

УДК 661.185-3

АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ДИСПЕРГИРУЮЩЕГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ИНГРЕДИЕНТОВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

А.Ж.Суйгенбаева, Д.С.Сабырханов, С.А.Сакибаева
ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент

Процесс смешения каучуков с ингредиентами резиновых смесей является важнейшей составляющей технологии производства резиновых изделий, от которой зависят основные показатели качества производимой резины. Процесс резиносмешения чрезвычайно сложен по своему механизму. В нем совмещаются два основных процесса – перемешивание и одновременное диспергирование с возрастанием удельной поверхности раздела между компонентами смеси. Процесс смешения происходит в условиях нестационарного поля скоростей деформации и температур и сопровождается изменениями внутренней структуры полимеров и их физико-химических свойств. Составить общую математическую модель процесса, включающую полную систему дифференциальных уравнений и граничных условий, а, тем более, решить такую систему не представляется на сегодняшний день возможным [1].

Поэтому особую актуальность приобретают исследования, связанные с разработкой упрощенных математических моделей, которые имели бы ясное физическое обоснование и отражали важнейшие наблюдаемые и измеряемые характеристики процесса.

В настоящей работе предлагается подход к моделированию процесса диспергирующего смешения, основанный на концепции обобщенного броуновского движения частиц ингредиентов смеси [2, 3].

Диспергирование смеси происходит путем перестройки структуры частиц с использованием вещества данной частицы и последующего ее разрушения с образованием новых частиц. Массообмен с окружающей средой при этом отсутствует, но осуществляется взаимодействие первичных частиц между собой.

Согласно такому подходу и на основании теории блочного роста и диспергирования [2], частицы дисперсной фазы распределены по размеру и по степени диспергированности. Тогда для описания этого процесса может быть использовано динамическое уравнение Смолуховского для распределения частиц [3].

Анализ и решение уравнения диспергирующего смешения в полном виде требует привлечения методов, аналогичных методам статистической механики. Однако, если ввести дополнительные предположения, что первичные частицы мало различаются по размерам, а вторичные имеют одинаковую степень диспергированности, то плотность распределения $\rho(s, n, t)$ представляется в виде:

$$\rho(s, n, t) = \varphi(s, t)\delta(n-1) + P(n, t)\delta(s - s^*), \quad (1)$$

где $\varphi(s, t)$ - плотность распределения первичных частиц по степени диспергированности;

$P(n, t)$ - плотность распределения вторичных частиц по числу содержащихся в них частиц;

s^* - степень диспергированности вторичных частиц.

При использовании описанных допущений уравнение диспергирующего смешения распадается на два уравнения: для плотности распределения функции $\varphi(s, t)$ по степени диспергированности и плотности распределения функции $P(n, t)$ по числу первичных частиц в глобулах.

Всю массу диспергируемой смеси в объеме аппарата можно представить в виде кластера, характеристики которого изменяются во времени, т.е. в виде динамического кластера. Рост этого кластера происходит путем присоединения к нему первичных частиц и вторичных раздробленных частиц, присоединяющихся к кластеру по диффузионному механизму. Этот процесс также может быть описан как случайное блуждание с помощью уравнения Смолуховского следующего вида [4]:

$$\frac{dn_k(t)}{dt} = \frac{1}{2} \sum_{i+i+j=k} K_{ij} n_i(t) n_j(t) - n_k(t) \sum_{j=1}^{\infty} K_{jk} n_j(t). \quad (2)$$

Здесь $n_k(t)$ - плотность k -частичных кластеров.

Ядро K_{ij} системы уравнений (2) учитывает зависимость сечения столкновений от размеров и подвижности кластеров.

Распределение вероятности диспергирующего перемешивания определяется выражением:

$$P(\Delta x) = \frac{1}{\sqrt{4\pi D(t-t_0)}} \exp\left(-\frac{(\Delta x)^2}{4D(t-t_0)}\right). \quad (3)$$

Тогда процесс дрейфа частиц среднестатистически подчиняется соотношению:

$$\Delta x \sim s|t-t_0|^H, \quad (4)$$

где H - обобщенный показатель, не равный в общем случае 0,5.

Определенный таким образом закон перемешивания является нелокальным в том смысле, что при значении параметра $H > 1/2$ интенсивность перемешивания в любой момент времени η зависит от предистории процесса и определяется кинетическими характеристиками во все предшествующие моменты $\eta_1 \leq \eta$.

