пайда болуы, оның дамуымен катар кернеу толкындарымен деформация әсерінен болатын гидродинамикалык акт ағымын сапаттайды.

Summary

The model of cavitate erosion of materials, building for methods mechanic of continuum heterogeneous mediums and methods of nonlinear acoustics are representated. She shows process of erosion, nucleation and growth of cracks and act hydrodynamical flow under action stress waves and deformation.

УДК 661.185-3

МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИСПЕРГИРУЮЩЕГО СМЕШЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

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

Современное технологическое производство высококачественных резин весьма сложное и включает в качестве важнейшей стадии процесс смешения каучуков с наполнителями и ингредиентами резиновых смесей. Составить полную математическую модель процесса, описывающую смешение, диспергирование и изменение структуры смеси, происходящие одновременно в объеме аппарата, не представляется в настоящее время возможным [1].

В настоящей работе представлены результаты моделирования процесса диспергирующего резиносмешения и разработки метода расчета энергозатрат на этот процесс.

Поскольку диспергирование сопровождается перестройкой структуры частиц смеси, их разрушением и образованием новых частиц, адекватной моделью является, на наш взгляд, модель блочного роста и диспергирования частиц дисперсной фазы, распределенных по размеру и по степени диспергированности [2].

В основе такого подхода лежит динамическое уравнение Смолуховского для распределения частиц с учетом взаимодействия частиц с различными внутренними степенями свободы [3]:

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho(s,n,t)+\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{ds}{dt}\rho(s,n,t)\right)=\int\rho(s_1,n_1,t)\rho(s_2,n_2,t)F(s,n/s_1,n_1;s_2,n_2)ds_1ds_2dn_1dn_2 \quad (1)$$

Здесь $\rho(s,n,t)$ - нестационарная плотность распределения частиц по степени диспергирования s и числу первичных частиц n.

Для функции F справедливо [3]:

$$F(s,n/s_1,n_1;s_2,n_2)=\frac{1}{2}R(s_1,n_1;s_2,n_2)[\delta(s-\theta(s_1,n_1;s_2,n_2))\delta(n-n_1-n_2)- \\ -\delta(s-s_1)\delta(n-n_1)-\delta(s-s_2)\delta(n-n_2)] \quad (2)$$

где $\delta(x)$- дельта функция Дирака;

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

$\theta(s_1,n_1;s_2,n_2)$- степень диспергирования частиц, образующихся при диспергирующем перемешивании частиц с параметрами s_1,n_1 и s_2,n_2.

Предполагая, что первичные частицы мало различаются по размерам, а вторичные имеют одинаковую степень диспергированности, представим плотность распределения $\rho(s,n,t)$ в виде:

$$\rho(s,n,t)=\varphi(s,t)\delta(n-1)+P(n,t)\delta(s-s^*), \quad (3)$$

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.

В смесителе непрерывного действия уравнения диспергирующего смешения можно записать в форме, более удобной для анализа и численного исследования [3]:

$$\frac{\partial\varphi\,(s,t)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial s}\left[\frac{ds}{dt}\varphi\,(s,t)\right]+\varphi\,(s,t)\int_1^\infty R\,(s,1;1,n)P\,(n,t)dn+\frac{\varphi\,(s,t)}{\tau}=0 \tag{4}$$

$$\frac{\partial P\,(n,t)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial n}\left[P\,(n,t)\int_0^1 R\,(s,1;1,n)\varphi\,(s,t)ds\right]+\frac{P\,(n,t)}{\tau}=0\,. \tag{5}$$

Здесь τ -среднее время пребывания реагирующей смеси в реакторе.

Для описания вероятностных характеристик плотности распределения частиц определим на каждом интервале времени с некоторой характерной длительностью τ, определяемой энергозатратами на перемешивание, вероятность перемещения частицы $s=\Delta x$ с помощью нормального распределения вероятностей:

$$P\,(\Delta x)=\frac{1}{\sqrt{4\pi D\,(t-t_0)}}\exp\left(-\frac{(\Delta x)^2}{4D\,(t-t_0)}\right), \tag{6}$$

в котором характерный коэффициент диффузии подчиняется соотношению Эйнштейна:

$$D=\frac{1}{2\tau}\left[M\,(s^2)\right], \tag{7}$$

где $M(s^2)$- дисперсия случайной величины s.

