

ОСОБЕННОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ПРЕСС-ФОРМ ЧАСТИЦАМИ НЕ-ИЗОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Рудь В.Д., Шыберко В.В., Повстяной А.Ю.
Луцкий национальный технический университет,
Луцк, Волынская область, Украина

Постановка проблемы. Благодаря своим свойствам порошковые материалы находят разнообразные применения во многих сферах промышленности. Получение новых материалов с качественными структурными свойствами возможно с помощью традиционной технологии порошковой металлургии. При изготовлении таких материалов с необходимым комплексом свойств нужно контролировать параметры их структуры в процессе реализации технологии на всех ее этапах. Это касается, в первую очередь, операции засыпки в пресс-формы. Известно, что реальные порошки имеют разнообразную форму и широкую гамму по гранулометрическому составу. В случае использования частиц регулярной, шарообразной формы получим материалы с более или менее однородными свойствами по объему. Ситуация осложняется при использовании частиц нерегулярной формы. Исследовать структуры и физико-механические характеристики заготовок, полученных с помощью таких частиц, в натуральных экспериментах сложно по причине большого разнообразия порошков по форме и размерам. Поэтому исследование структуры таких материалов на базе частиц нерегулярной формы методом компьютерно - имитационного моделирования является актуальной задачей.

Анализ последних публикаций. Анализ структурно-неоднородных материалов проводят научные коллективы под руководством Р.М. Кадушникова, И.Г. Каменина, Ю.Н. Крючкова. Особенность этих работ заключается в том, что моделируются структурные характеристики материалов, изготовленные из частиц регулярной формы. Рассматриваются варианты моно- и полидисперсной засыпки. В работе В.Д. Рудя, В.В. Сергеева, Т.М. Павлыго, Г.Г. Сердюка, Л.И. Свистуна представлены результаты компьютерно-имитационного моделирования засыпки сферических частиц двух типоразмеров. Полученные результаты качественно воспроизводят процесс заполнения пресс-формы [2, 4, 5].

Цель работы: разработать компьютерно - имитационную модель засыпки пресс-форм различной формы частицами нерегулярной формы, а также провести визуальный анализ параметров образованных в результате структур.

Основные результаты исследования. Некоторые физико-структурные характеристики материалов в той или иной степени зависят от формы частиц, поэтому при исследовании этих характеристик на математических моделях необходимо учитывать отклонения формы частиц от сферической. В качестве критерия нерегулярности нами использован такой параметр формы частиц, как отношение от малого до большого размеров частиц. На рисунке 1 показано окно программы при использовании частиц в форме эллипсов [1, 2, 3].

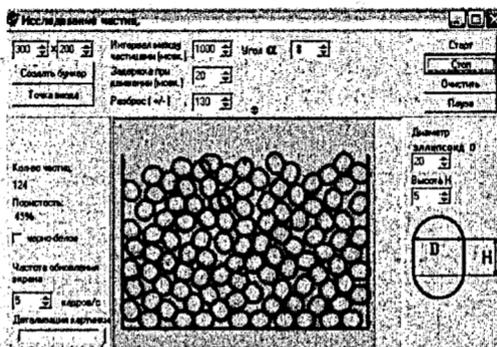


Рисунок 1 – Вид окна заполнения частиц нерегулярной формы

При разработке компьютерно-имитационной модели использованы следующие условия: каждый элемент в упаковке описывается девятью обобщенными координатами центра, длинами трех полуосей и трех узлов Эйлера (направляющих осей эллипсоида). Эллипсоиды вращения являются частным случаем трехосного эллипсоида, в котором две оси равны. Итак, эллипсоиды вращения полностью описываются восемью обобщенными координатами. Условия не пересечения двух эллипсоидов определить значительно сложнее, так как они связаны с нахождением отсутствующих корней системы двух эллиптических уравнений. Аналогично определяют условия непересечения эллипсоидов с границами гипотетического контейнера. Эти условия не имеют аналитической записи, решение проводится только численными методами. Покажем последовательность этих операций, обозначив элементы определителя преобразований через:

