

УДК 669.053.2.66.047.791

**Г.А. Кокаева, Н.М. Комков, Н.А. Куленова**  
ВКГТУ им. Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ГРАНУЛЯЦИИ В ПЕЧАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Обезвоживание термочувствительных материалов в кипящем слое представляет собой определенные трудности, связанные с повышенной чувствительностью данных материалов к высокой температуре, под воздействием которой они легко изменяют свои физические и химические свойства, расплавляются, спекаются, разлагаются и воспламеняются, что приводит к отрицательным результатам при дальнейшей металлургической переработке и потерям ценных составляющих вышеуказанных промпродуктов и низкосортных цинковых концентратов.

В настоящее время известно несколько приемов обезвоживания термочувствительных материалов в кипящем слое. Так, во избежание нежелательных последствий обезвоживание термочувствительных материалов проводят теплоносителем, имеющим температуру ниже термодеструкции материала, что приводит к значительному снижению производительности аппарата кипящего слоя.

В литературе имеются сведения по сушке термочувствительных материалов на слое инертных частиц [1].

Но в этом случае высушенный материал будет неизбежно засорен инертным материалом кипящего слоя, что приведет к ухудшению его качества и затруднит его дальнейшую металлургическую переработку. Кроме того, при сушке пастообразных материалов, растворов и суспензий во взвешенном слое инертных тел процесс грануляции является промежуточной стадией. Материал образует на поверхности инертных частиц сухие оболочки, которые раскалываются при соударении инертных тел и выносятся отработанным теплоносителем в пылеулавливающую аппаратуру.

Высушенный материал на инертном слое находится в виде пыли, что увеличивает его потери при транспортировке и затруднения при переработке, а также ухудшает условия труда работающих. Поэтому исследования проводились с целью изыскания возможности обезвоживания термочувствительных материалов в кипящем слое без использования инертного материала и с температурой теплоносителя, превышающей температуру термодеструкции высушиваемого материала, с получением высушенного продукта в виде гранул.

Для исследования использовали печь площадью подины  $2,4 \text{ м}^2$ . Исследования проводили в четырех режимах, отличающихся друг от друга количеством дутья от  $7776 \text{ нм}^3/\text{ч}$  до  $15552 \text{ нм}^3/\text{ч}$ . Режимы отличались также температурой кипящего слоя от  $553 \text{ К}$  до  $383 \text{ К}$ , плотностью пульпы от  $1,83$  до  $1,74 \text{ г/см}^3$ , содержанием твердого в пульпе от  $61$  до  $55 \%$ .

В первую очередь определяли характер движения материала в каждом режиме, для этого использовали меченые частицы граншлака диаметром  $3 \text{ мм}$ , которым заполняли печь, и затем при проведении упарки в каждом режиме отбирались пробы продуктов сушки и определялось содержание оксида кремния, который присутствует в незначительном количестве в пульпе упариваемого материала.

Это дает возможность определить количественное содержание в пробе гранул шлака и скорость замещения шлака в кипящем слое, его динамику, и определить характер движе-

ния материала в кипящем слое и скорость перемешивания материала кипящего слоя в каждом режиме.

Как видно из материалов (см. табл.), скорость перемешивания частиц по всему слою равномерна, что соответствует нормальному распределению меченых частиц по слою и может быть удовлетворительно описана следующим уравнением [2,3]:

$$\rho_n(\tau) = 1/\bar{\tau} \exp(-\tau/\bar{\tau}), \quad (1)$$

где  $\rho_n(\tau)$  – плотность распределения твердой фазы в кипящем слое в зависимости от времени пребывания, соответствующая идеальному перемешиванию частиц (закон Гаусса).

Для успешного проведения упарки термочувствительных материалов в кипящем слое необходимо условие полного перемешивания частиц по всему слою. Производительность печи кипящего слоя зависит от интенсивности теплообмена, а интенсивность теплообмена зависит от интенсивности перемешивания. В реальных аппаратах кипящего слоя, при упарке и грануляции из пульпы, одновременно находится большое число частиц, непрерывно изменяющих свои размеры, движущихся с различными скоростями в переменном температурном поле.

