РАЗДЕЛ VII. МЕТАЛЛУРГИЯ

Кабаков З.К., Шершнева М.В.

Физическая модель для изучения изменения профиля и толщины слоев по мере опускания засыпи шихтовых материалов

Череповецкий Государственный Университет
(Россия, Череповец)

doi: 10.18411/sr-05-12-2021-14

Аннотация

Разработана модель профиля и толщины слоев по мере опускания шихтовых материалов на колошнике доменной печи. Выбор модельных материалов использовался по теории подобия, с учетом угла естественного откоса и плотности шихтовых материалов. Физическая модель разработана в масштабе подобия 1:100. Приведены примеры результатов моделирования изменения профиля и толщины слоев по мере опускания шихты на колошнике доменной печи.

Ключевые слова: доменная печь, профиль, толщина, колошник, шихта.

В результате анализа литературных данных установлено, что на формирование слоя засыпи шихтовых материалов значительно влияет множество параметров и факторов, такие как: сегрегация кусков шихты, углы естественного откоса материалов, конфигурация слоя материала, восходящий газовый поток, глубина, диаметр и объем осевой воронки поверхности засыпи и ее смещение относительно оси печи, предыдущий слой шихты и скорость ее опускания, правильно подобранная программа загрузки, а именно угловые положения распределительного лотка, распределение объемов шихтовых материалов и скорость выгрузки материалов на колошник [1], [2].

Одновременность и взаимовлияние протекания данных явлений усложняют анализ при исследовании влияния программ загрузки на формирования профиля засыпи и толщину слоев шихтовых материалов, а так же на изменение динамики профиля засыпи, следовательно затрудняют определение зависимостей [4], [5]. В связи с этим возникает необходимость разработать модель ориентированную на исследование изменения динамики профиля слоев шихтовых материалов [3].

Исходные данные для физического моделирования

Для решения задачи была разработана методика исследований, которая ориентирована на исследование изменения динамики профиля слоев шихтовых материалов состоящих из ЖРЧ и кокса. В основе этой методики была взята колошник доменной печи полезным объемом 5500 м³. На основе этих данных была смоделирована конусная физическая модель колошника.

Обоснование параметров и конструкции конусной физической модели

При построении физической модели выбран её масштаб подобия по отношению к объекту, который равен 1:100. В качестве модельных материалов по теории подобия, с учетом угла естественного откоса и плотности шихтовых материалов был выбран для ЖРЧ ($\rho=1800 \text{ кг/м}^3$; $\alpha=36^\circ - 43^\circ$) – песок ($\rho=1700 \text{ кг/м}^3$; $\alpha=30^\circ - 36^\circ$), для кокса ($\rho=500 \text{ кг/м}^3$; $\alpha=21^\circ - 28^\circ$) – рис ($\rho=620 \text{ кг/м}^3$; $\alpha=27^\circ - 48^\circ$). Пересчитаем данные объекта на данные модели с учетом подстановки масштаба (таблица 1).

Модель состоит из конусной и цилиндрической частей.

Для определения количества модельного вещества, рассчитаем объем конусной части модели по формуле (1):

$$V_k = \left(\frac{1}{3} \pi h (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) \right) / 2 \quad (1)$$

где r_1 - радиус верхнего основания, м; r_2 - радиус нижнего основания, м; h - высота усеченного конуса, м.

Произведем расчет объема цилиндрической части модели по формуле (2):

$$V_{ц} = (\pi \cdot r_2^2 \cdot h) / 2 \quad (2)$$

где h_2 - высота цилиндра, м.

Пересчитаем данные объекта на данные модели с учетом масштаба геометрического подобия.

Масса ЖРЧ (m_M) для модели рассчитана по формуле (3):

$$m_M = V_M \cdot \rho_M; \text{ кг}, \quad (3)$$

где V_M – объем ЖРЧ для модели, м³; ρ_M – плотность песка, кг/м³ (1700 кг/м³).

