

до 53,4 % (среднее с гранулами), т. е. на 1,6 %, что увеличивает производительность доменных печей на $1,6 \cdot 2 = 3,2$ % и снижает удельный расход кокса на $1,6 \cdot 1 = 1,6$ % [3, стр. 222].

Выводы

1. Ввод в состав гранулированных отходов коксовой мелочи значительно улучшает показатели агломерационного и доменного производства за счёт того, что:

- уменьшается или исключается ввод в состав агломерационной шихты твердого топлива;
- увеличивается количество остаточного углерода в агломерате;
- увеличивается выход годного агломерата;
- частично или полностью выводится из состава агломерационной шихты известняк;
- снижается степень окисленности агломерата.

2. Ввод в состав агломерационной шихты гранулированных отходов металлургического производства снижает содержание в ней железной руды, увеличивает долю комкующей части шихты, улуч-

шает гранулометрический состав окомкованной шихты, что положительно влияет на её газопроницаемость.

3. Увеличение содержания железа и FeO в агломерате положительно влияет на технико-экономические показатели доменной плавки: увеличивается производительность доменных печей, снижается удельный расход кокса на выплавку чугуна.

Библиографический список

1. Рациональное использование шламов в составе агломерационной шихты / В. П. Русских, В. Б. Семакова, Д. Е. Шапиро-Никитин и др. // Металлург. и горноруд. пром-сть. - 2013. - № 5. - С. 3-6.
2. Теоретические основы производства окомкованного сырья / Д. А. Ковалев, Н. Д. Ванюкова, В. П. Иващенко и др. – Днепропетровск.: ИМА-прес, 2011. - 476 с.
3. Е. Ф. Вегман. Краткий справочник доменщика. – Москва: Металлургия. - 1981. - 238 с.

Поступила 06.02.2014

УДК 669.162.1

Мных А. С. /к. т. н./,
Пазюк Ю. М. /к. т. н./

Запорожская государственная инженерная академия

Ашихмин В. Д.
ОАО «Запорожсталь»

Наука

Моделирование распределения частиц полидисперсной шихты по высоте слоя на аглоленте

Предложено для повышения точности моделирования закономерностей распределения фракций загружаемой агломерационной шихты по высоте слоя использование дополнительно условия сохранения баланса грансостава сыпучего материала до и после его укладки на спекательные тележки. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: сегрегация, шихта, загрузочный лоток, барабанный питатель

It has been suggested for increasing accuracy of regularities modeling for fractions distribution of loaded sintering according to the layer height to use additional conditions for preserving of granulometric composition of bulk material balance before and after laying it on the sintering machine truck.

Keywords: segregation, charge, charging trough, drum-type feeder

Введение

Агломерационный процесс является основным источником сырья для доменного производства. От качества получаемого агломерата зависит дальнейшая себестоимость производимой металлургической продукции. Загрузка шихты на аглоленту является одним из основных технологических процессов определяющих получение качественного агломерата. Понимание закономерностей распределения фракций шихты по высоте слоя, возможность моделирования и дальнейшего управления рассматриваемым процессом позволит повысить качество получаемого агломерата.

В работах [1, 2] проведено исследование факто-

ров влияющих на разделение классов крупности шихты по высоте слоя, определены реальные значения коэффициентов трения различных фракций загружаемого материала для конкретных условий работы технологического оборудования. Однако полученные зависимости $h_i = f(d_i)$, $f_2' = f(d_i)$ обладают определенными недостатками в связи с трудоемкостью экспериментов и ограниченностью использования полученных результатов условиями загрузки, при которых проводились исследования. При изменении условий формирования слоя изменятся значения коэффициентов трения качения f_1 и скольжения f_2 фракций сыпучего материала.

Постановка задачи

В работе для повышения точности моделирования закономерностей распределения фракций загружаемого материала по высоте слоя необходимо использовать дополнительные условия, в частности условия сохранения баланса гранулометрического состава сыпучего материала [3] загружаемого на паллеты до и после его укладки на спекательные тележки.

Изложение результатов исследования

При автоматическом анализе фракционного состава сыпучих материалов в производственных условиях обычно контролируют средний диаметр частиц материала [4]. Его связь с содержанием отдельных фракций сыпучей массы характеризуется следующим уравнением:

$$d_{cp} = \sum_{i=1}^n d_i \Phi_i, \quad (1)$$

где d_i – средний диаметр частиц i -й фракции материала, мм; Φ_i – содержание i -й фракции в массе сыпучего материала, %; n – количество фракций.

Одно и то же значение d_{cp} может быть получено при различных функциях распределения частиц полидисперсного материала. С целью исследования механизма разделения полидисперсной массы проведены эксперименты с использованием ситового анализа для условий аглофабрики комбината «Запорожсталь».

