

УДК 669.01: 621.9

6

Е.В. ШТЕФАН, канд. техн. наук, НУХТ, г. Киев, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлен основні принципи і методика побудови математичної моделі процесів механічної обробки дисперсних матеріалів. Розглянуті приклади практичного використання розроблених моделей в технологіях пресування керамічних мас, процесах обробки волого насичених дисперсних систем, формуванні та ущільненні силікових матеріалів

The basic principles and technique of mathematical model construction of processes of machining disperse materials are submitted. The examples of practical application of the developed models in technologies of pressing of ceramic weights, processes of the sated by a moisture disperse systems processing, forming and condensation of loose materials are considered

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими заданиями. Многие типы технологического оборудования горнорудной, энергетической, химической, фармацевтической и пищевой отраслей промышленности предназначены для измельчения, смешивания, разделения и уплотнения дисперсных материалов (ДМ) в зависимости от

назначения их переработки. Интенсификация соответствующих производственных процессов обуславливает все более жесткие требования к показателям эффективности работы основных технологических систем. Поэтому при проектировании таких машин и аппаратов необходимо определение взаимосвязи между конструктивными (размеры рабочих зон машин, форма и скорости движения рабочих органов и т.п.) и технологическими (производительность машины, давление, температура, физико-механические характеристики обрабатываемого материала и т.п.) параметрами. Традиционный подход к проектированию такого типа оборудования основан на эмпирических зависимостях и экспериментальном опыте [1] и не позволяет дать количественную оценку взаимовлияния конструктивно-технологических параметров процессов обработки и структурно-механических характеристик сырья. Поэтому задача по использованию современных методов математического моделирования, позволяющих имитировать соответствующие процессы в реальных пространственно-временных измерениях, является актуальной.

Анализ последних исследований в области механической обработки (ДМ) свидетельствует, что для эффективного проектирования соответствующего технологического оборудования необходимо учитывать структурно-механические особенности обрабатываемых материалов и, в первую очередь, такие их реологические свойства, как упругость, пластичность, вязкость. В работах [1,2,4] заложены основные принципы построения математических моделей процессов механической обработки ДМ. Для повышения эффективности практического использования подобных математических моделей необходимо дальнейшее их совершенствование, направленное на возможность учета максимального количества конструктивно-технологических параметров.

Постановка задания заключается в разработке и апробации на конкретных примерах математических моделей процессов обработки ДМ.

В основу построения соответствующих математических моделей положена концепция представления ДМ в виде двухфазных смесей пористой или зернистой твердой деформированной структуры заполненной жидкостью или газом [1]. Для описания поведения ДМ использованы понятия напряжений, деформаций, плотности, а также скорости изменения этих параметров. Эти тензорные и скалярные характеристики имеют локальную природу и определяются при помощи операций предельного перехода, когда элементы пространства (объемы и поверхности) стягиваются к точкам. Поскольку каждая

дискретная частица дисперсной фазы взаимодействует с соседними частицами, распределение напряжений в ней неоднородно. Поэтому, для упрощения математического описания механического поведения ДМ будем использовать для соответствующих параметров пространственное осреднение по твердой и газо-жидкой фазам [5].

По аналогии с [1] общую методику разработки математической модели можно представить последовательностью следующих этапов:

1. Формулировка аналитических зависимостей, которые содержат параметры, описывающие расчетную схему объекта исследований. Эти соотношения должны иметь вид замкнутой системы уравнений, которая описывает поведение объекта исследований в реальных пространственно-временных измерениях (краевая задача математической физики).

2. Решение сформулированной задачи и разработка последовательности действий (алгоритма) по преобразованию входных параметров в выходные.

3. Реализация разработанного алгоритма в виде компьютерной программы, которая обеспечит автоматизацию проведения вычислительных экспериментов.

Каждый из вышеупомянутых этапов представляет собой отдельную, иногда, достаточно сложную задачу. Результатом выполнения каждого с данных трех этапов будем считать создание соответственно трех взаимосвязанных моделей - аналитической, алгоритмической и цифровой.

Таким образом, под математической моделью будем понимать теоретическую разработку в виде аналитической, алгоритмической и цифровой моделей, которая отображает все свойства объекта исследований в пределах разработанной расчетной схемы и позволяет автоматизировать её практическое использование с применением компьютерных технологий.

Аналитическая модель определяется свойствами объекта исследований и проблемной ориентации поставленной задачи [4]. В основу построения аналитической модели положены фундаментальные законы сохранения, которые описывают свойства объекта исследований. Конкретизация технологического процесса, для рассмотрения которого используется данная модель, реализуется заданием особенностей деформирования твердой фазы (реологии) и соответствующих режимов пространственно-временного изменения граничных условий. При этом учет движения жидкой фазы осуществляется заданием кинетики изменения объемных содержаний фаз, обусловленных фильтрационным механизмом [5].

