

ered. The tumbling mills efficiency increasing reserves due to the rational filling flow organization in the grinding energy selectivity principle implementation is identified. The new tumbling mills multistage grinding operating conditions is created.

Keywords: tumbling mills, operating conditions, intrachamber filling, grinding energy selectivity, multistage grinding.

УДК 543.1/532.135

Н.Д. ОРЛОВА, канд. техн. наук, доц., ОНМА, Одесса

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И СМЕШЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СМЕСЕЙ

Рассмотрены различные подходы к изучению процессов измельчения и смешения в вибрационных мельницах. Весь процесс формализован как сложная физико-механическая система. Качественный анализ процесса измельчения и сопутствующего смешения был проведен с единых позиций всего спектра явлений, начиная с атомарно-молекулярного уровня и кончая промышленными процессами.

Ключевые слова: вибрационное измельчение, смешение, оптимальные параметры.

Впервые системный подход к изучению процессов измельчения и смешения был описан в [1, 3], а весь процесс формализован как сложная физико-механическая система. Качественный анализ процесса измельчения и сопутствующего смешения был проведен с единых позиций всего спектра явлений, начиная с атомарно-молекулярного уровня и кончая промышленными процессами. В последующих работах строились математические модели процесса измельчения для конкретного типа измельчающих и смесительных устройств. Процесс измельчения и одновременного смешения осуществляется на различных типах измельчающих аппаратах, в основе которых заложены различные способы разрушения материалов, и, как правило, составление физических и математических моделей проводится с учетом типа измельчающего устройства и способа измельчения и смешения материала.

Математические модели. Рассмотрим известные математические модели, процесса измельчения и смешения композиций.

© Н.Д. Орлова, 2014

Первый подход основан на использовании дифференциальных уравнений механики сплошной среды с учетом кинетики измельчения [2, 1]. При этом тип машины, обеспечивающий измельчение, не представлен в уравнениях в явном виде.

В этом случае рассматривается математическое описание кинетических кривых в функции среднего размера измельчаемых частиц и времени измельчения и смешения. В этом методе не представлен с нашей точки зрения процесс разрушения частиц.

Такое описание, при имеющихся недостатках, дает возможность достаточно точно установить эффективность агрегатов для измельчения и одновременного смешения конкретных материалов. Предлагаемая модель содержит два этапа разрушения – отдельной усредненной бездефектной (в смысле размера) частицы, а затем описание кинетических кривых измельчения. В модели выбирается бездефектная частица, поскольку её разрушение всегда более сложное, нежели частицы с дефектами.

Второй это, энергетический подход. При таком описании, рассчитанную энергию, идущую на изменение среднего размера обрабатываемых частиц, связывают с подводимой к измельчителю агрегату энергией. Поскольку в разных аппаратах длина цепочки подводки энергии различна, а сама связь между расчетной энергией и средним размером частиц до сих пор является вообще говоря не установившейся, то практический эффект от такой модели невелик.

Третий подход связан с вероятностными оценками возможности попадания частиц в «рабочую зону» агрегатов и с функцией плотности вероятности разрушения и смешения частиц, без учета физико-механических свойств материала [1, 3].

Этот метод в большинстве своём связан с оценкой экспериментальных данных.

Четвертый подход к изучению процесса измельчения связан с использованием понятий фрактальной геометрии. Следует отметить, что в этом случае идет речь об изменении некоторых общепринятых физических понятий, характеризующих процесс измельчения. Для характеристики дисперсности порошкообразных материалов используются понятия, характеризующие как отдельную частицу, так и весь ансамбль частиц, составляющих данный порошок [4, 5].

Вообще говоря, измельчение и сопутствующее смешение представляет

собой случайный процесс, заключающийся в перераспределении компонентов и связанный с приготовлением определенного вида смесей. Смесь представляет собой совокупность различных элементов случайно расположенных друг относительно друга. Перераспределение компонентов осуществляется при движении потока перемешиваемой массы за счет пульсаций скоростей движения частиц, возникающих под действием тех или иных сил. Пульсации зависят от многих факторов и носят случайный характер. Такое смешение соответствует понятию случайного смешения.