У газораспределительной решетки они обдуваются струей горячего газа, поднимаясь вверх, несколько охлаждаются, а наверху слоя орошаются сравнительно холодными растворами. Постепенное наращивание слоя сухого материала на поверхности частиц происходит за несколько циклов при интенсивном одновременном их перемешивании. Таким образом, условия в кипящем слое можно считать одинаковыми для всех частиц, что позволяет в математическое описание вводить усредненные характеристики скорости роста гранул.

Воспользуемся такой возможностью и определим среднюю скорость истирания гранул в нестационарном режиме, т.е. режиме, при котором отсутствует рост гранул, а имеет место только измельчение, так как питание печи пульпой прекращается. По увеличению пылевой фракции устанавливаем скорость измельчения. Для этого вначале определяем количество образующейся каждую секунду пыли:

$$Q = \frac{\Delta\Pi \cdot m_{KC}}{100}, \quad (2)$$

где  $\Delta\Pi$  – изменение доли пылевой фракции, %;

$m_{KC}$  – масса кипящего слоя, кг.

Зная количество образующейся каждую секунду пыли, мы можем определить время истирания гранул:

$$\tau = \frac{m_{KC}}{Q \cdot 3600}. \quad (3)$$

Зная время истирания гранул, можно определить скорость истирания:

$$V_n = \frac{d_{\text{э}}}{\tau}. \quad (4)$$

Определяем, во сколько раз скорость роста гранул опережает скорость истирания. Для этого узнаем, сколько раз полностью обносится слой при нормальном питании печи пульпой за время, равное времени истирания:

$$V_p = \frac{g \cdot \tau \cdot V_n}{m_{KC}}, \quad (5)$$

где  $g$  – производительность печи КС по высушенному продукту, кг/ч.

Зная скорость истирания и скорость увеличения размера гранул, можно определить

результатирующую скорость, которая и является истинной скоростью роста гранул:

$$V = V_p - V_n. \quad (6)$$

Полученные данные сводим в табл. и строим графики зависимости скорости дутья от отклонения перемешивания материала слоя от закона Гаусса, от реального времени пребывания материала в печи, от производительности печи (рис. 1-3).

*Технологические параметры грануляции из пульпы в печи кипящего слоя*

Наименование параметров	Режимы			
	1	2	3	4
Время истирания гранул, ч	36,2	20,3	8,8	5,7
Эквивалентный диаметр гранул, м·10 <sup>-3</sup>	10	7,5	5	3
Высота разгрузочного порога, м	1,8	1,6	1,4	1,2
Плотность материала кипящего слоя, кг/м <sup>3</sup>	4500	4300	4000	3800
Среднее время пребывания материала кипящего слоя в печи, ч	17,02	10,15	4,74	2,1
Производительность печи, кг/ч	470	650	1140	1280
Количество высушенного вещества, кг	17023,4	13182	9986,4	7296
Скорость истирания гранул, м/ч·10 <sup>-5</sup>	27,62	36,98	57,08	52,63
Скорость роста по отношению к скорости истирания	2,13	2,0	1,86	2,7
Скорость роста гранул, м/ч·10 <sup>-5</sup>	58,83	73,96	106,17	142,1
Реальная скорость роста гранул, м/ч·10 <sup>-5</sup>	31,21	36,98	49,09	89,47
Скорость увеличения пылевой фракции, %/с·10 <sup>-5</sup>	76,7	137	317	489
Масса кипящего слоя, кг	8000	6600	5400	2700
Скорость дутья, м/с	0,9	1,2	1,5	1,8
Отношение скорости дутья к массе кипящего слоя, м/(с·кг)·10 <sup>-5</sup>	4,53	7,27	11,16	16,45
Реальное время пребывания материала кипящего слоя в печи, ч.	32,04	20,28	10,18	3,35
Количество образующейся пылевой фракции, кг/с·10 <sup>-2</sup>	6,14	9,04	17,12	13,2
Отклонение расчетного времени пребывания материала кипящего слоя от реального, %	46,88	49,95	53,44	37,31

