (6)$$

где γ_0 – плотность газа при нулевой температуре и 1 атм, кг/м³ ($\gamma_0 = 1,3$ кг/м³).

Следовательно вначале вычисляют распределение газа по формуле (1) без учета температур, затем в первом приближении измеряют температуру по отсекам, исходя из водяных эквивалентов в каждом i -м отсеке, вносят в комплексные коэффициенты B_i новые значения μ_i , γ_i и снова рассчитывают количество газа по отсекам Q_i , определяют вновь водяные эквиваленты и на их основании подсчитывают локальные температуры t_i .

Для повышения точности количества газа и температуры в отсеках эту процедуру можно повторить (метод итерации) до необходимой минимальной ошибки.

Толщину слоя шихты определяют из ее локальных скоростей V_i , во время движения шихты τ_i , следующим образом:

$$H_{сл} = V_i \tau_n, \quad (7)$$

где τ_n – время между загрузкой подач, с ($\tau_n \approx 420$ с).

Верхнюю линию загружаемого железорудного слоя определяют по положению гребня шихты, рассчитываемого по траектории ссыпавшейся шихты, и углу откоса на колошнике [5]. Нижнюю линию слоя рассчитывают на основании теории движения шихты в общем объеме доменной печи.

Зная температуру газа в каждом участке колошника, просчитывают количество газа по поперечному сечению доменной печи по формуле (3).

Таблица 2

Результаты расчета для прямой системы загрузки ААКК↓

Параметры	Единицы измерения	Кольцевые сечения колошника				
		0,2	0,4	0,6	0,8	Периферия
Q_j	м ³ /с	11,67	10,65	8,74	7,84	6,22
B_i	–	1,83	2,66	3,09	5,32	6,15
B_r/B_i	–	1,00	0,97	0,65	0,53	0,34
Q_p	м ³ /с	9,31	9,01	8,87	8,74	8,52
$Z_{ш}$	10 ⁻³ м/с	1,101	1,140	1,150	1,250	1,300
$H_{сл}$	м	0,4620	0,4805	0,4830	0,5270	0,5600
W_r	–	345681	313862	297861	163263	123950
$W_{ш}$	–	243163	218762	173455	98345,3	72492
t_i	°С	384	221	160	114	85
x	–	0,814	0,829	0,833	0,840	0,855
$tg\alpha_{от}$	град	26,07	26,16	26,24	26,41	26,67
V	м ³	2,440	2,537	2,550	2,780	2,960
$Q_{ш}$	кг	2927,32	3044,45	3060,30	3339,10	3548,20
Q_j	м ³ /с	15,84	12,76	8,03	6,18	4,06

Таблица 3

Результаты расчета для обратной системы загрузки ККАА↓

Параметры	Единицы измерения	Кольцевые сечения колошника				
		0,2	0,4	0,6	0,8	Периферия
Q_j	м ³ /с	14,28	11,79	8,78	7,36	5,61
B_i	–	1,96	2,05	3,23	4,76	6,17
B_r/B_i	–	1,000	0,990	0,844	0,523	0,320
Q_p	м ³ /с	9,24	9,00	8,94	8,81	8,71
$Z_{ш}$	10 ⁻³ м/с	1,101	1,140	1,150	1,250	1,300
$H_{сл}$	м	0,600	0,530	0,483	0,478	0,441
W_r	–	345681	313862	297861	163263	123950
$W_{ш}$	–	243163	218762	173455	98345,3	72492
t_i	°С	384	221	160	114	85
x	–	0,814	0,829	0,833	0,840	0,855
$tg\alpha_{от}$	град	26,24	26,24	26,24	26,24	26,24
V	м ³	2,120	2,200	2,210	2,410	2,565
$Q_{ш}$	кг	4055,0	3358,1	3065,1	2978,0	2598,0
Q_j	м ³ /с	16,12	12,87	8,48	6,90	5,23