Существуют представление и об упорядоченном методе смешения, при использовании которого композиция получается за счет точного взаимного распределения отдельных компонентов в объеме смеси. Упорядоченный метод измельчения и смешения можно осуществить путем систематического распределения твердых частиц в высоковязкой жидкости. Однако и в этом случае смесь характеризуется случайными признаками за исключением предельного состояния, когда при выбранной величине пробы не наблюдается колебаний концентраций, как во всем объеме перемешиваемой массы, так и в отдельных её частях.

В такой смеси, теоретически полностью перемешанной, все отдельные частицы должны располагаться как атомы в кристаллической решетке. По-видимому, такой способ ведет к идеализации процесса, и невозможности, оценивая состояние смеси через выборочные характеристики. В дальнейшем при описании процесса измельчения и сопутствующего смешения будем исходить из случайного характера распределения компонентов. Поэтому мерой качества должны быть параметры, характеризующие распределение случайных величин – законов распределения концентрации: дисперсия, корреляционный момент, среднее квадратичное отклонение и т. д.

В настоящее время при оценке качества многокомпонентных гетерогенных смесей также нет единого мнения по выбору определяющего параметра, характеризующего смесь. В большинстве случаев изучают распределение наиболее легко анализируемого компонента, называемого «ключевым». Также рекомендуют в качестве «ключевого» принимать компонент, содержащийся в смеси в минимальном количестве.

Важной количественной характеристикой процесса является скорость процесса, под которой понимают количество частиц N какого-либо компонента поступающего в процесс смешения единицу времени.

При постоянном объеме V смешиваемых частиц скорость равна

$$W_c = \frac{d}{dt} \left(\frac{N}{V} \right)$$

Поскольку перераспределение компонентов в рабочем объеме смесителя в итоге должно привести к ожидаемой концентрации компонента (математическое ожидание)

$$m = \frac{N^1}{V}$$

(N^1 – число частиц в объеме, соответствующее математическому ожиданию), то скорость процесса смешения будет характеризоваться разностью концентрации $c = \frac{N}{V}$ и математическим ожиданием m .

Скорость процесса может быть оценена через скорость изменение дисперсии σ^2

$$W_c = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{d}{dt} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i - m)^2}}{n}$$

Процесс смешения компонентов А и В и образование двухкомпонентной смеси можно представить в виде $A + B \rightarrow AB$ (смесь), в которой из двух эквивалентных объединений А и В образуется наименьший возможный ассоциат смеси АВ. При равенстве числа частиц двух сортов в смеси в объединении А и В объединении В содержится по одной частице, при неравном количестве смешиваемых частиц в смеси в А и В входит соответствующее число частиц, но их сумма представляет наименьшее число частиц сортов А и В, из которых можно образовать ассоциат смеси АВ. Обозначив через $X_A(t)$ и $X_B(t)$ случайные величины, характеризующие соответственно количество объединений из частиц А и количество объединений из частиц В, а через $X_3(t)$ – случайную величину, характеризующую количество ассоциатов смеси АВ в момент времени t в объеме смесителя. Обозначим через $x_{\hat{A}}(t), x_{\hat{A}}(t), x_3(t)$ ($x_i \geq 1$) те целочисленные значения, которые эти случайные величин могут принимать.

Положим $X_A(0) = x_1(0)$, $X_B(0) = x_2(0)$, $X_3(0) = x_3(0)$, тогда в соответствии со схемой смешения $X_3(t) = X_{\hat{A}}(0) - X_{\hat{A}}(t) = X_{\hat{A}}(0) - X_{\hat{A}}(t)$.

