

100 % в количестве 3,5 %. Установлено, что при введении 5 % ZnO растекаемость эмали увеличивается до 56 мм, при этом стойкость покрытия снижается до класса А. При содержании ZnO 4 % растекаемость составляет 52 мм, класс химической стойкости А+.

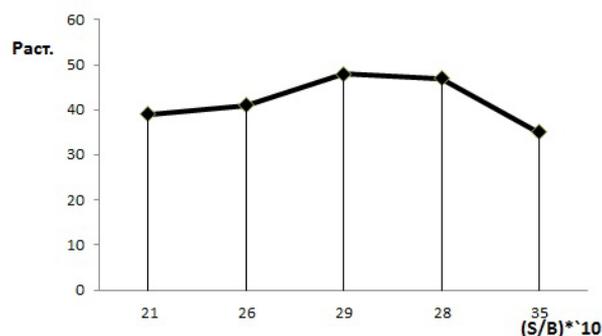


Рис. 1. Зависимость растекаемости эмали от соотношения SiO_2/B_2O_3

Таблица 2 – Химический состав фритты с оксидом цинка

Обозначение фритты	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO ₂	B ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO
3.1	43	15	2	17	3	2	12	6	0
3.2	43	14	2	16	2	2	12	6	3
3.3	43	13	2	16	2	2	12	6	4

Таким образом, разработанный состав эмали системы $Na_2O-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$, отвечающий заданным свойствам, содержит следующие оксиды, мас. %: SiO₂ – 43, B₂O₃ – 13, P₂O₅ – 2, TiO₂ – 16, Al₂O₃ – 2, MgO – 2, Na₂O – 12, K₂O – 6 и ZnO – 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петцольд А., Пешманн Г. Эмаль и эмалирование. Справ. изд. – М.: Металлургия, 1990. – 576 с.
2. Рябов А.В., Яценко Е.А., Керимова В.В., Климов Л.В. Стеклоэмалевое однослойное покрытие для антикоррозионной защиты стальных изделий // Физика и химия стекла. – 2019. – № 1. – С. 97 – 100.
3. Родцевич С.П., Тавгень В.В., Минкевич Т.С. Влияние оксидов щелочных металлов на свойства титансодержащих стекол // Стекло и керамика. – 2007. – № 7. – С. 25 – 27.
4. Яценко Е.А. Особенности ресурсосберегающей технологии функциональных однослойных композиционных эмалевых покрытий для стали // Физика и химия стекла. – 2011. – Т. 37. – № 1. – С. 54 – 69.

ТЕХНИКО-АЭРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОТИВОТОЧНЫХ МЕЛЬНИЦ

В.А. Полюшко, А.С. Разва, М.В. Василевский, А.В. Мартынова
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет
 E-mail: razva@tpu.ru

TECHNICAL AND AEROMECHANICAL PARAMETERS OF COUNTER-CURRENT MILLS

V.A. Poliushko, A. S. Razva, M.V. Vasilevskii, A.V. Martunova
 National Research Tomsk Polytechnic University

Annotation. In jet mills, particle failure is determined by the velocity difference of the colliding particles and the frequency of interaction of the particles. The injected particles and moles of gas are accelerated by the jet stream, the velocity of the particles depending on the ratio of

injection ratios of moles of gas and particles. Estimates of particle velocities in the grinding zone, numerical values of interaction frequencies, in mills with counter flows are given.

В противоточных мельницах [1, 2] (рис.1), частицы приобретают высокую скорость в разгонном участке за счет инжекции гетерогенной среды.

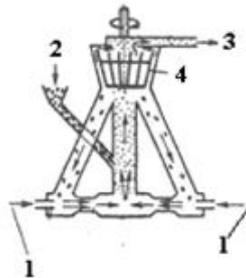


Рис. 1. Аппарат со встречными потоками. 1– ввод энергоносителя, 2 – ввод исходного материала, 3- выход мелкого продукта, 4 – сепаратор

Струя, распространяющаяся в сопловом объеме и камере смешения, ограничена направляющими поверхностями, вследствие чего возникают токи рециркуляции [1], которые распространяются в сопловую секцию и разжижают поступающий сыпучий материал (рис.2).

