



Information about physical and chemical discharge during cast iron and steel melting is received and defined more exactly, interconnection of discharge characteristics with technological and construction parameters of furnaces is established. Comparative analysis of degree of influence of different smelting variants on the environment is given. A list of standards of cupola discharge is proposed.

Л. Е. РОВИН, ГГТУ им. П. О. Сухого,  
С. Л. РОВИН, БГПА

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

УДК 621.74

Проведенные нами натурные обследования вагранок, электродуговых и индукционных печей, а также анализ литературных источников позволили систематизировать и уточнить физико-химические характеристики выбросов, а также получить ряд регрессионных зависимостей от конструктивных и режимных параметров. На рисунке в качестве примера представлены данные по дисперсности пыли, образующейся при плавке чугуна и стали. Диаграмма позволяет оценить сравнительную опасность выбросов и уровень энергозатрат для их очистки, так как чем выше дисперсность, тем больше удельные затраты на пылеулавливание [1, 2].

где  $K$  — удельные энергозатраты;  $\alpha, \beta$  — коэффициенты, зависящие от физико-химических свойств пыли. Однако в работах [3—5] приведены данные по величинам  $\alpha$  и  $\beta$ , которые расходятся на порядок, что затрудняет использование энергетического метода при проектировании систем очистки выбросов от плавильных агрегатов.

Анализ свойств аэрозолей перечисленных агрегатов позволил уточнить значения экспоненциальных коэффициентов в формуле (1) и дополнить их параметром  $\sigma$ , характеризующим стандартное отклонение ( $\lg \sigma$ ) и дисперсию ( $\lg^2 \sigma$ ) (табл. 1, обозначения агрегатов те же, что и на рис. 1).

Как следует из рисунка, содержание высокодисперсных фракций ( $<1$  мкм) в ваграночной пыли достаточно высоко. Более того, с помощью электронной микроскопии удалось установить наличие частиц размером до 0,02—0,05 мкм, что ранее не отмечалось.

Интерес представляют зависимости объема и концентрации вредных выбросов от технологических параметров плавки. Так, для коксовых вагранок получена зависимость запыленности колониальных газов ( $Z$ , г/м<sup>3</sup>) от состава шихты:

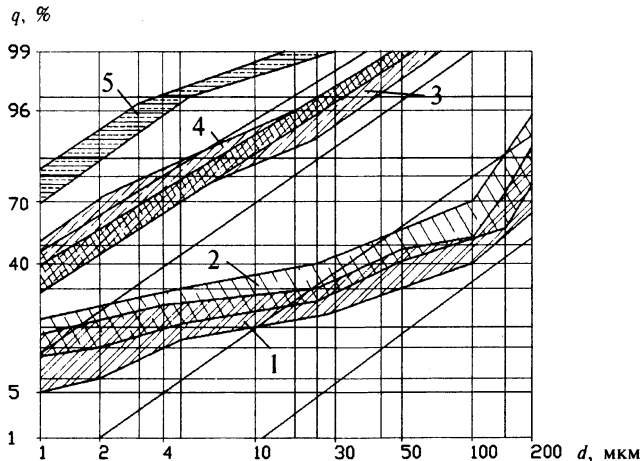
$$Z = 0,8k + 0,66n + 0,09s + 0,09c - 12,16, \quad (2)$$

где  $k$  — удельный расход кокса, %;  $n$  — частота завалок шихты, 1/ч;  $s$  — содержание стального лома, %;  $c$  — содержание чугунного лома собственного производства, %.

Запыленность возрастает с увеличением удельного расхода дутья ( $W$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин)):

$$Z = 3,88 + 0,024W$$

и снижается с увеличением производительности вагранок:



Дисперсный состав аэрозолей плавильных печей: 1 — вагранка холодного дутья; 2 — вагранка горячего дутья; 3 — электродуговая печь; 4 — индукционная печь; 5 — конвертер

В работе [3] предложена эмпирическая зависимость эффективности очистки от выбросов  $\eta$ :

$$\eta = 1 - \exp(-\alpha K^\beta), \quad (1)$$

Таблица 1.