Рассматривая поведение случайных величин $X_3(t), X_A(t), X_{\hat{A}}(t)$, аналогично [3], предполагаем, что рассмотренная выше схема образования смеси соответствует Марковскому процессу гибели популяции (числа) объединенных частиц А и В, согласно которому вероятность перехода из состояния $X_{\hat{A}}(t)$ в состояние $X_{\hat{A}}(t) - 1$ за время $t, t + \Delta t$ пропорциональна произведению чисел объединений в момент времени t , с коэффициентом пропорциональности μ . При оценке работы смесителя наибольший интерес представляет изменение моментов распределения, через которые выражается качество смеси, поэтому в соответствии с постулатами разрывного Марковского процесса $x_{\hat{A}}(t)$ гибели популяции получим систему дифференциально-разностных уравнений [3], если перейти к концентрации компонентов, то получим уравнение смешения материалов (гибели объединений частиц компонента А)

$$\frac{d(c_A - m_A)}{dt} = -k(c_A - m_A)^2 + k\sigma_A^2 \quad (1)$$

где c_A, m_A, σ^2 соответственно концентрация и математическое ожидание и дисперсия компонента А, $k = \mu(N_A \cdot n_A \cdot \gamma_A \cdot V_A + N_B \cdot n_B \cdot \gamma_B \cdot V_B)$ – константа скорости смешения, N_A, N_B – число объединений А и В, $\gamma_A, \gamma_B, V_A, V_B$, – удельные веса и объёмы частиц материалов А и В, n_A, n_B – число частиц входящих в объединение А и В.

Используя, изложенный выше подход можно записать уравнения смешения многокомпонентных смесей в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d(c_i - m_i)}{dt} = -k_i(c_i - m_i) \cdot \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (c_j - m_j) + k_i \sigma_{c_i}^2 \\ i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (2)$$

n – число смешиваемых компонентов.

Для идентификации параметров и проверки адекватности математической модели (2) по экспериментальным данным смешения тройной композиции ($n = 3$) содержащую твердую фазу (кварцевый песок) определялись

концентрации каждого компонента в пробе, рассчитывались – дисперсии и строились кинетические кривые.

Среднеквадратический критерий соответствия экспериментальных и рассчитанные по модели (2) значений дисперсии компонентов смеси не превышает 15 %, что свидетельствует об адекватности модели (2) эксперименту (рис. 1).

