

Л.Е. ТРОФИМОВА, канд. техн. наук, доц., ОГАСА, Одесса,

Н.Б. УРЬЕВ, д-р хим. наук, проф., ИФХЭ РАН, Москва, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКЕ И В ТЕХНОЛОГИИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ И МАТЕРИАЛОВ

Предложено для описания аномального поведения некоторых дисперсных систем и материалов привлечь топологический подход, основанный на теории катастроф. Проанализированы процессы структурообразования дисперсных систем в динамических условиях. На конкретных примерах показана целесообразность использования данного методического подхода в комплексе с принятыми инструментальными способами исследования свойств структурированных дисперсий и материалов на их основе.

Ключевые слова: дисперсные системы, топологическое моделирование, структурообразование, физико-химическая динамика.

Одесской государственной академией строительства и архитектуры совместно с Лабораторией высококонцентрированных дисперсных систем Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской АН в течение ряда лет проводится комплекс исследований, цель которых – установление закономерностей образования, устойчивости и разрушения структурированных дисперсных систем в гетерогенных химико-технологических процессах получения строительных материалов с заданной структурой и прогнозируемыми эксплуатационными показателями при снижении ресурсоемкости их производства. Исследовательская программа предусматривает решение задач, связанных с описанием и анализом таких явлений, когда увеличение интенсивности технологических воздействий приводит к качественно новому поведению системы. Методологическая основа исследований – анализ процессов структурообразования дисперсных систем в динамических условиях с позиций синергетики и теории катастроф.

Математическая модель. Известно, что строительные композиты (растворы и бетоны на основе минеральных или органических вяжущих веществ, шликеры для изготовления керамики и множество подобных дисперсий) могут трактоваться как самоорганизующиеся системы, эволюция которых в пространстве и времени сопровождается образованием диссипативных структур.

© Л.Е. Трофимова, Н.Б. Урьев, 2013

Поскольку для большинства указанных выше систем характерны скачкообразные явления, обусловленные нарушением непрерывности развивающихся процессов различных типов, предлагается [1, 2] дополнить синергетический подход к изучению особенностей структурообразования методами теории катастроф, исследующей внезапные качественные перестройки систем в результате плавного изменения внешних условий или внутренних свойств.

Понимание природы аномального реологического поведения дисперсий открывает возможность реализации оптимального динамического состояния системы и соответствующего ему уровня изотропного разрушения структуры, что является необходимым условием получения материалов с заданными свойствами [3, 4]. Таким образом, вопрос об информативной интерпретации нетривиальных вискозиметрических данных практически важен для решения многих материаловедческих задач.

По классификации Г.М. Бартенева и Н.В. Ермиловой для структурированных дисперсных систем характерно существование двух типов кривых течения. Достаточно хорошо изученным реологическим кривым типа I присуща однозначная зависимость вязкости η и градиента скорости сдвига $\dot{\epsilon}$ от напряжения P . У менее изученных кривых типа II наблюдаются области изменения вязкости или скорости развития деформации, которым соответствует неоднозначное изменение напряжения: падение P в определенном интервале $\dot{\epsilon}$. Такой аномальный эффект проявляется в S-образной форме указанных выше зависимостей.

Возможная трактовка аномалии процесса течения как следствия образования в деформируемой системе локального разрыва сплошности структуры (т.е. сдвиг не распространяется на весь объем дисперсии), по-видимому, впервые была дана в [3, 4]. Теория этого явления развита в [5, 6] на основе представлений о наличии в структуре локальных микродефектов, коалесценция которых в условиях сдвига обуславливает зарождение макронеоднородности. При этом учитывается соотношение времен релаксации процессов, протекающих вблизи зародыша разрыва при его развитии. Предложенный подход достаточно точно описывает основную особенность кривой $\eta(P)$ концентрированных суспензий – появление на ней при низких значениях P области «плато», связанной с образованием разрыва. Разрыв сплошности экспериментально обнаруживается [4] по резкому спаду напряжения сдвига при достижении критической для данной системы скорости деформации по

мере ее повышения в очень узком интервале значений. Последующий рост P с увеличением $\dot{\epsilon}$ отражает поведение системы только в области разрыва, а не во всем ее объеме. Такое явление приводит к искажению результатов измерений и соответственно к невозможности построения полной реологической кривой. Об этом свидетельствует отсутствие воспроизводимости кривых течения при «движении сверху вниз и наоборот» (наличие петель гистерезиса).

