

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СТЕКОЛЬНОЙ ШИХТЫ ЗА СЧЕТ БОЛЕЕ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ

При подготовке силикатного, в частности стекольного, сырья в смесителях создаются условия для перехода от первоначально неравномерного, порционного распределения порошкообразных сырьевых материалов к их достаточно усредненному расположению после цикла работы смесителя. Подвижность частиц при механическом перемешивании создает условия для проявления адгезионных способностей парных контактов. Для сухой шихты силы молекулярного притяжения твердых частиц сырьевых компонентов настолько малы, что они не вызывают агрегацию компонентов.

Непрерывно соприкасающиеся частицы сухой шихты лишь после увлажнения начинают собираться в конгломераты. Смеситель с малым динамическим воздействием позволяет фиксировать капиллярно образованные контакты. Разрушить жидкостные мостики способны лишь сильные перегрузки. Крупные зерна собирают около себя мелкие частицы, для которых крупная частица играет роль зародышеобразователя. В системе из частиц одного размера и различной формы зародышеобразователями будут выступать граненые зерна. Это обусловлено значительной капиллярной силой притяжения частиц в системе «шар-плоскость». При малом объеме капиллярной жидкости сила может быть оценена через выражение $f_{\text{кап}} = 4\sigma\pi R$, в то время как для контакта двух шаров эта сила не превышает значение $2\sigma\pi R$.

Как следствие, одним из приемов противодействия сегрегации можно считать внесение в шихту из шароподобных частиц 5–10 % граненых частиц, обладающих повышенной способностью консолидировать окружающие зерна в присутствии капиллярной влаги. Каждая кубическая частица собирает около себя до 6 и более шарообразных частиц. Этот конгломерат снижает подвижность шихты и способствует закреплению исходной структуры частиц.

Капиллярные силы, возникающие при увлажнении, удерживают твердые частицы в определенном положении, тем самым противодействуя сегрегации частиц стекольной шихты. Как известно, капиллярная сила

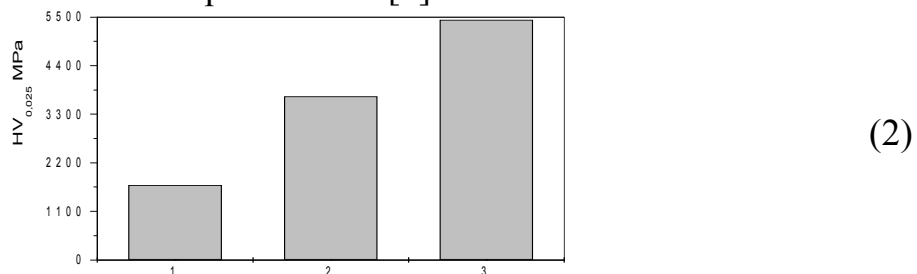
взаимодействия частиц $f_{\text{кап}}$, порожденная капельной жидкостью, определяется как сумма двух ее составляющих:

$$f_{\text{кап}} = f_{\text{кап}}^V + f_{\text{кап}}^{\omega} = \Delta P \cdot \omega + \bar{\sigma} \cdot L, \quad (1)$$

где ΔP – перепад давления Лапласа на единицу поверхности ω ($\omega = \pi \cdot a^2$, где a – радиус периметра смачивания жидкой частицы); $\bar{\sigma}$ – проекция вектора поверхностного натяжения, приложенного к трехфазной границе L ($L = 2 \pi \cdot a$), на ось, соединяющую твердые частицы [1].

Капельная жидкость притягивается к твердым частицам за счет сил адегзионного взаимодействия. При равновесии сила капиллярного давления Лапласа компенсируется силой сцепления жидкости с твердой фазой по периметру смачивания. Капиллярное давление в такой капельке меньше внешнего давления. При попадании капельки жидкости на контактирующие твердые частицы в условиях хорошего смачивания возникает отрицательное лапласовское давление, которое и стягивает соединенные жидкостью частицы.

Полное уравнение для капиллярной силы притяжения двух одинаковых шарообразных частиц впервые применил Фишер [1]. При условии малого объема капельной жидкости для частиц разного размера ($R_1 < R_2$) значение силы можно рассчитать [2]:



Предельные значения капиллярной силы для контакта шар-шар с радиусом $R = R_1 = R_2$ будут определяться как

$$f_{\text{кап}} = \sigma \cdot \pi \cdot R (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2), \quad (3)$$

а в случае контакта шар-куб при $R_1/R_2 \rightarrow 0$:

$$f_{\text{кап}} = 2 \cdot \sigma \cdot \pi \cdot R (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2). \quad (4)$$

Проведем анализ разделения изомерных частиц в статическом и динамическом состояниях. В качестве модельных частиц примем частицы шарообразной и кубической формы. Такие формы являются частными случаями, в реальной шихте частицы имеют самую различную форму: остроугольную, скругленную, усеченную и т.д.