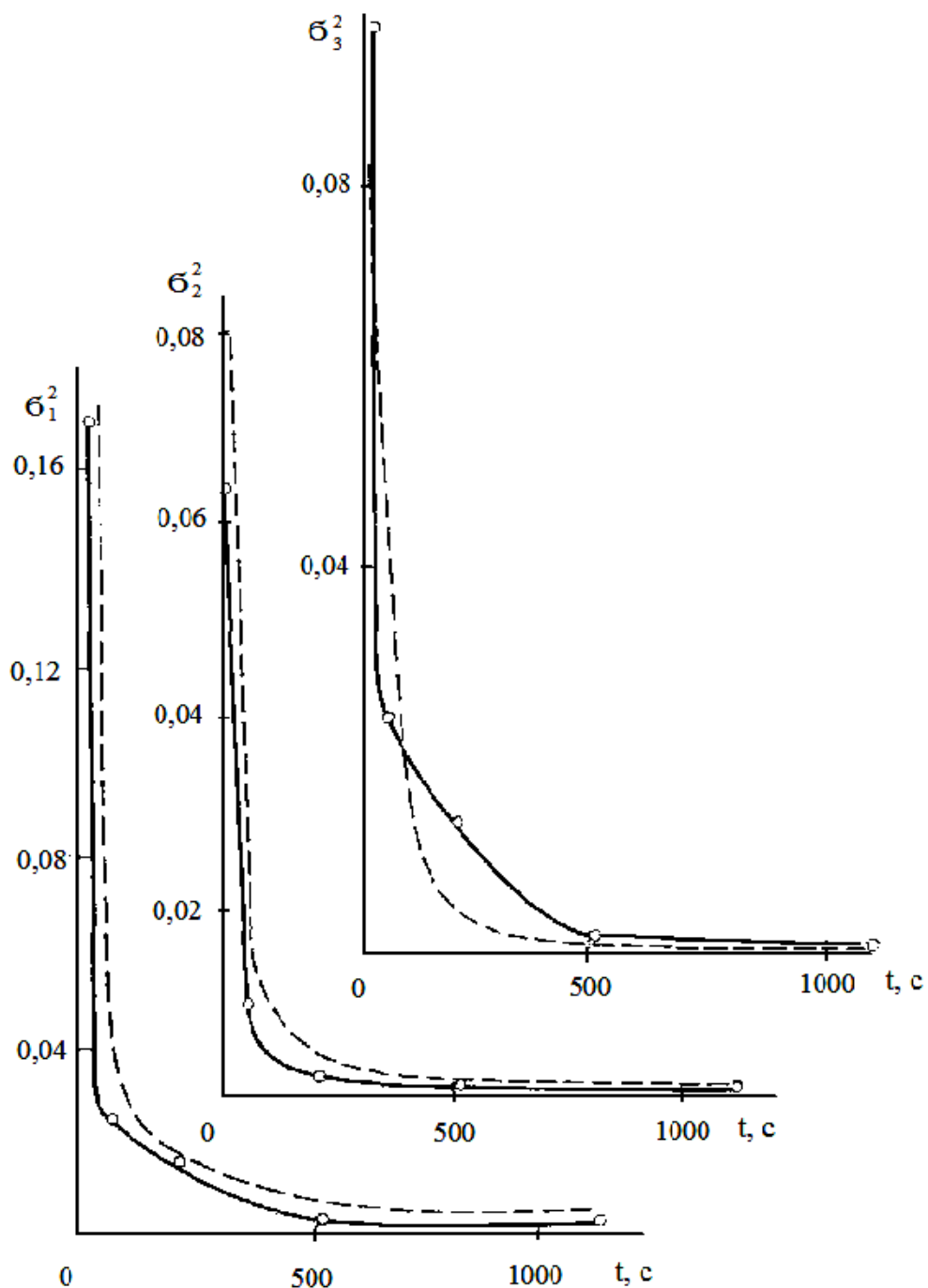


Рис. 1 – Экспериментальные (сплошные линии) и рассчитанные по модели (2) (пунктир) кинетические кривые для трехкомпонентной смеси, состоящей из глицерина, кварцевого песка и алюминиевой пудры ПП-3.

Вывод. Из приведенных исследований следует, что распределение каждого компонента характеризуется своей кинетической кривой с присущими ей значениями k, σ_i^2 . Поэтому, в этом случае нет оснований оценивать состояние смеси по распределению одного так называемого «ключевого» компонента.

Список литературы: 1. Овчинников П.Ф. Виброреология / П.Ф. Овчинников. – К.: Наукова Думка, 1983. – 271 с. 2. Ишлинский А.Ю. Разрушение не вполне упругих материалов / А.Ю. Ишлинский // Ученые записки МГУ. – 1986. – Т. 1, Вып. 117. – (Серия: Механика). – С. 26 – 46. 3. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии / В.В. Кафаров И.Н. Дорохов, С.Ю. Арютунов. – М.: Наука, 1985. – 440 с. 4. Чмель А.Е. Проявление в рамановском спектре фрактальной геометрии трещины в стекле / [А.Е. Чмель, А.Д. Семенов, А.Н. Смирнов и др.] // Физика твердого тела. – 1999 – Т. 41. – Вып. 6. – С. 20 – 241. 5. Орлова Н.Д. Использование фрактальной геометрии для расчета дисперсных характеристик измельченного материала / Н.Д. Орлова // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 57. – (Серия: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 97 – 104.

Referens: 1. Ovchinnikov P.F. Vibroreologija / P.F. Ovchinnikov. – Kiev: Naukova Dumka, 1983. – 271 s. 2. Ishlinskij A.Ju. Razrushenie ne vpolne uprugih materialov / A.Ju. Ishlinskij // Uchenye zapiski MGU. – 1986. – Vol. 1. – Iss. 117. – (Seriya: Mehanika). – S. 26 – 46. 3. Kafarov V.V. Sistemnyj analiz processov himicheskoy tehnologii / V.V. Kafarov I.N. Dorohov, S.Ju. Arjutunov. – Moscow: Nauka, 1985 – 440 s. 4. Chmel' A.E. A display in the ramanovskom spectrum of fractal geometry of crack is in glass / [A.E. Chmel', A.D. Semenov, A.N. Smirnov i dr.] // Physics of Solid State. – 1999. – Vol. 41 – Iss. 6. – С. 20 – 241. 5. Orlova N.D. Ispol'zovanie fraktal'noj geometrii dlja rascheta dispersnyh harakteristik izmel'chennogo materiala / N.D. Orlova // Visnyk NTU «KhPI». – 2013. – № 57. – (Seriya: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ekolohiya). – С. 97 – 104.