На основе материального баланса составляющих сыпучую массу фракций, можно записать:

$$\sum_{i=1}^n d_i \Phi_i = d_{cp} \Phi_{\Sigma}, \quad (2)$$

где Φ_{Σ} – объем пробы исследуемого материала $\Phi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Phi_i$.

Обозначим общее количество материала как Φ_{cp0} , средний диаметр частиц как d_{cp0} , процесс распада материала схематически представлен ниже.

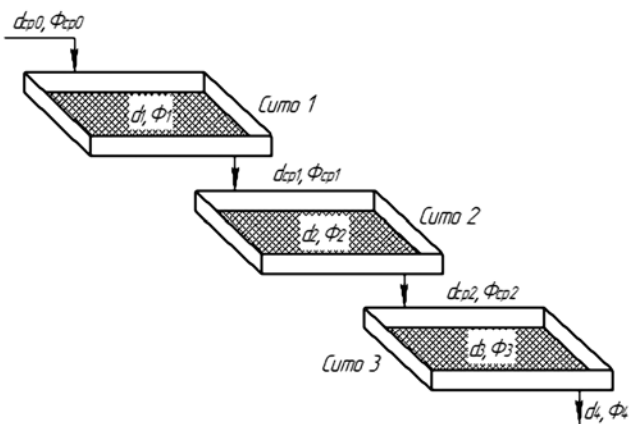


Рис. 1. Схема распада полидисперсного материала на четыре фракции

Экспериментально полученное содержание фракций в агломерационной шихте для условий аглофабрики комбината «Запорожсталь» приведено в табл. 1.

Таблица. Фракционный состав шихты на аглома- шине № 2

Место отбора	Горизонт слоя, м	Фракционный состав шихты, %					Средний диаметр, мм
		+10	+8-10	+5-8	+3-5	-3	
Правая сторона	0,1	3,77	1,89	8,14	17,57	68,63	3,74
	0,2	4,26	6,04	15,81	20,43	52,96	4,16
	0,3	5,08	3,88	15,84	21,61	53,59	4,59
	0,4	19,56	7,25	17,28	16,46	39,45	5,37
Середина слоя	0,1	3,52	1,32	10,28	30,54	54,33	3,61
	0,2	5,96	4,09	16,99	33,99	39,00	4,34
	0,3	8,18	4,73	19,34	29,46	38,29	4,72
	0,4	12,02	9,92	23,52	23,12	31,42	5,35
Левая сторона	0,1	2,69	1,79	10,27	23,61	61,63	4,63
	0,2	7,05	3,48	16,99	24,38	48,09	4,49
	0,3	6,19	4,67	19,09	24,63	45,41	5,09
	0,4	13,04	7,84	20,64	22,04	36,44	6,24

Как показали результаты анализа экспериментально полученных данных, в процессе формирования слоя полидисперсного сыпучего материала на аглоленте величины ударных и истирающих нагрузок на отдельные частицы незначительны, поэтому при загрузке шихты на паллеты изменение ее фракционного состава не наблюдается.

Фракционный состав материала поступающего в загрузочный узел агломашины можно описать следующей системой уравнений:

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \dots + \Phi_n = \Phi_{\Sigma},$$

$$d_1 \Phi_1 + d_2 \Phi_2 + \dots + d_n \Phi_n = d_{cp} \Phi_{\Sigma}. \quad (3)$$

В процессе загрузки шихты на спекательные тележки произойдут структурные изменения фракционного состава материала в результате его частичного разрушения. После моделирования структурных изменений система уравнений (3) примет вид:

$$\Phi'_1 + \Phi'_2 + \dots + \Phi'_n = \Phi'_{\Sigma},$$

$$d_1 \Phi'_1 + d_2 \Phi'_2 + \dots + d_n \Phi'_n = d_{cp} \Phi'_{\Sigma}. \quad (4)$$

где $\Phi'_1, \Phi'_2, \Phi'_3$ и т. д. - содержание разных фракций в сыпучем материале после структурных изменений, %.

Факторы не учтенные при расчете структуры

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

сформированного слоя вызовут появление погрешности моделирования $\Delta\Phi_i = \Phi_i + \Phi'_i$. Знак и величина $\Delta\Phi_i$ характеризуют изменение закономерности распределения i -й фракции по высоте формирующегося слоя. Принимая, что изменение количества i -й фракции по высоте слоя материала имеет монотонный характер, можем рассчитать реальные значения Φ_i .