Агрегат	1	2	3	4	5
$\alpha$	3,0—4,9	2,8—2,9	2,2—2,4	0,85—1,25	0,4—0,5
$\beta$	0,5—0,7	0,4—0,6	1,1—1,3	0,75—1,20	1,1—1,3
$\sigma$	12,5—24,0	15,2—25,5	5,1—5,9	3,0—4,2	3,3—5,2

$$Z = 10,9 - 0,3Q + 0,009Q^2.$$

Аналогичные регрессионные зависимости получены для других типов печей. В зависимости от режима плавки меняется не только объем, но и состав выбросов.

Установлено существенное различие в химическом и минералогическом составе фракций пыли. Соответственно меняются и физические свойства фракций пыли. Так, удельная плотность ваграночной ( $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>) и электропечной ( $\rho_s$ ) пыли возрастает с уменьшением среднего диаметра:

$$\begin{aligned} \rho_n &= (2,16 + 0,034 / d) \cdot 10^3, \\ \rho_s &= (1,75 + 0,01 / d) \cdot 10^3, \end{aligned} \quad (3)$$

при интегральной плотности

$$\begin{aligned} \rho_n^* &= (2,3 - 2,8) \cdot 10^3, \\ \rho_s^* &= (3,5 - 4,3) \cdot 10^3. \end{aligned}$$

Удельное электросопротивление пыли ( $R_n$ , Ом·см) равно:

$$R_n = 20420 \exp(-4,27d). \quad (4)$$

Сопротивление пыли без рассева на фракции составляет:

$$R_n^* = (10 - 10^3) \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

Магнитная восприимчивость  $\mu$  пыли фракции размером 10 и 100 мкм соответственно равна  $1,671 \cdot 10^{-2}$  и  $4,5 \cdot 10^{-4}$ .

Изменения плотности и геометрии частиц приводят к изменению фактического значения скорости витания  $v_f$ . Рассчитанные по интегральной плотности и температуре газов для фракций размером 100 и 10 мкм  $v_f$  соответственно равны 0,8 и  $4 \cdot 10^{-3}$  м/с, а действительные — 0,08 и  $1 \cdot 10^{-2}$  м/с.

Данные по скорости витания позволяют уточнить методику определения дисперсности, выбор очистных устройств и оценку их эффективности.

Состав газовой фазы аэрозолей также требует уточнений. Если по оксиду углерода (CO) данные различных источников близки (в вагранках образуется 120—180 кг/т (без дожигания), в дуговых печах — 55—105, индукционных печах — 10—15 кг/т), то по оксидам серы и особенно диоксида азота они расходятся.

Использование приборов для отдельного определения NO и NO<sub>2</sub> (типа Testo) позволило установить, что NO выбрасывается вагранками в количестве 60—150 г/т выплаваемого чугуна, в дуговых печах — 0,8—2,0 кг/т стали, индукционных печах — до 2 г/т. Диоксид NO<sub>2</sub> в выбросах практически отсутствует, так как условия для его образования неблагоприятны. Механический пересчет NO в NO<sub>2</sub>, что до настоящего времени производится при обследовании промышленных предприятий и составлении экологических паспортов, приводит к неоправданному ужесточению требований.

Для сравнения объема выбросов и экологических характеристик ваграночной и индукционной плавки рассмотрим конкретный случай использования данных печей для условий ОАО "САНТЭП" (г. Гомель). Для производства 6,2 тыс. т жидкого чугуна для санитарно-технических изделий (с эмалированием) возможно использование одной 3-тонной вагранки закрытого типа с низкоэнергоемкой системой очистки [1] (II вариант), трех тигельных индукционных печей ИЧТ-3 (III вариант) или одной ИЧТ-6 (IV вариант). В табл. 2 приведены расчетные данные по этим вариантам плавки (NO пересчитан в NO<sub>2</sub>), а в качестве

Таблица 2.