С целью дальнейшего развития представлений об эволюции структурированных дисперсий целесообразно дополнить [1, 2] объяснение их аномального поведения особенностями коагуляции в динамических условиях моделями синергетики и теории катастроф. Поскольку наглядной иллюстрацией кардинальных изменений в характере течения структурированных дисперсных систем являются S -изломы реологических кривых, предполагается, что их аномальный ход идентичен стандартной кривой множественных стационарных состояний. Все точки, лежащие на верхнем и нижнем участках этой кривой, относятся к устойчивым, а принадлежащие промежуточному участку – к неустойчивым стационарным состояниям в системе. Такой экстремальный характер зависимости отображает возможность существования трех стационарных режимов при одном и том же значении некоторого управляющего параметра. Точки перегиба кривой соответствуют бифуркационным значениям параметра, при которых происходят скачкообразные переключения из одного режима в другой, а также изменяется число стационарных состояний с одновременным изменением типа устойчивости, причем неустойчивые состояния на промежуточном участке практически никогда не реализуются в реальных системах. Следовательно, модельной зависимости свойственны качественные признаки, характерные в общем случае для кривых течения типа II. Необходимо отметить, что аналогия, видимо, не только внешняя, но и смысловая: в соответствии с Г.М. Бартеневым и Н.В. Ермиловой в некоторой области резкого падения вязкости η при одном и том же напряжении сдвига P наблюдаются два устойчивых и один неустойчивый режимы течения. Этот факт с точки зрения динамики и организации неравновесных систем может трактоваться, вероятно, как бистабильность. Таким образом, предполагается, что стандартную S -образную зависимость целесообразно рассматривать как наиболее адекватную модель реальной картины потери первоначальной устойчивости потока и перехода на новый устойчивый режим течения. Данное допущение в ситуациях, когда получение экспериментальных данных затруднено, позволяет прогнозировать характер реологических кривых.

В случае кривых течения, область возврата напряжений на которых обусловлена разрывом сплошности, данная модель, по всей видимости, описывает явление скачкообразного перехода деформируемой системы из состояния с практически неразрушенной структурой в качественно новое состояние со специфическим слоистым характером разрушения. «Пороговые» напряжения, при которых фиксируются видоизменения кривых течения, рассматриваются как бифуркационные. Расположенный между точками перегиба аномальный участок соответствует, скорее всего, нереализующимся состояниям объемного изотропного разрушения структуры, так как получение полной реологической кривой в диапазоне вариации эффективной вязкости $\eta_{эфф}$ от значений наибольшей вязкости практически неразрушенной структуры до минимальной вязкости предельно разрушенной структуры осуществимо лишь при «чистом однородном сдвиге». Нижний участок универсальной графической зависимости в этой ситуации отвечает искаженным результатам измерений, отображающим фактически только процессы трения между ограниченными поверхностями скольжения слоями и возможного частичного разрушения структуры в непосредственно примыкающих к разрыву зонах. Такой подход в соответствии с экспериментальными данными трактует скачок на реологической кривой как следствие развития при внешних воздействиях из микронеоднородностей структуры дисперсии макронеоднородности – разрыва сплошности [1, 2, 4].

Для достаточно широкого класса дисперсных систем (в частности, на минеральных вяжущих) может быть получен полный набор реологических кривых с возрастающей S-образностью по мере увеличения концентрации твердой фазы φ , значение которой регламентирует саму вероятность возникновения разрыва сплошности и его вид. С учетом такого эффекта представляется информативным трактовать образование и развитие аномальности течения при сдвиговом деформировании как катастрофу «сборка», поскольку рассмотренная кривая стационарных состояний представляет собой ее попеременные сечения при фиксированных значениях φ . При этом стандартная модельная поверхность, обобщая отдельные эффекты, наглядно иллюстрирует качественные структурные перестройки дисперсий в ходе их эволюции в динамических условиях. Возможность такого модельного обобщения свидетельствует об общем характере рассматриваемого явления.

Необходимо отметить, что при моделировании реальных ситуаций с внезапными катастрофическими перестройками режимов следует учитывать на-

личие двух основных направлений, связывающих геометрию катастроф с исследуемой системой (принципы максимального промедления и Максвелла). Выбор одного из принципов определяется природой самого явления. Так, гистерезис является одной из основных качественных особенностей катастрофы «сборка» при использовании принципа максимального промедления.