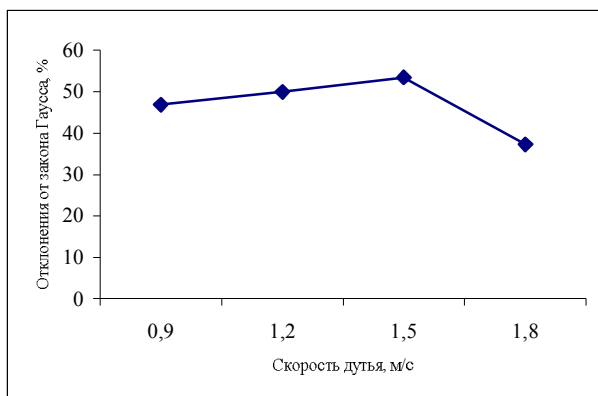


Рисунок 1 – Зависимость скорости дутья от отклонения перемешивания материала слоя от закона Гаусса

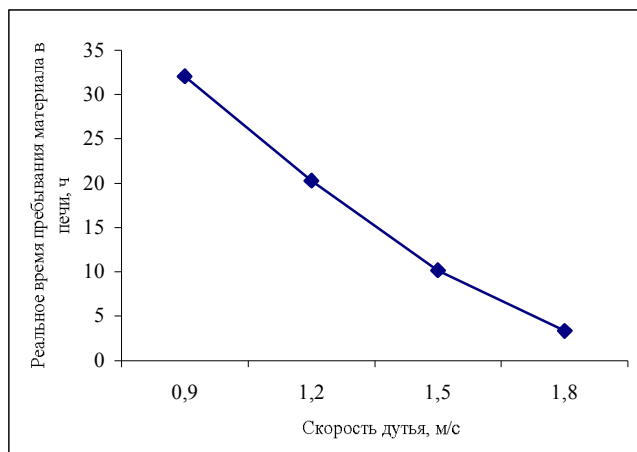


Рисунок 2 – Зависимость реального времени пребывания материала в печи от скорости дутья

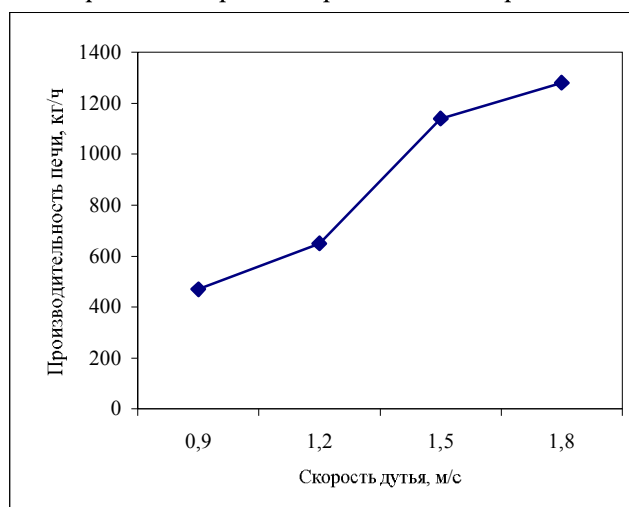


Рисунок 3 – Зависимость производительности печи от скорости дутья

Таким образом, зная скорость роста гранул, можно определить время их пребывания в кипящем слое. Сравнивая реальное время пребывания материала в печи кипящего слоя, можно определить степень отклонения реального времени пребывания материала в печи от идеального, выражаемого зависимостью (1), и тем самым оценить характер перемешивания материала в кипящем слое, что является важнейшим условием для усовершенствования технологических процессов при грануляции термочувствительных материалов и промпродуктов из пульпы.

## Список литературы

1. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. – М.: Химия, 1970. – 432 с.
2. Романков П.Г. Сушка в кипящем слое / П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская. – М.-Л.: Химия, 1964. – 288 с.
3. Романков П.Г. Сушка во взвешенном состоянии / П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.

Получено 20.05.10