$$\begin{aligned}
 l_1 &= \cos \varphi \cos \psi - \cos \theta \sin \psi \sin \varphi; \\
 m_1 &= \sin \psi \cos \varphi - \cos \theta \cos \psi \cos \varphi; \\
 n_1 &= \sin \theta \sin \varphi; \\
 l_2 &= -\cos \psi \sin \varphi - \cos \theta \sin \psi \cos \varphi; \\
 m_2 &= -\sin \psi \sin \varphi - \cos \theta \cos \psi \cos \varphi; \\
 n_2 &= \sin \theta \cos \varphi; \\
 l_3 &= \sin \theta \sin \psi; \\
 m_3 &= -\sin \theta \cos \psi; \\
 n_3 &= \cos \theta
 \end{aligned} \tag{1}$$

где φ – угол вращения вокруг новой оси аппликат;

ψ – угол между осью абсцисс и прямой пересечения координатных плоскостей с постоянной аппликатой;

θ – угол между осями аппликат.

Углы φ , ψ , θ являются обобщенными координатами эллипсоида в пространстве. В свою очередь, фактор формы при моделировании задается случайным значением этих углов, отражающих индивидуальные структурные свойства материалов. Результаты расчетов угла вращения относительно осей координат, а также фактора формы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость пористости от угла и фактора формы

Q, %	α , град	Q, %	FF
0,35	0-10	0,35	0,9
0,45	8-9	0,45	0,8
0,55	7-8	0,55	0,7
0,65	5-6	0,65	0,5
0,75	2-4	0,75	0,3

Учитывая (1) уравнения i -го эллипсоида, получим следующий вид:

$$\frac{(l_{1i}x + l_{2i}y + l_{3i}z + x_i)^2}{a_i^2} + \frac{(m_{1i}x + m_{2i}y + m_{3i}z + y_i)^2}{b_i^2} + \frac{(n_{1i}x + n_{2i}y + n_{3i}z + z_i)^2}{c_i^2} = 1, \quad (2)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты эллипсоида; a_i, b_i, c_i – длины полуосей, обобщенные координаты i -го эллипсоида.

Из уравнения (2) определим z в виде выражения:

$$z = f_1(x, y) \pm \sqrt{g_i(x, y)}, \quad (3)$$

где $f_1(x, y)$ и $g_i(x, y)$ многочлены второй степени, которые рассчитаны коэффициентами преобразования (1) и другими обобщенными координатами.

Для определения непересечения i -го и j -го эллипсоидов применяем следующее выражение:

$$\varphi_{ij}(x, y) = f_i(x, y) - f_j(x, y) - \sqrt{g_i(x, y)} - \sqrt{g_j(x, y)}, \quad (4)$$

который является разницей второй части кривой (3) i -го эллипсоида, а также верхней части j -го эллипсоида, если $z_i > z_j$. В области определения $\varphi_{i,j}(x, y)$ это выражение имеет положительный минимум. Если эллипсоиды не пересекаются, будет выполняться следующее условие:

$$\min \varphi_{i,j}(x, y) \geq 0, \quad (5)$$

где $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j$, тогда все n эллипсоиды будут образовывать упаковку нерегулярной формы.

Из полученных данных компьютерно - имитационного моделирования засыпок эллипсоидов в пресс-формы можно сделать вывод, что фактор формы выступает в качестве показателя характеризующего параметра изменения структуры и пористости заготовки. В дальнейших исследованиях с целью определения фактических структурных изменений заготовок планируются эксперименты упаковки эллипсов в зависимости от размеров частиц и их гранулометрического состава.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, С.В. Пористые проницаемые материалы: справочник. – М.: Металлургия, 1987. – 332 с.
2. Кадушников, Р.М. Геометрическое моделирование структуры материалов // Порошковая металлургия. – 1989. – 140 с.
3. Каменин, И.Г. Имитационное моделирование случайной неоднородной структуры порошков // Порошковая металлургия. – 1997. – 302 с.
4. Крючков, Ю.Н. Оценка структурного совершенства пористых материалов // Порошковая металлургия. – 1996. – 220 с.
5. Рудь, В.Д. Имитационная модель засыпки частиц порошков и ее использование при разработке технологии приготовления шихты карбидосталей // Моделирование в материаловедении. – 2006. – 320с.