Задача определения фракционного состава может быть решена аналитически только для двухкомпонентной смеси. Исходные данные для расчета параметров 2-х зонного слоя имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \Phi_{11} + \Phi_{12} &= \Phi_1, \\ \Phi_{21} + \Phi_{22} &= \Phi_2, \\ \Phi_{11} + \Phi_{21} &= \Phi_{1\Sigma}, \\ \Phi_{12} + \Phi_{22} &= \Phi_{2\Sigma}, \\ d_1\Phi_{11} + d_2\Phi_{21} &= d_{cp1}\Phi_{1\Sigma}, \\ d_1\Phi_{12} + d_2\Phi_{22} &= d_{cp2}\Phi_{2\Sigma}. \end{aligned}$$

где Φ_{11} – содержание 1-й фракции в 1-й зоне, %; Φ_{21} – содержание 2-й фракции во 2-й зоне, %; d_{cp1} – средний диаметр материала в 1-й зоне, мм.

Исходным условием формирования слоя полидисперсного материала под действием гравитационных сил является $d_{cp1} < d_{cp2}$. Так же можно записать условие равенства суммы средних диаметров частиц шихты на заданных горизонтах слоя и $d_{cp\Sigma}$ всей сыпучей массы:

$$d_{cp1}\Phi_{1\Sigma} + d_{cp2}\Phi_{2\Sigma} = d_{cp\Sigma}\Phi_{\Sigma}.$$

Принимая, что $\Phi_{1\Sigma} = \Phi_{2\Sigma} = \Phi_{\Sigma}/2$, получаем $d_{cp1} + d_{cp2} = 2d_{cp\Sigma}$

Проанализировав указанные соотношения получаем следующие ситуации, характерные для реальных условий формирования слоя полидисперсного материала:

1. $d_{cp1} = d_{cp2} = d_{cp\Sigma}$ – сегрегация отсутствует;
2. $d_{cp1} + d_{cp2} < 2d_{cp\Sigma}$ – пониженная сегрегация;
3. $d_{cp1} + d_{cp2} > 2d_{cp\Sigma}$ – повышенная сегрегация.

Значения d''_{cpi} необходимые для поиска реальных условий сегрегации выбираются на основе сравнения результатов расчетов $d'_{cp\Sigma}$ и исходных данных $d_{cp\Sigma}$. Для случая $d_{cp\Sigma} > d'_{cp\Sigma}$ необходимо уменьшить величину d'_{cp2} и увеличить d'_{cp1} по сравнению с расчетными значениями. Когда $d_{cp\Sigma} < d'_{cp\Sigma}$ следует увеличить d'_{cp2} и уменьшить d'_{cp1} .

Скорректированные значения d''_{cpi} выбираются с учетом условий:

$$\begin{aligned} d'_{cp1} + d'_{cp2} &= 2d_{cp\Sigma}, \\ d_1 < d'_{cp1} < d_{cp\Sigma}, \\ d_2 < d'_{cp2} < d_{cp\Sigma}. \end{aligned}$$

Далее производим для каждой зоны на основе выбранных значений d''_{cp1} и d''_{cp2} проверку их соответствия исходным данным на основе зависимостей:

$$\begin{aligned} \Phi'_{11} + \Phi'_{21} &= \Phi_{1\Sigma}, \\ d_1\Phi'_{11} + d_2\Phi'_{21} &= d''_{cp1}\Phi_{1\Sigma}, \end{aligned} \quad (5)$$

Из (5) определяем значения Φ'_{11} и Φ'_{21} :

$$\Phi'_{11} = \Phi_{1\Sigma} - \Phi'_{21}$$

Отсюда

$$d_1(\Phi_{1\Sigma} - \Phi'_{21}) + d_2\Phi'_{21} = d''_{cp1}\Phi_{1\Sigma}.$$

Таким образом,

$$\Phi'_{21} = \frac{\Phi_{1\Sigma}(d''_{cp1} - d_1)}{d_2 - d_1}.$$

Для второго подслоя значения Φ_{ij} определяются таким же образом:

$$\Phi'_{12} = \Phi_{2\Sigma} - \Phi'_{22},$$

$$\Phi'_{22} = \frac{\Phi_{2\Sigma}(d''_{cp2} - d_1)}{d_2 - d_1}.$$

Рассчитав значения Φ_{ij} , производим проверку правильности выбранных значений d''_{cp1} и d''_{cp2} . При их адекватности исходным данным сумма отдельных фракций в слое будет соответствовать их содержанию в исходном материале.

$$\Phi'_{11} + \Phi'_{12} = \Phi_1,$$

$$\Phi'_{21} + \Phi'_{22} = \Phi_2,$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_{\Sigma},$$

В случае невыполнения указанного условия, необходимо изменить значения d''_{cp1} и d''_{cp2} в заданном направлении и повторно выполнить расчет и проверку их адекватности. Указанная последовательность действий позволяет в пошаговом режиме расчета определить значения Φ'_{11} , Φ'_{12} , Φ'_{21} , Φ'_{22} соответствующие исходным характеристикам сыпучего материала.