Рассмотрим равновесие сил, действующих на частицу шихты на нижнем горизонте капиллярно собранного конгломерата. Примем верхнюю частицу закрепленной в области капиллярно-уплотненной группы и проанализируем поведение нижней частицы, обуславливающей при отрыве сегрегацию шихты.

Рассмотрим влияние гравитационного поля на силу сцепления, состоящую из силы тяжести и капиллярного усилия, направленных в противоположные стороны, для трех типов контактов: куб-шар, шар-шар, шар-куб.

Для контакта с нижней шарообразной частицей (куб-шар, шар-шар) силу сцепления можно рассчитать по формуле

$$\Delta f = k \cdot \sigma \cdot \pi \cdot R \cdot (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2) - 4/3 \cdot \pi \cdot g \cdot d \cdot R^3, \quad (5)$$

а для контакта шар-куб:

$$\Delta f = k \cdot \sigma \cdot \pi \cdot R \cdot (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2) - g \cdot d \cdot L^3, \quad (6)$$

где k – коэффициент, зависящий от формы частиц и количества жидкости; σ – поверхностное натяжение манжеты, Дж/м²; d – плотность нижней частицы, кг/м³; g – ускорение свободного падения, кг·м/с²; L – размер кубической частицы, м.

При слипании шара с кубом параметр k меняется от 1 до 2, для контакта шар-шар k изменяется от 0,5 до 1, где наибольшее значение соответствует малому объему манжеты. Наибольшая сила сцепления из рассмотренных типов контактов соответствует контакту куб-шар.

Приравнявая силу сцепления нулю, можно определить критический размер частицы ($R_{кр}$, $L_{кр}/2$), которая будет удерживаться за счет капиллярной силы.

Для контактов шар-шар и куб-шар радиус будет равен

$$R_{кр} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot \sigma (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2)}{4 \cdot g \cdot d}}, \quad (7)$$

а для контакта шар-куб:

$$\frac{L_{кр}}{2} = \sqrt{\frac{k \cdot \sigma \cdot \pi (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2)}{8 \cdot g \cdot d}}. \quad (8)$$

При несовершенном смачивании материалов сила сцепления несколько уменьшается. Однако поскольку в уравнение входит косинус угла смачивания, то при краевых углах до 15–30° снижение силы будет

несущественным. Измерение углов смачивания на зернах кварцевого песка, доломита показало, что этот угол составляет 7–15°.

Приведенные соотношения справедливы для частиц, не испытывающих механические воздействия. Однако, в реальных условиях при перемещении, хранении стекольной шихты всегда присутствуют вибрации, вызванные работой заводского оборудования. Учет этого воздействия можно провести, считая ускорение превышающим земное в несколько раз. Если в условиях механических перегрузок и вибрации ускорение составит $3g$, то размеры частиц уменьшаются приблизительно в 1,73 раза, а при пятикратном ускорении – в 2,23 раза. При большей степени увлажнения рассчитанные предельные параметры будут еще меньше [3].

Увлажнение стекольной шихты противодействует сегрегации частиц, способствуя сохранению ее однородности до температуры исчезновения жидкой фазы. При дальнейшем повышении температуры на контактах твердых частиц возникают капиллярные прослойки из солевых и силикатных расплавов и силы сцепления возрастают в несколько раз в соответствии с ростом поверхностного натяжения жидкости.

Список использованных источников

1. *Fisher R.A.* The capillary forces in an ideal soils; correction of the formulas given by W.B.Haines // *J.Agr.Sci.* 1926. Vol.16. P.492–503.
2. *Дерябин В.А.* Окомкование увлажненных порошков. Сообщение 1 / В.А. Дерябин, С.И. Попель // *Известия вузов «Черная металлургия»*, 1979. № 10. С. 5–10.
3. *Дерябин В.А.* Капиллярное противодействие сегрегации частиц в процессах подготовки стекольной шихты / В.А. Дерябин, О.Л. Малыгина, Е.П. Фарафонтова // *Стекло и керамика*. 2006. №1. С. 3–6.