Поступила в редколлегию (Received by the editorial board) 30.09.14

УДК 543.1/532.135

Расчёт оптимальных параметров вибрационного измельчения и смешения при изготовлении смесей / Н.Д.ОРЛОВА // Вісник НТУ «ХПІ». – 2014. – № 52 (1094). – (Серия: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 78 – 85. – Бібліогр.: 5 назв. – ISSN 2079-0821.

Розглянуто різні системні підходи до вивчення процесів здрібнювання і змішання. Весь процес здрібнювання і змішання формалізований як складна фізико-механічна система, проведений якісний аналіз процесу здрібнювання з єдиних позицій усього спектра явищ, починаючи з атомарно-молекулярного рівня і кінчаючи промисловими процесами.

Ключові слова: вібраційне подрібнення, змішування, оптимальні параметри.

UDC 543.1/532.135

The calculation of the optimal parameters of the vibration grinding and blending in the manufacture of mixtures / N.D. ORLOVA // Visnyk NTU «KhPI». – 2014. – № 52 (1094). – (Series: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ecolohiya). – P. 78 – 85. – Bibliogr.: 5 names. – ISSN 2079-0821.

Various approaches to the mathematical description of the grinding process have been examined in the article. The power approach. The calculated energy, changing a medium-sized ground down particle is connected with the energy being brought to the grinding aggregate. The second approach concerns with the mathematical description of kinetic curves in a function of medium-sized ground down particles and grinding period. The third approach is related to probabilistic estimations of possible hitting of particles in the "working area" of grinding aggregates and with the function of close probability of destruction of particles, without taking into account physical and mechanical properties of ground down particles. The fourth approach to the study of the grinding process is connected with the use of notions of fractal geometry. A measure of the quality of the mixture selected parameters characterizing the distribution of the random variables – laws of the concentration distribution: variance, correlation time, standard deviation. The mean square fit of the experimental and calculated model values of the variance components of the mixture does not exceed 15 %.

Keywords: vibration grinding, mixing, optimal parameters.

УДК 666.972.112: 97.056

В.В. ПІСЧАНСЬКА, канд. техн. наук., доц., НМетАУ, Дніпропетровськ
І.А. АЛЕКСЄЄНКО, ас., НМетАУ, Дніпропетровськ

ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ МАТРИЧНОГО КОМПОНЕНТУ НА ВЛАСТИВОСТІ ПЕРИКЛАЗОВОГО БЕТОНУ

Проведено експериментальні дослідження щодо вивчення впливу тривалості механічної активації спеченого периклазу і суміші, що містить периклаз і кальцій-алюмінатний цемент, на характеристики процесу механічної обробки. Досліджено вплив тривалості механічної активації матричних компонентів на показники властивостей периклазового бетону при твердінні і після термічної обробки в інтервалі температур 110 – 1650 °С. Встановлено, що механічна активація суміші периклазу і кальцій-алюмінатного цементу протягом 15 хвилин, забезпечує отримання бетону с комплексом заданих показників властивостей.

Ключові слова: периклазових бетон, спечений периклаз, кальцій-алюмінатний цемент, матричний компонент, механічна активація, показники властивостей.

Вступ. Вогнетривкі бетони на гідравлічних в'язучих містять тонкодисперсну складову – матричний компонент, характеристики якого суттєво впливають на комплекс взаємопов'язаних реотехнологічних, фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей бетонів [1].

До ефективних способів підвищення реакційної здатності вогнетривких та фазових перетворень [2, 3]. Основним завданням щодо використання позитивних ефектів механоактивації є встановлення взаємозв'язку між параметрами механічної обробки матеріалів та їх специфічними властивостями, якісними і експлуатаційними характеристиками композитів, що містять термо-

© В.В. Пісчанська, І.А. Алексєєнко, 2014