

ДК 661.185-3

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРУЮЩЕГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ИНГРЕДИЕНТОВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

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

Диспергирующее смешение каучуков с ингредиентами резиновых смесей является стадией технологии производства резиновых изделий, которая определяет показатели качества конечного продукта и общие энергозатраты [1].

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. Тогда процесс диспергирующего перемешивания можно представить как временное образование более крупных неустойчивых вторичных частиц, обладающих избыточной энергией [2,3].

Согласно такому подходу и на основании теории блочного роста и диспергирования [4], частицы дисперсной фазы распределены не только по размеру, но и по степени диспергированности.

В настоящей работе приводится описание новой, предложенной авторами, диффузионно-фрактальной модели диспергирующего перемешивания, и представлено сравнение результатов численных исследований, проведенных по этой модели с данными экспериментальных измерений эволюции массовой функции распределения частиц резиновой смеси в процессе диспергирующего перемешивания.

В основу математической модели диспергирующего перемешивания положено динамическое уравнение коагуляции Смолуховского с учетом взаимодействия частиц с различными внутренними степенями свободы [3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho(s, n, t) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{ds}{dt} \rho(s, n, t) \right) = \\ = \int \rho(s_1, n_1, t) \rho(s_2, n_2, t) F(s, n / s_1, n_1; s_2, n_2) ds_1 ds_2 dn_1 dn_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$\rho(s, n, t)$ - нестационарная плотность распределения частиц;

s - степень диспергированности вторичных частиц;

n - число первичных частиц;

$F(s_1, n_1; s_2, n_2)$ - дисперсионное ядро.

При организации процесса диспергирующего перемешивания в аппарате периодического действия объем рабочей зоны, в которой происходит диспергирование и перемешивание ингредиентов, меняется во времени.

Для описания степени однородности смешения ингредиентов массу диспергируемой смеси в объеме аппарата можно представить в виде кластера, характеристики которого изменяются во времени, т.е. в виде динамического кластера. Исходя из представлений о фрактальном характере образующегося кластера диспергированной смеси, можно ввести два характерных геометрических размера: средний радиус кластера диспергированной смеси \bar{r}_N и характерный радиус активной зоны, в которой продолжается процесс диспергирования r_A .

При больших числах частиц N из фрактальной теории следует соотношение [5]:

$$\bar{r}_N \sim N^\gamma - N^{1/D_F}, \quad (2)$$

D_F - фрактальная размерность кластерной структуры, γ - показатель, зависящий от характерной длины.

Соответствующее выражение для характерного размера активной зоны также дается фрактальной теорией как среднее расстояние между ветвями динамического кластера [4, 5]:

$$r_A \sim \bar{r}_N^{(3-D_F+\chi)/2}, \quad (3)$$

где χ - показатель анизотропии смеси, определяемый требованиями на качество резиносмешения.

В соответствии с концепцией обобщенного броуновского движения на структурах, характеризующихся сложной геометрией, зависимость дрейфа частицы от времени можно представить в виде [2-4]:

$$\Delta X = \frac{\Delta x}{\sqrt{2D\tau(\Delta t/\tau)^H}}, \quad (4)$$

где H - обобщенный показатель фрактальной геометрии структуры.

Случай $H = 0,5$ соответствует независимым приращениям и описывает обычное броуновское движение.

Предлагаемый подход позволяет, в отличие от случая простого броуновского движения, с помощью варьирования показателя H учитывать предысторию процесса смешения. Тем самым появляется возможность правильно описать важнейшую особенность диспергирующего смешения ингредиентов полимерной смеси, а именно, изменение ее статистических характеристик в процессе смешения, а характерное время τ приобретает смысл времени релаксации.

Среднестатистически процесс дрейфа частиц подчиняется соотношению:

$$\Delta x \sim s|t - t_0|^H. \quad (5)$$

Отсюда, зная характерные размеры рабочей зоны, можно перейти к непосредственному расчету времени пребывания смеси в аппарате, обеспечивающему необходимую пространственную однородность смешения.

Используя описанную математическую модель, и на основании измерения расходуемой на перемешивание мощности, можно рассчитать изменение массовой функции распределения частиц перемешиваемых ингредиентов в процессе диспергирующего перемешивания.

Из анализа полученного выражения следует, что при значении параметра $H > 0,5$ интенсивность перемешивания в любой момент времени η зависит от предыстории процесса и определяется кинетическими характеристиками во все предшествующие моменты $\eta_1 \leq \eta$, а эффективный коэффициент диффузии (коэффициент перемешивания) от времени [1] зависит от времени по закону [4, 5]:

$$D_H = D(\Delta t)^{2H-1}. \quad (6)$$

Для проверки этого вывода нами были проведены численные исследования и натурные на резиносмесителе типа РС-250-40 с габаритными размерами 8500×1300×6000. В процессе экспериментов использовали два состава резиновых смесей: брекерный, протекторный.