Важной особенностью диспергирующего перемешивания является зависимость эффективного коэффициента диффузии (коэффициента перемешивания) от времени [1]. С помощью предложенной модели эта особенность моделируется с помощью коэффициента аномальной фрактальной диффузии [4, 5]:

$$D_H = D(\Delta t)^{2H-1}. \quad (5)$$

Расчет мощности, потребляемой в процессе смешения ингредиентов резиновых смесей, является одним из основных этапов инженерного расчета резиносмесителей. Мощность, потребляемая при осуществлении процесса диспергирующего смешения ингредиентов резиновых смесей, складывается из двух основных составляющих. Во-первых, это расход энергии на перемешивание вязкого вещества в аппарате, во-вторых, - работа разрушения частиц исходной смеси, т.е. работа измельчения.

Удельная мощность перемешивания N на единицу объема смесителя V определяется по формуле [1]:

$$\frac{dN}{dV} = \tau \frac{du}{dr}, \quad (6)$$

где τ - напряжение сдвига,

u - скорость сдвига,

r - текущий радиус.

Для расчета мощности по формуле (6) необходимо знание реологических характеристик среды в виде реологического уравнения для аномальной вязкости η .

Для случая постоянной скорости сдвига нами получено упрощенное выражение:

$$N_m = \mu_0 V \left(\frac{\gamma}{t_m} \right)^{1+\frac{1}{n}}, \quad (7)$$

где V - объем смесителя, γ - деформация сдвига, t_m - характерное время смешения, определяемое из условия достижения необходимого качества конечного продукта [1].

В общем случае можно записать:

$$\Delta S = \Delta S_\tau + \Delta S_n, \quad (8)$$

где ΔS_τ - составляющая увеличения поверхности при диспергировании, обусловленная деформацией сдвига;

ΔS_n - составляющая увеличения поверхности при диспергировании, обусловленная деформацией растяжения.

Можно показать на основании результатов [3], что при достаточно большой деформации сдвига можно использовать упрощенный подход и рассчитывать изменение поверхности раздела при диспергирующем смешении при известной деформации сдвига по формуле:

$$\Delta S = S_0 \left(\frac{\gamma}{3} - 1 \right), \quad (9)$$

где S_0 - начальное значение величины поверхности раздела смешиваемых ингредиентов.

Для мощности диспергирования при перемешивании можно использовать соотношение:

$$N_d = \frac{\sigma \Delta S}{t_m}, \quad (10)$$

Для полной мощности, потребляемой при диспергирующем перемешивании, получаем

$$N = N_m + N_d. \quad (11)$$

Таким образом, подход к моделированию диспергирующего смешения ингредиентов резиновых смесей, основанный на принципах обобщенного броуновского блуждания, позволяет получить достаточно простые выражения для определения основных характеристик этого сложного процесса, необходимых для проектирования соответствующих аппаратов и расчета технологической схемы.

Литература

- 1 Вострокнутов Е.Г., Новиков М.И. Современные представления о механизме смешения каучуков с ингредиентами резиновых смесей.-М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971.-76 с.
- 2 Торнер Р.В. Основные процессы переработки полимеров. Теория и методы расчета.- М.: Химия, 1972.-454 с.
- 3 Волощук В.М. Кинетическая теория коагуляции.-Л.: Гидрометеиздат, 1984.- 324с.
- 4 Мор В.Д. Теория смешения и диспергирования// В кн.: Переработка термопластичных материалов /под ред. Э.Бернхардта.- М.: Химия, 1965.-С.435.
- 5 Федер Е. Фракталы.- М.: Мир, 1991.-262 с.

Қорытынды

Резина қоспасының ингредиенттерінің ұсақтап араластыру процесіндегі жалпылама броунды қозғалыс түрлендіруіне негізделген жаңа модел және де ұсақтап араластыру процесі жүрген кездегі пайдаланатын қуатты есептеу тәсілі ұсынылған.

Summary

The new model of the process of dispersing mixing the ingredients of rubber mixtures has been submitted on base of the concepts of generalized Brownian motion. The method for calculating the power necessary for this process has been carried out.

УДК 621.745.32:669.168.3: 669.443.3

СТРОЕНИЕ ТИГЛЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ ИЗ КЛИНКЕРА ВЕЛЬЦЕВАНИЯ

В.М.Шевко, Б.А.Капсалямов, А.С.Колесников, С.К.Картбаев
ЮКГУ им. М.Ауезова, г.Шымкент,
КИ МКТУ им. Х.А.Ясави, г.Кентау

Важной технологической характеристикой электротермических процессов является строение реакционного тигля, которое определяет степень разделения конденсированных продуктов от компонентов шихты, а также режимом электроплавки. В работе приводятся результаты по определению строения тигля при электротермической выплавке ферросилиция из клин-