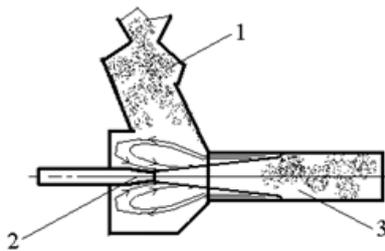


Рис. 2. Схема возвратных токов в сопловой секции и камере смешения: 1–точка, 2–сопловая секция, 3– разгонный участок (камера смешения)

Однако для дисперсного материала с повышенной влажностью транспортировка частиц оказывается невозможной вследствие образования прочных отложений частиц в сопловой секции и камере смешения [3].

Истинная объемная концентрация частиц в разгонном патрубке ε_p определяется по соотношению [4] $\varepsilon_p = G_T / FV\rho_\delta$, $\text{м}^3/\text{м}^3$, где G_T – расход материала, $\text{кг}/\text{с}$, F – площадь разгонного участка, м^2 , V – средняя скорость частиц, $\text{м}/\text{с}$, ρ_δ – плотность частиц, $\text{кг}/\text{м}^3$. В [4] приведены данные отношений скоростей газа и частиц $i = W/V$ – коэффициент скольжения частиц, для различных условий транспортирования. В разгонных трубах противоточных струйных измельчителей отношение скоростей частиц – стальных шариков диаметром 0,8 мм и газового потока V/W_T равно 0,23, а для частиц 100 мкм при массовой расходной концентрации $\gamma_w = G_T/G_g = 0,5$ $\text{кг}/\text{кг}$ это отношение равно 0,33 [5]. В [4] показано, что в области расходных концентраций $\gamma_w = 0,1 - 5$ $\text{кг}/\text{кг}$ коэффициент скольжения практически не меняется. Следовательно, истинная массовая концентрация крупных частиц $\gamma = \varepsilon_p (\rho_\delta/\rho)$ в выходном сечении разгонной трубы в 3 – 4 раза больше расходной γ_w . Требуемая длина разгона для крупных частиц должна ограничиваться значением скорости частиц на стабилизационном участке $V=0,3W$, поскольку большие скорости не могут быть достигнуты из-за взаимодействия частиц со стенкой. Высокие скорости частиц (100–150 $\text{м}/\text{с}$) на выходе из разгонных труб при расходной концентрации частиц $\gamma_w = 1$ $\text{кг}/\text{кг}$ могут быть достигнуты при скорости газового потока в разгонной трубе 300 – 600 $\text{м}/\text{с}$, что требует сверхзвуковых скоростей потока на выходе из сопла 600 – 1200 $\text{м}/\text{с}$ и исходного содержания частиц размером менее 200 мкм.

Скорости столкновения определяются скоростью инерционного пробега частиц в зоне разворота струй при их соударении. Эта зона определяется расстоянием между конечными сечениями разгонных патрубков, которое принимается равным длине начального участка струи [1]. На рис. 3 представлена схема помольной камеры противоточного измельчителя, где заштрихованные зоны, это области интенсивного взаимодействия частиц. В зоне взаимодействия встречных струйных потоков происходит сужение потоков и расширение в поперечных направлениях. В вертикальном канале поток расширяется с образованием возвратных токов, как в потоке после поворота в колене.

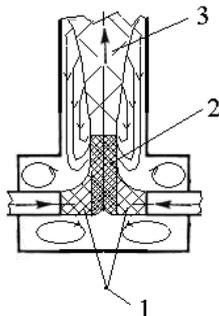


Рис. 3. Схема помольной камеры противоточного измельчителя: 1 – зона повышенной концентрации крупных частиц, зона встречного взаимодействия крупных частиц, 2 – зона высокой концентрации крупных частиц, зона инерционного пробега, зона вертикального движения газа, 3 – зона средней концентрации частиц

Частицы в зоне 2 оказываются под ударами частиц из зоны 1. Эти частицы приобретают скорость, соизмеримую со скоростью частиц в зоне 1 и становятся ударниками для соседних частиц в той же зоне 2. Таким образом, в зонах 1 и 2 осуществляется многократное взаимодействие частиц даже одного и того же размера.