Алгоритмическая модель состоит из таких основных частей [1]:

- решение сформулированной краевой задачи проекционно-сеточными методами: конечных элементов по пространственным переменным и конечных разностей по часовому аргументу;
- разработка вычислительных алгоритмов, которые реализуют типовые процессы взаимодействия ДМ с рабочими элементами технологического оборудования (например: прессование, смешивание, штампование, формоизменение, измельчение и т.д.).

Разработанные алгоритмы реализованы в виде программного вычислительного комплекса PLAST-002 (цифровая модель) [1]. Использование 32-современной разрядной архитектуры в среде WINDOWS дает возможность выполнять расчеты практически неограниченной сложности - размеры задач, которые решаются, изменяется в широких границах и достигает десятков тысяч узлов дискретной модели объекта исследований.

Разработанная математическая модель использована при рассмотрении ряда практических задач по определению рациональных конструктивно-технологических параметров для следующих технологий обработки ДМ.

При анализе технологии получения высокопрочных электроизоляционных изделий рассмотрен процесс мундштучного **прессования керамических масс** методом экструзии [6]. Проведены вычислительные эксперименты по определению рациональных конструктивно-технологических параметров промышленного оборудования для обработки (формования) пластичных керамических масс с целью получения необходимой ориентации структуры материала. Предложен оригинальный метод мундштучного прессования с противодавлением, целью которого является повышение уровня сжимающих напряжений в материале при выходе жгута из мундштука (матрицы), что позволяет снизить или совершенно устранить эффект растяжения материала и, тем самым, повысить качество изделия.

Выполнено моделирование процессов **обработки ДМ материалов** с использованием **транспортно прессующих шнековых машин** [5, 7]. Проведен анализ взаимосвязи между конструктивными (размеры межвиткового пространства, частота вращения вала и т.п.) и технологическими (производительность, физико-механические характеристики обрабатываемого материала, давление в объеме прессуемого материала и т.п.) параметрами машины. Полученные результаты дают возможность определить влияние параметров винта шнека (изменение шага витка, диаметра вала и скорости его обраба-

ния) на характеристики выхода жидкой фазы и кинетику давления в материале, который прессуется.

Для повышения эффективности автоматизированного формирования транспортных пакетов из мягкой тары (мешков, пакетов и др.) с сыпучими материалами рассмотрена задача профилирования (формования) – пакету, наполненному сыпучим продуктом задается форма, приближенная к параллелепипеду [8]. Разработанная модель позволяет проследить структурные деформации ДМ, а также перемещение твердых частичек из более уплотненных зон пакета в менее уплотненные. Введение в алгоритмическую модель дополнительных критериальных условий позволяет анализировать разрушение зерен ДМ в процессе формования пакета.

Для разработки информационной технологии проектирования процессов гранулирования ДМ — отходов деревообрабатывающей, угольной, пищевой и др. промышленности выполнено моделирование процессов прессования ДМ методами экструзии [9].

Выводы. Предложенные модели являются эффективным инструментом для анализа закономерностей поведения ДМ в различных технологиях их обработки. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения предложенных методов в проектной практике.

Список литературы: 1. Штефан Є.В. Моделювання поведінки дисперсних систем у нерівноважних процесах харчових виробництв // Наукові праці УДУХТ – 2000 – № 8 – С. 63 – 66. 2. Штефан Є.В. Інформаційна технологія проектування технологічного обладнання для механічної обробки дисперсних матеріалів // Межд. период. сб. науч. тр. «Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование» – Одесса: НПО «ВОТУМ» – 2002 – Вып. 12 – С. 72 – 78. 3. Валентас К.Д. Пищевая инженерия, справочник с примерами расчетов, пер. с англ. / К.Д. Валентас, С. Ротштейн, Р.П. Сингх. – СПб.: Профессия, 2004 – 848 с. 4. Штефан Е.В. Построение аналитической модели процессов деформирования дисперсных материалов / Е.В. Штефан, С.И. Блаженко // Межд. период. сб. науч. тр. Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование – Одесса: НПО «ВОТУМ» – 2003 – Вып. 13 – С. 26 – 33. 5. Штефан Є.В. Розрахунок кінетики відокремлення фаз при пресуванні дисперсних матеріалів у шнекових пристроях / Є.В. Штефан, Б.П. Ващенко // Наукові праці НУХТ – Київ, 2006 – № 18 – С. 81 – 83. 6. Абрамов В.И. Разработка информационной технологии проектирования процессов производства электротехнического фарфора с повышенными прочностными характеристиками / В.И. Абрамов, Е.В. Штефан, Н.Г. Крицук // Энергетика и электрификация – 1999 – № 6 – С. 47 – 58. 7. Штефан Е.В. Проектирование транспортно-прессующих шнековых устройств для дисперсных материалов / Е.В. Штефан, Б.П. Ващенко // Збірник наукових праць НГУ – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет – 2005 – № 21 – С. 8 – 12. 8. Чуприна А.В. Математичне моделювання процесу профілювання м'якої транспортної тари із сыпучою продукцією / А.В. Чуприна, Є.В. Штефан, О.М. Гавва // Наукові