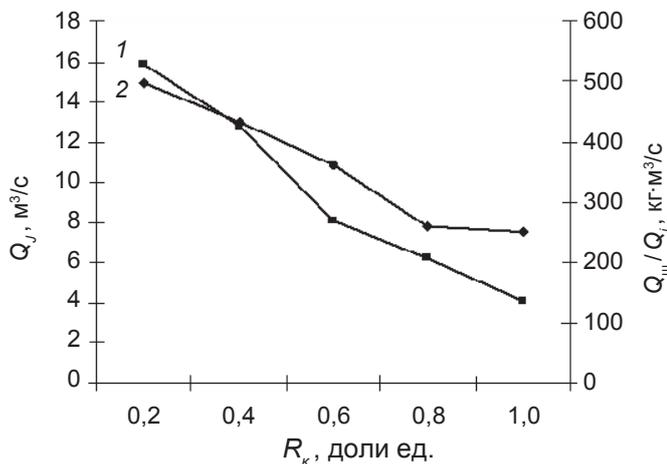


Рис. 1. Распределение по радиусу колошника для системы загрузки ААКК↓: 1 – количества газа по поперечному сечению доменной печи, Q_g , м³/с; 2 – отношения количества шихты к количеству газа в каждом сечении колошника, Q_w/Q_g , кг·м³/с

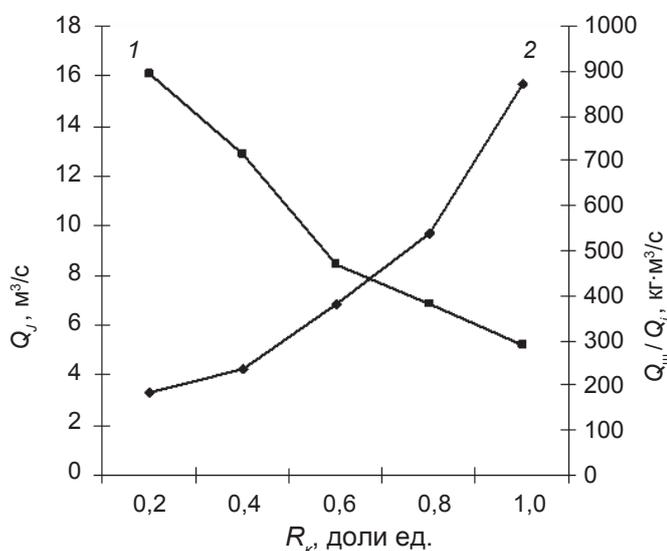


Рис. 2. Распределение по радиусу колошника для системы загрузки ККАА↓: 1 – количества газа по поперечному сечению доменной печи, Q_g , м³/с; 2 – отношения количества шихты к количеству газа в каждом сечении колошника, Q_w/Q_g , кг·м³/с

Используя комплексные коэффициенты по радиусу колошника, потери газа в неравномерно распределенном слое вычисляют по формуле:

$$\Delta P = (Q / \sum(1/B_i)^{1/(2-n)})^{(2-n)}, \quad (8)$$

Для определения расхода шихты необходимо

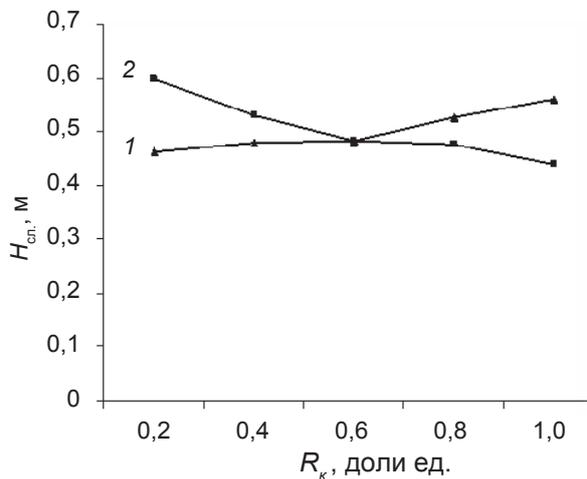


Рис. 3. Изменение толщины слоя шихты по радиусу колошника доменной печи для систем загрузки: 1 – ААКК↓; 2 – ККАА↓