Основные характеристики выбранной модели приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные геометрические размеры объекта и модели

Параметр	Объект	Модель
Радиус сектора, м	5,6	0,056
Размер ЖРЧ / песчинок песок, мм	10,0	1,0
Масса ЖРЧ / песка, кг	120 000,0	10,2
Объем ЖРЧ / песка, литры	60 000,0	6
Высота модели, м	6,0	0,6
Нижний радиус сектора, м	1,4	0,14
Площадь верхнего полукольца, м ²	98,5	0,00985
Площадь нижнего полукольца, м ²	213,8	0,02138

Для определения высоты одной подачи надо знать площадь конусной части модели, для этого рассчитали площадь по формуле (4):

$$S = \pi (l r_1 + l r_2 + r_2^2 + r_1^2) \quad (4)$$

где r_1 - радиус верхнего основания, м; r_2 - радиус нижнего основания, м; l - образующая усеченного конуса, м.

Зная объемы V_i одной подачи, выгружаемой в конусную модель и площадь усеченного конуса S , можно найти высоту засыпи при допущении о равномерном распределении материала в ней. Результат расчета производится по формуле (5):

$$h_i = \frac{V_i}{S} \quad (5)$$

Данные для исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2

Данные для конусной физической модели

Параметры модели	Опыт 1	Опыт 2
Масса песка для подачи, кг	0,425	0,2125
Объем песка, м ³ (при $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$)	0,25	0,125
Высота песка, см	2,1	1,05
Масса риса для подачи, кг	0,223	0,112
Объем риса, м ³ (при $\rho = 620 \text{ кг/м}^3$)	0,36	0,18
Высота риса, см	3,0	1,5
Площадь модели, м ²	0,121	

Схема конусной модели для исследования приведена на рисунке 1.

Рисунок 1. Схема модели в виде конуса для исследования динамики профиля слоев (М 1:100), где 1 - конусная часть; 2 - ложное дно; 3 - цилиндрическая часть для удаления шихты из колошника; 4 - штуцер для перемещения ложного дна

Данная модель изготовлена: передняя конусная часть из оргстекла, а нижняя цилиндрическая часть из фанеры толщиной 8 мм для придания прочностных характеристик модели и для крепления верхней и задней частей, задняя конусная часть из полиэтилентерефталата (ПЭТ); ложное дно так же изготовлено из фанеры, к которому крепится деревянный штуцер, для перемещения дна вверх и вниз с фиксацией положения.

Пример результатов эксперимента приведен на рисунках 2,3. Система загрузки приведена в следующем порядке $A \downarrow K \downarrow A \downarrow K \downarrow$

Рисунок 2. Засыпь песка и риса в конусную модель и образование стационара (опыт 1). Система загрузки $A \downarrow K \downarrow A \downarrow K \downarrow$, где A - песок (ЖРЧ, цвет - светло-коричневый); K - рис (кокс, цвет - белый)

Рисунок 3. Засыпь песка и риста в конусную модель и образование стационара (опыт 2). Система загрузки $A \setminus K \setminus A \setminus K \setminus$, где A - песок (ЖРЧ, цвет - светло-коричневый); K - риста (кокс, цвет - белый)

Фиксация результатов проводилась перпендикулярно профилю засыпи на расстоянии 100 см.

На рисунках 2,3 приведены результаты обработки фотографии процесса изменения профиля и толщины слоев по мере опускания засыпи шихтовых материалов. На основе результатов физического моделирования на конусной модели и неравномерности профиля слоя установлено следующее:

- наибольший переток наблюдается при значительной разнице плотности и размеров материалов соседних слоев;
- в процессе опускания шихты толщина слоя и неравномерность уменьшается и происходит смешивание материалов в слое.

1. Большаков В.И. Теория и практика загрузки доменных печей / В.И. Большаков – М.: Металлургия, 1990. – 256 с.
2. Ефименко Г.Г. Металлургия чугуна / Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.Е. Левченко – Киев: Вища школа, 1988. – 350 с.
3. Агеев Н.Г. Моделирование процессов и объектов в металлургии / Н.Г. Агеев - Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2016.— 108 с.
4. Большаков В. И. Исследование особенностей распределения шихтовых материалов в доменной печи / В.И. Большаков, Н.А. Гладков, Ф.М. Шутылев //Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 6. С. 7–10.
5. Сибатуллин С. К. О действии соотношения углов откоса загружаемых материалов на их распределение в колошниковом пространстве доменной печи / С. К. Сибатуллин, Д. Н. Гущин, В. Ю. Тимофеев, А. И. Филиппов, М. И. Сибатуллина // Теория и технология металлургического производства. 2015. № 1. С. 30–35.