Выводы:

Решение проблемы управления технологическими процессами с участием дисперсных систем требует анализа поверхностных явлений и прежде всего контактных взаимодействий между дисперсными фазами, а значит, процессов образования и разрушения дисперсных структур в условиях динамических воздействий на системы. Привлечение новых представлений для описания дисперсных систем и материалов в динамических условиях обуславливает возможность моделирования общей картины происходящих процессов, что способствует предсказанию и изучению отдельных аномальных явлений, наблюдающихся при течении структурированных дисперсий, а также определяет направления оптимизации различных ситуаций как исследовательского, так и прикладного характера.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-03-00473).

Список литературы: 1. Урьев Н.Б. О возможности анализа кривых течения структурированных дисперсных систем с позиций теории катастроф / Н.Б. Урьев, Л.Е. Трофимова // Коллоидный журнал. – 2003. – Т. 65, № 3. – С. 411 – 417. 2. Трофимова Л.Е. Моделирование процессов структурообразования дисперсных систем и материалов / Л.Е. Трофимова, Н.Б. Урьев. – Одесса: Астропринт, 2011. – 36 с. 3. Урьев Н.Б. Коллоидный цементный клей и его применение в строительстве / Н.Б. Урьев, Н.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1967. – 176 с. 4. Урьев Н.Б. Высококонтрированные дисперсные системы / Н.Б. Урьев. – М.: Химия, 1980. – 320 с. 5. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Н.Б. Урьев. – М.: Химия, 1988. – 256 с. 6. Урьев Н.Б. Текучесть суспензий и порошков / Н.Б. Урьев, А.А. Потанин. – М.: Химия, 1980. – 256 с.

Поступила в редколлегию 15.06.13

УДК 544.77:66.063.6(063)

Применение топологического моделирования в физико-химической динамике и в технологии дисперсных систем и материалов / Л.Е. ТРОФИМОВА, Н.Б. УРЬЕВ // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 57 (1030). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 137 – 142. – Бібліогр.: 6 назв.

Запропоновано для опису аномальної поведінки деяких дисперсних систем і матеріалів повернути топологічний підхід, заснований на теорії катастроф. Проаналізовані процеси структуроутворення

ня дисперсних систем в динамічних умовах. На конкретних прикладах показана доцільність застосування даного методичного підходу в комплексі з прийнятими інструментальними способами дослідження властивостей структурованих дисперсій і матеріалів на їх основі.

Ключові слова: дисперсні системи, топологічне моделювання, структуроутворення, фізико-хімічна динаміка.

It is suggested for description of aberrant behavior of some disperse systems and materials to attract the topology approach based on the theory of catastrophes. The processes of disperse systems formation are analysed in dynamic conditions. Specific examples were used to demonstrate the expediency of the use of this methodical approach in a complex with the accepted instrumental methods of research of properties of the structured disperse systems and materials on their basis.

Keywords: disperse systems, topological modeling, structure formation, physical and chemical dynamics.

УДК 622.74: 621.928.235

В.П. ФРАНЧУК, д-р техн. наук, проф., НГУ, Днепропетровск,
В.П. НАДУТЫЙ, д-р техн. наук, проф., НГУ, Днепропетровск,
П.В. ЛЕВЧЕНКО, мл. науч. сотруду., ИГТМ НАН Украины,
Днепропетровск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛА С УЧЁТОМ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВИБРОГРОХОТА

В статье представлены аналитические выражения для определения траектории движения части горной массы на просеивающей поверхности грохота с регулируемой пространственной траекторией колебаний. Полученные уравнения позволяют исследовать путь перемещения частей материала разной массы и плотности.

Ключевые слова: математическая модель, траектория движения, виброгрохот, просеивающая поверхность.

Вибрационная классификация горной массы по крупности является одной из основных операций при переработке минерального сырья. Данная операция получила широкое распространение в различных отраслях промышленности, таких как горная, строительная, металлургическая, химическая, пищевая, а также при переработке техногенного сырья. На всех этих предприятиях эксплуатируется более тысячи различных типоразмеров вибрационных грохотов, отличающиеся как конструктивно, так режимами их работы.

© В.П. Франчук, В.П. Надутый, П.В. Левченко, 2013