знать ее объем, который вычисляют по следующей формуле:

$$V = H_i S_k, \quad (9)$$

где H_i – толщина слоя шихты, м; S_k – площадь кольца колошника (м²), которую определяют из выражения

$$S_k = \frac{\pi D_k^2}{4 \cdot 5} = \frac{3,14 \cdot 5,8^2}{20} = 5,28 \text{ м}^2, \quad (10)$$

где D_k – диаметр колошника, м (для доменной печи $V_n = 1033 \text{ м}^3$; $D_k = 5,8 \text{ м}$).

Объем известен из формулы (9), и можно узнать расход шихты в каждом сечении доменной печи:

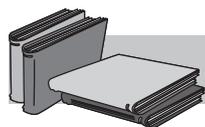
$$Q_w = V \gamma_w, \quad (11)$$

где γ_w – усредненная насыпная масса шихты, кг/м³ ($\gamma_w = 1200 \text{ кг/м}^3$).

На основании данных табл. 2 и 3 построены графики для двух систем загрузки, а именно – количество газа по поперечному сечению доменной печи, отношение количества шихты к количеству газа в каждом сечении колошника, изменение толщины слоя шихты по радиусу колошника доменной печи.

Выводы

Предлагаемая методика дает возможность определить количество шихты, газа и его температуру по кольцевым зонам колошника доменной печи. Полученные данные позволят рассчитать степень восстановления шихты и в дальнейшем определить использование газового потока для любых систем загрузки.



ЛИТЕРАТУРА

1. Методика численного анализа процессов доменной плавки в радиальных кольцевых сечениях по высоте доменной печи / И. Г. Товаровский, В. И. Большаков, А. П. Иванов, Е. А. Белашапка // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. – 2008. – № 2. – С. 49-61.
2. *Большаков В. И., Лебедь В. В., Жеребецкий А. А.* Исследование влияния распределения шихты на радиальное распределение газового потока в верхней части доменной печи // Там же. – 2005. – № 4. – С. 63-69.
3. *Справочник по гидравлическим расчетам* / Под ред. П. Г. Киселева. Изд. 4-е. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.

4. *Китаев Б. И., Ярошенко Ю. Г., Лазарев Б. Л.* Теплообмен в доменной печи. – М.: Metallurgy, 1966. – 355 с.
5. *Ковшов В. Н., Заблоцкий П. А., Карауш Д. П.* Теоретическое определение степени использования газового потока с помощью математических моделей распределения шихты и газа по радиусу колошника доменной печи // Теория и практика металлургии. – 2013. – Вып. 1-2. – С. 56-60.

Анотація

Петренко В. О., Ковшов В. М., Заблоцкий П. О., Карауш Д. П.

Методика розрахунку розподілу шихти та газу по радіусу доменної печі

Розроблено методику чисельного аналізу розподілу шихти та газу по радіусу доменної печі.

Ключові слова

газовий потік, розподіл шихти, методика розрахунку, математична модель, комплексний коефіцієнт, перетин колошника

Summary

Petrenko V. A., Kovshov V. N., Zablotskiy P. A., Karaush D. P.

Method of calculation of the charge distribution and radial gas in blast furnace

A method of numerical analysis of the distribution of the charge and radial gas in blast furnace

Keywords

gas flow, the distribution of the charge, method of calculation, mathematical model, complex factor, section of the furnace throat

Поступила 19.11.13

**Продолжается подписка
на журнал «Металл и литье Украины»
на 2014 год.**

Для того, чтобы подписаться на журнал через редакцию
необходимо направить письмо-запрос по адресу:
03680, г. Киев-142, ГСП, бул. Вернадского, 34/1, ФТИМС
или по факсу: (044) 424-35-15.

Счет-фактуру согласно запросу редакция высылает письмом или по факсу.

Стоимость одного журнала – 30 грн.
Годовая подписка – 360 грн. (для Украины).
Годовая подписка для зарубежных стран – 90 \$.