Следующим этапом расчетов является определение средних диаметров фракций шихты отдельных горизонтов сыпучей массы внутри каждой из зон слоя. Исходя из (5) запишем:

$$d_1\Phi'_{11} = d_{cp1}\Phi_{1\Sigma} - d_2\Phi'_{12}. \quad (6)$$

Принимая, что

$$d_{cp1} = \frac{d_1 + d_2}{2}.$$

Тогда

$$d_2 = 2d_{cp1} - d_1, \quad (7)$$

После преобразований (6) запишем в виде:

$$d_1 = \frac{d_{cp1} \Phi_{1\Sigma} - 2d_{cp1} \Phi_{21}}{\Phi_{11} - \Phi_{21}}$$

Значения d_2 находятся из уравнения (7). Аналогично рассчитываются средние диаметры фракций 2-й зоны слоя. В результате расчетным путем определяется закономерность распределения d_{cp1} по высоте слоя, соответствующая реальным условиям его формирования.

На рис. 2, 3 приведены результаты экспериментальных исследований и моделирования сегрегации шихты в слое 0,4 м.

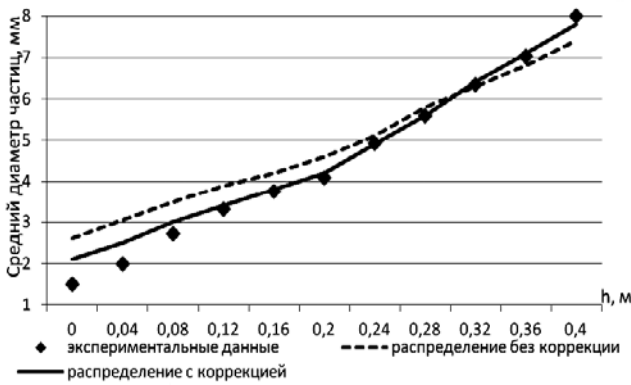


Рис. 2. Распределение среднего диаметра частиц по высоте слоя на агломашине № 4 при загрузке барабанным питателем

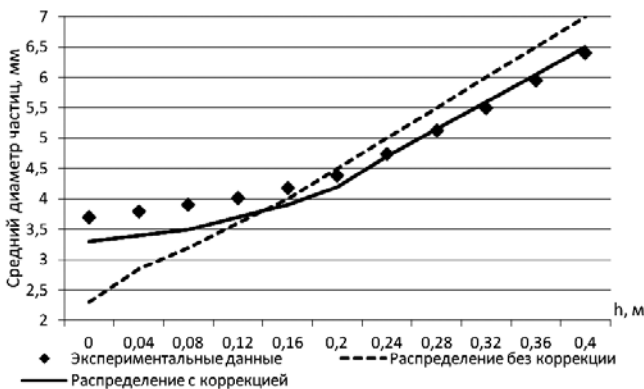


Рис. 3. Распределение среднего диаметра частиц по высоте слоя на агломашине № 2 при загрузке вибрационным питателем.

Рассчитанное среднеквадратическое отклонение составило: 4,2466 и 0,7661 для загрузки барабанным питателем без применения коррекции и с коррекцией соответственно, а так же 4,6752 и 0,7207 для условий загрузки вибрационным питателем.

Выводы

Полученные в работе результаты показывают, что введение коррекции, учитывающей влияние физико-механических свойств сыпучего материала позволяет существенно повысить точность моделирования процесса сегрегации агломерационной шихты. Предложенная модель обладает достаточной точностью для использования в составе АСУ процессом загрузки агломашин с целью обеспечения необходимой сегрегации шихты по высоте слоя на аглоленте, что, в свою очередь, создает предпосылки для получения оптимального распределения химических составляющих в массе материала, сокращения объемов использования топлива и повышения качества получаемого агломерата.

Библиографический список

1. Мних А. С. Дослідження факторів, що впливають на формування шару полідисперсних залізородних матеріалів. // *Металургія (наукові праці Запорізької державної інженерної академії)*. – 2014. – Вип. 1(31). – С. 21-25.
2. Мних А. С. К вопросу исследования механизма формирования слоя полидисперсной агломерационной шихты. // *Металургія (наукові праці Запорізької державної інженерної академії)*. – 2014. – Вип. 2(32). – С. 34-39.
3. Пазюк М. Ю. Моделирование закономерностей распределения фракций агломерационной шихты по высоте слоя. // *Известия вузов. Черная металлургия*. –1987. – № 4. – С. 142-145.
4. Марюта А. Н. Автоматический контроль гранулометрического состава сыпучих материалов / А. Н. Марюта, Ю. Г. Качан // Киев – Донецк, издательское объединение «Вища школа», 1977. – 120 с.

Поступила 12.03.2014