Номер варианта плавки	Загрязняющее вещество	Выделение загрязняющего вещества	
		максимальное, г/с	валовое, т/год
I	Пыль неорганическая	9,500000	71,136
	Оксид углерода	162,666667	1218,048
	Сернистый ангидрид	0,325000	2,4336
	Азота диоксид	0,016667	0,1248
II	Пыль неорганическая	0,487500	3,6504
	Оксид углерода	1,683333	12,6048
	Сернистый ангидрид	0,010000	0,07488
	Азота диоксид	0,015000	0,11232
III	Пыль неорганическая	1,033333	7,7376
	Оксид углерода	0,100000	0,7488
	Сернистый ангидрид	0,100000	0,7488
	Азота диоксид	0,050000	0,3744
IV	Пыль неорганическая	0,344444	7,7376
	Оксид углерода	0,033333	0,7488
	Сернистый ангидрид	0,033333	0,7488
	Азота диоксид	0,016667	0,3744

Таблица 3.

Производительность вагранки, т/ч	Расход отходящих газов, тыс. м <sup>3</sup> /ч	Производство жидкого металла, тыс. т/год	Концентрация вредных веществ в отходящих газах на выходе в атмосферу, мг/м <sup>3</sup> (%)				
			пыль взвешенного вещества	СО	SO <sub>2</sub>	NO	летучие органические соединения
3	6,5 (5,0–7,5)	2	250	3300	150 (0,006)	50 (0,003)	100
		3		(0,3)			
		5	200	2300	100 (0,004)	50 (0,003)	50
7	(0,2)						
5	11,5 (8–12)	5	200	2300	100 (0,004)	50 (0,003)	50
		7		(0,2)			
		10	150	1150	80 (0,003)	50 (0,003)	50
12	(0,1)						
10	21 (16–25)	8	150	1150	80 (0,003)	50 (0,003)	50
		10		(0,1)			
		12	100		50 (0,002)	50 (0,003)	50
15							
15	30 (23–35)	12	100	1150	50 (0,002)	50 (0,003)	50
		15		(0,1)			
		18	80		30 (0,003)	50 (0,003)	50
20							
20	38 (30–45)	18	80	600	30 (0,003)	50 (0,003)	50
		20		(0,05)			
		25	50		30 (0,003)	50 (0,003)	50
30							

базового — данные по выбросам из вагранки по РД 0237631.012-86 МТСХМ (I вариант).

Сравнительный анализ показывает, что валовые выбросы по II варианту, характеризующемуся эффективной системой очистки, предпочтительнее за исключением СО — вещества IV класса опасности. Вещества III и II класса (SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub>) в большем объеме выделяются при III и IV вариантах. Преимущества II варианта становятся еще очевиднее при расчете рассеивания. Выбросы из системы очистки вагранки производятся через трубу высотой 35 м, а выбросы из индукционных печей — через аспирационные системы на уровне крыши здания, примерно 10 м и частично через окна и фонари.

Объективные данные по составу и объемам выбросов позволяют выбрать адекватные средства защиты окружающей среды для каждого агрегата и принять наиболее экономичные решения при организации или реконструкции плавильных отделений литейных цехов.

Полученные сведения могут быть использованы и для разработки нормативных документов по нормированию выбросов из плавильных печей в зависимости от их типа, мощности и объема производства, как это принято в большинстве европейских стран. В качестве примера можно предложить нормативы выбросов вредных веществ из вагранок (проект) (табл. 3).

### Литература

1. Ровин Л. Е. Системы очистки выбросов плавильных агрегатов. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991.
2. Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю. и др. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981.
3. Semrow K. T. Correlation of Dust Scrubber Efficiency. J. Air Pollution Control Association. 1960. N 10.
4. Handbook of Air Pollution Technology. By. S. Calvert, H. M. Englund. Y Wiley and Sons. New York, 1984.
5. Weber T., Brocke W. Apparate und Verfahren der industriellen Gasreinigung, R. Oldenburg Verlag, Munchen-Wien, 1973.