Определение эффективного коэффициента диффузии производили методом трассера с использованием красящего вещества.

Проведенные эксперименты наглядно демонстрируют изменение эффективного коэффициента диффузии при перемешивании от времени и то обстоятельство, что это изменение хорошо описывается с помощью фрактально-диффузионной модели.

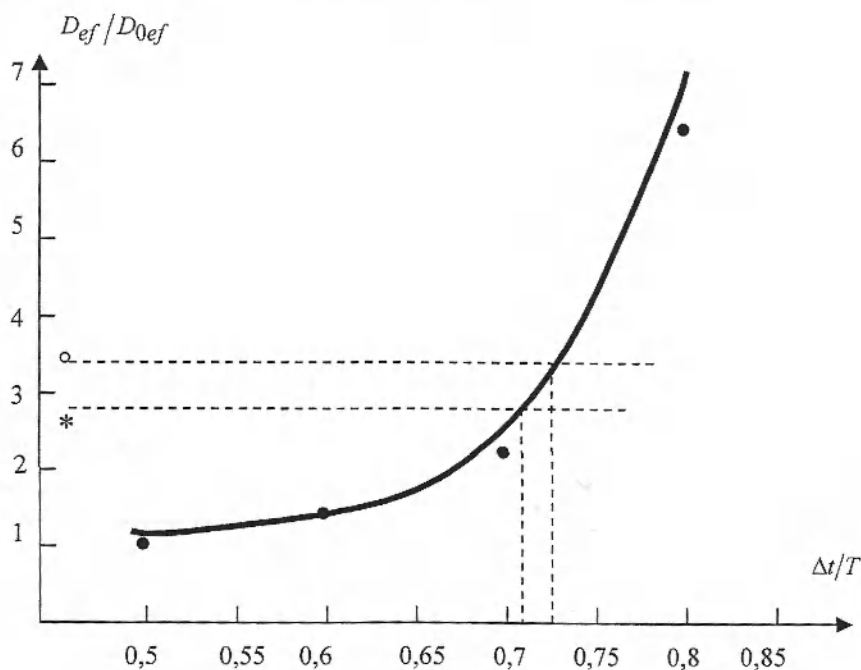
На рисунке 1 приведен график зависимости $D_{ef}(H)$ по истечении полного цикла резиносмешения. Здесь D_{0ef} - коэффициент, рассчитанный при $H = 0,5$.

Из рисунка 1 видно, что перемешивание ингредиентов с каучуком 1 хорошо согласуется с фрактально-диффузионной моделью при $H \approx 0,1$, а при перемешивании ингредиентов с каучуком 2 - при $H \approx 0,25$. Это объясняется большей вязкостью каучука 2, в то время, как каучук 1 представляет собой хрупкий материал.

Экспериментальные исследования процесса диспергирующего перемешивания были проведены в смесителе периодического действия валкового типа.

В ходе экспериментов исследовали процесс изготовления резиновых смесей на основе двух типов каучука: 1-СКМС-30 АРКМ-15 (Синтетический каучук метилстирольный с содержанием

метилстирола 30 %, А – сополимеризация проведена при низкой температуре, Р – использован регулятор, К – использована канифоль, М – маслonaполненный, 15 - содержание масла в %); 2 - СКД (синтетический каучук дивиниловый).



● - расчетные точки ; * - СКМС-30 АРКМ-15; ○ - СКД

Рисунок 1 – Идентификация модели и определение параметра Н

В процессе экспериментов производили по временной анализ дисперсного состава смеси на основе известных методик [2].

Результаты проведенных исследований убедительно, на наш взгляд, подтверждают адекватность принятой диффузионно-фрактальной модели диспергирующего перемешивания и позволяют рекомендовать ее для расчета дисперсного состава резиновых смесей.

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 Волошук В.М. Кинетическая теория коагуляции.-Л.: Гидрометеиздат, 1984.-С.324.
- 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

Қолданылған диффузионды фрактальды түрлендіруі ұсақтап араластыру процесі жүрген кезде адекватты болатындығының дәлелі және де резина қоспасының ингредиенттерінің дисперсті құрамын жаптеу тәсілі ұсынылған.

Summary

The results of research of diffusion-fractal model of dispersing mixing are given in the article. These results have approved an adequacy of the model and permit to recommend it for calculation of dispersive structure of rubber mixtures.