В соответствии с моделью обобщенного броуновского движения на многообразиях, характеризующихся сложной геометрией, [2, 3, 4]:

$$\Delta X=\frac{\Delta x}{\sqrt{2D\tau}\,(\Delta t/\tau)^H}, \tag{8}$$

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

Δ X – безразмерное перемещение частицы.

Решение уравнения для дрейфа частиц в процессе диспергирующего перемешивания известно в следующем виде [5, 6]:

$$\Delta X_H=\int_0^\eta K\,(\eta-\eta_1)dX\,(\eta_1)\Big/\Gamma\left(H+\frac{1}{2}\right), \tag{9}$$

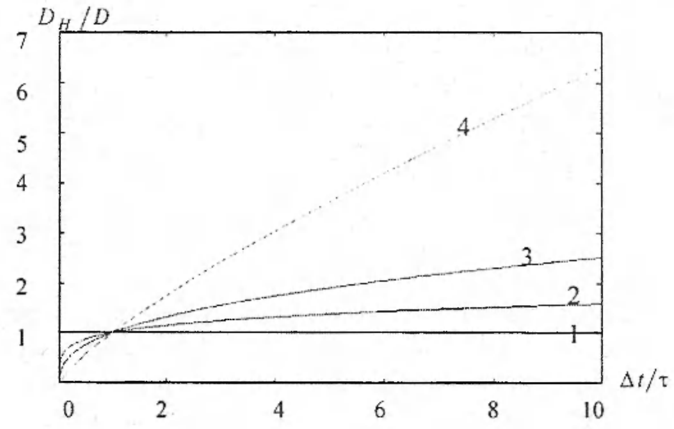
где $\Gamma\left(H+\frac{1}{2}\right)$- гамма-функция, а ядро нелокального соотношения (9) определяется следующим образом:

$$K(\eta-\eta_1)=(\eta-\eta_1)^{H-1/2}. \tag{10}$$

Подобный подход позволяет с помощью изменения показателя H учитывать предысторию процесса смешения и описывать изменение статистических характеристик полимерной смеси в процессе диспергирующего смешения. Характерное время τ приобретает смысл времени релаксации. При этом закон перемешивания при одновременном диспергировании является нелокальным, т. к. интенсивность перемешивания в момент времени $\eta=\frac{t}{\tau}$ определяется кинетическими характеристиками в предшествующие моменты $\eta_1\le\eta$, и эффективный коэффициент диффузии согласно [5, 6] зависит от времени:

$$D_H=D(\Delta t)^{2H-1}. \tag{11}$$

На рисунке 1 показаны некоторые характерные графики изменения эффективного коэффициента диффузии во времени.



1- $H=0{,}5$; 2- $H=0{,}6$; 3- $H=0{,}7$; 4- $H=0{,}9$

Рисунок 1 - Изменение эффективного коэффициента диффузии при диспергирующем перемешивании

Помимо расчета эффективного коэффициента диффузии, другой важной задачей является расчет мощности, потребляемой в процессе диспергирующего смешения ингредиентов резиновых смесей.

Эта мощность складывается, во-первых, из расхода энергии на перемешивание вязкого вещества в аппарате, и, во- вторых, из работы измельчения частиц.

Определим удельную мощность перемешивания N на единицу объема смесителя V по формуле:

$$\frac{dN}{dV}=\frac{du}{dr}\sigma, \tag{12}$$

где σ - напряжение сдвига,
u -скорость сдвига,
r - текущий радиус.

Если U - модуль вектора смешения в объеме перемешиваемого материала, то получаем

$$u\approx\frac{U}{t_m}, \tag{13}$$

где t_m - характерное время смешения, определяемое из условия достижения необходимого качества конечного продукта.

Тогда имеем:

$$\frac{dN}{dV}=\frac{\tau}{t_m}\frac{dU}{dr}=\frac{\tau\gamma}{t_m}, \tag{14}$$

где γ - деформация сдвига.

Для расчета мощности необходимо знание реологических характеристик среды в виде реологического уравнения для аномальной вязкости. Для резиновых смесей хорошей аппроксимацией является формула:

$$\eta=\mu_0\left(\frac{1}{2}I_2\right)^{\frac{1-1/n}{2}}, \tag{15}$$

где I_2 - вычисляемая величина при известной структуре потоков в объеме смесителя [7]:

Қорытынды

Резина қоспасының ингредиенттерінің ұсақтап араластыру процесіндегі жалпылама броунды қозғалыс түрлендіруіне негізделген жаңа модель 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.