В [4] приведены данные по времени пребывания в зоне соударения гетерогенных струй с частицами силикагеля крупностью 2,25 мм. Оказалось, что при концентрации $0,48 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ время пребывания в крестовине частиц в 10,7 раза больше, чем на стабилизационном участке горизонтального пневмопровода такой же длины.

В противоточных пневмомельницах используют классификатор отбойно-вихревого типа (КОВ). В зазоре между кожухом и ротором часть закрученного потока из верхней части перетекает в нижнюю часть за счет перепада давлений, возникающего из-за разницы центробежных сил в верхней и нижней частях ротора. С увеличением числа оборотов ротора уменьшается как крупность выносимого материала, так и производительность мельницы [1, 2]. С целью уменьшения влияния числа оборотов на коэффициент инжекции материала применяют цилиндрические роторы. В этом случае лопасти ротора работают как отбойники, поскольку в около роторном пространстве за счет турбулентного трения газ закручивается незначительно [6]. Поэтому осуществляется подкрутка дисперсного потока [7]. Удельный расход энергоносителя в зависимости от физико-химических характеристик измельчаемого материала и дисперсности готового продукта лежит в пределах 0,05 – 9 кг/кг, а давление энергоносителя 0,15 – 3,5 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акунов В.И. Струйные мельницы. – М.: Машиностроение, 1967. – 262 с.
2. Федотов К.В., Дмитриев В.И. Струйное измельчение. – М.: Горная книга, 2014. – 194 с.
3. Тишин В.М. Экспериментальное исследование пневмотранспортирования влажного дисперсного материала // Вопросы прикладной аэрогидромеханики и тепломассообмена. – 1989. – С. 239 – 242.

4. Разумов И. М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1972. – 239 с.
5. Росляк А.Т., Бирюков Ю.А., Пачин В.Н. Пневматические методы и аппараты порошковой технологии. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1990. –272 с.
6. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 248 с.
7. Уваров В.А. Научные основы проектирования и создания пневмоструйных мельниц. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Белгород, 2006.–457 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОПОРОШКОВ НА ДИНАМИКУ СПЕКАНИЯ АЛЮМИНОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ

С.Н. Сорокова, В.Л. Попов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: s_sorokova@tpu.ru

MATHEMATICAL MODELING OF ADDITIONS NANOPARTICLES ON THE DYNAMICS DURING THE SINTERING PROCESS ALUMINOSILICATE CERAMICS

S.N. Sorokova, V.L. Popov

National Research Tomsk Polytechnic University

***Annotation.** In the model proposed and investigated volume sintering the powder compound $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ with the addition of aluminum nanopowder. Nanoparticulate particles comprising reagents were treated as distinct phase having special properties. It was determined the distribution of temperature and element concentrations and compounds in different times for different synthesis conditions.*

Техническая керамика является самостоятельным классом материалов и применяется в различных отраслях техники и промышленности. Для целенаправленного выбора технологических режимов синтеза и спекания требуется детальное теоретическое исследование закономерностей формирования структуры и фазового состава материала. Есть множество математических моделей [1, 2] спекания порошков соединений и твердофазного синтеза. Но в известных моделях явно не учитываются, что процессы синтеза сопровождаются изменением объема, который может привести к изменению кинетической модели, состава и структуры конечного продукта [2, 3]. Наноразмерные частицы в составе реагентов изменяют как кинетику процесса синтеза и влияют особым образом на физические и механические свойства реагентов и продуктов. Это приводит к дополнительным особенностям в математических моделях.

Рассмотрим прессовку порошков смеси $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ с добавкой нанодисперсного порошка алюминия в виде параллелепипеда, расположенную на керамической подложке. Нагрев образца осуществляется конвекцией и излучением при регулируемом изменении температуры стенок печи. В общем случае процесс нагрева с учетом физико-химических явлений описывается трехмерной задачей теплопроводности с условиями на поверхности:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = -\varepsilon \sigma_0 (T^4 - T_e^4) + \alpha (T - T_w);$$

где σ_0 – постоянная Стефана–Больцмана; ε – степень черноты, α – коэффициент теплообмена, T_w – температура в камере. Температура стенок камеры T_c – меняется по заданному закону. Полагаем что размеры прессовки малы, тогда поле температуры в системе и распределение концентраций фаз можно найти из совместного решения уравнения теплового баланса и задачи химической кинетики: