



Трофимова Л. Е.

Трофимова Л. Е., к.т.н., доцент,
доцент кафедры технологии строительного производства,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029,
тел. +38(048)7236151, e-mail: lara.reverberator@mail.ru

L. Trofimova, candidate of technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Technology of building production,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
4, Didrihsona st., Odessa, 65029, Ukraine,
tel. +38(048)7236151, e-mail: lara.reverberator@mail.ru

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СВОЙСТВ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ДИСПЕРСИЙ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

ТОПОЛОГІЧНИЙ ОПИС ВЛАСТИВОСТЕЙ СТРУКТУРОВАННИХ ДИСПЕРСИЙ ТА КОМПОЗИТІВ НА ЇХ ОСНОВІ

TOPOLOGICAL DESCRIPTION OF PROPERTIES OF THE STRUCTURED DISPERSE SYSTEMS AND COMPOSITION MATERIALS ON THEIR BASIS

Анотация. Предложено для описания аномального реологического поведения некоторых дисперсных систем и материалов привлечь топологический подход, базирующийся на теории катастроф. Приведены примеры использования данного подхода при исследовании эффектов, характерных для сдвигового течения структурированных дисперсий. Проанализированы процессы структурообразования дисперсных систем при динамических воздействиях.

Ключевые слова: дисперсные системы, структурообразование, физико-химическая динамика, топологический подход.

Анотація. Запропоновано для опису аномальної реологічної поведінки деяких дисперсних систем і матеріалів привернути топологічний підхід, що базується на теорії катастроф. Наведені приклади застосування цього підходу при дослідженні ефектів, що є характерними для деформації зсуву структуризованих дисперсій. Проаналізовані процеси структуроутворення дисперсних систем в динамічних умовах.

Ключові слова: дисперсні системи, структуроутворення, фізико-хімічна динаміка, топологічний підхід.

Annotation. It is suggested for description of abnormal rheological behavior of some disperse systems and materials to attract the topology approach based on the theory of catastrophes. Such an approach is demonstrated by the results of studying phenomena typical of the shear flow of structured dispersions. The processes of disperse systems formation are analysis in dynamic conditions.

Keywords: disperse systems, structure formation, physics-chemical dynamics, topological approach.

Постановка проблемы

Как известно, основной причиной неэффективности разнообразных технологических процессов, приводящей к значительному снижению эксплуатационных показателей строительных материалов, является возникновение разрывов сплошности в деформируемых базовых структурированных дисперсиях. В этой связи решение комплексной проблемы получения дисперсных строительных композитов с высоким уровнем структурно-механических свойств при уменьшении энергоемкости их производства неразрывно связано с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области физико-химии высококонцентрированных и высокодисперсных исходных систем.

Анализ последних исследований и публикаций

Такие существенно различные с точки зрения технологии процессы как перемешивание, трубопроводный транспорт смесей, укладка, формование, уплотнение неизбежно сопровождаются возникновением и разрушением дисперсных структур. Поэтому определяющие элементы регулирования этими процессами должны основываться на современных представлениях и принципах физико-химической динамики – нового научного направления физико-химии дисперсных систем, развитого в последние годы Н.Б. Урьевым и его школой [1].

С позиций физико-химической динамики необходимым условием получения материалов с заданными структурно-механическими характеристиками является достижение максимальной текучести и соответствующего ей наименьшего уровня вязкости предельно и изотропно разрушенной структуры, т.е. создание «предельного» изотропного динамического состояния высококонцентрированных и высокодисперсных систем. В

связи с этим актуально выявление возможных универсальных сценариев эволюции структурированных дисперсий в неравновесных динамических условиях технологических процессов.

Цель статьи

Главной целью этой работы является установление закономерностей образования, сохранения устойчивости или разрушения дисперсных структур в гетерогенных физико-химических процессах получения высококачественных строительных композитов с позиций теории катастроф.

Изложение основного материала

Как указывается в [1], основу физико-химической динамики дисперсных систем и материалов составляет динамика контактных взаимодействий между частицами дисперсных фаз в процессах образования и распада структур преимущественно на начальных стадиях технологии. Для описания процессов развития дисперсных структур при вынужденной конвективной диффузии дисперсных фаз традиционно используются методы, основанные на построении и анализе полных реологических кривых.

Такие кривые, полученные с помощью ротационных вискозиметров, выражают зависимость эффективной сдвиговой вязкости η от градиента скорости деформации $\dot{\epsilon}$ или напряжения сдвига P при обязательной реализации изотропности разрушения находящейся в измерительной ячейке системы. В этих условиях сдвиг с заданной скоростью распространяется на весь зазор («чистый однородный сдвиг» по Ребиндеру), чем и определяется изотропный характер разрушения структуры.

Необходимо отметить, что соблюдение «чистого одностороннего сдвига» в общем случае нарушается при достижении и превышении некоторой критической концентрации элементов микронеоднородностей в объеме системы. Деформация систем при этом сопровождается необратимым локальным разрывом сплошности [1, 2]. В результате сдвиг распространяется не на весь зазор, а реализуется в относительно тонком слое при сохранении неразрушенной или значительно менее разрушенной структуры в зонах, непосредственно примыкающих к поверхностям разрыва. Таким образом, сдвиговое деформирование дисперсных систем в зазоре коаксиальных цилиндров приводит к существенной перестройке микроструктуры с образованием и развитием одной или нескольких локальных зон сдвига в зависимости от концентрации дисперсной фазы в дисперсионной среде. Этот эффект означает нарушение континуума в изменении линейной скорости по сечению зазора при превышении скорости деформации. Одним из вероятных факторов возникновения локальных зон скольжения, эквивалентных разрыву сплошности, является скачок концентрации вблизи границы образующейся в ходе деформации макронеоднородности.

Момент появления разрыва и последующее его развитие в процессе деформации исключает распространение сдвига на весь объем системы, что делает невозможным достижение минимального уровня вязкости и предельного разрушения структуры, т.е. реализации принципа оптимального динамического состояния дисперсных систем [1]. Разрывы сплошности экспериментально выявляются по резкому спаду напряжения сдвига при достижении критической для конкретной дисперсии скорости деформации. Последующий рост P с увеличением $\dot{\epsilon}$ отражает поведение системы лишь в области разрыва, а не во всем ее объеме. Об этом свидетельствует нестандартный (S-образный) ход кривых течения.

В настоящее время накоплен значительный объем результатов экспериментальных исследований формирования структур в разнообразных дисперсиях, служащих основой для получения строительных материалов. Анализ собранных данных показал, что существует целая категория скачкообразных явлений, наглядной иллюстрацией которых служат S-образные перегибы на реологических, кинетических и прочих графических зависимостях. Важно отметить, что вид таких нетривиальных экспериментальных графиков подобен геометрии стандартной кривой стационарных состояний, что и предопределяет возможность привлечения топологической модели типа «сборка» для изучения различных аномальных эффектов [1, 3].

В частности, подобные закономерности экстремального характера также обнаружены [4] при исследовании влияния на реологию водных дисперсий

кальциевого бентонита грубодисперсной фазы – кварцевого песка с различной крупностью зёрен. На рис. 1 отображено влияние объёмной концентрации ϕ (10, 30 и 50%) грубого наполнителя размером 0,22 мм на конфигурацию графических зависимостей крутящего момента M (н·м) на внутреннем цилиндре ротационного вискозиметра «Reotron» от числа оборотов n (об/мин) внешнего цилиндра. Сопоставление полученных результатов подтвердило предположение о существенном изменении реологического поведения композиций по мере роста ϕ , что и проявилось в качественно различном характере экспериментальных кривых. Геометрия кривой 3 с чёткой S-образностью может быть объяснена образованием зон скольжения в деформируемой системе при повышении содержания грубодисперсной фазы до 50%. Аналогично аномальные эффекты (но в области более высоких ϕ) зарегистрированы и для дисперсий, содержащих грубый наполнитель с размером частиц 0,05 мм. Согласно изложенному выше предполагается, что ярко выраженная специфика, присущая совокупности зависимостей на рис. 1, позволяет трактовать каждую из них как поперечное сечение катастрофы «сборка» при определенном значении ϕ (рис. 2). Возможность такого модельного обобщения свидетельствует об общем характере рассматриваемого явления. Наложение ортогональной к направлению непрерывного сдвига осцилляции с оптимальными параметрами «залечивает» разрывы сплошности или исключает возможность их появления [1, 3].

Необходимо отметить, что при моделировании реальных ситуаций с внезапными катастрофическими перестройками режимов следует учитывать [5] наличие двух основных направлений, связывающих геометрию катастроф с исследуемой системой (принципы максимального промедления и Максвелла). Выбор одного из принципов определяется природой самого явления. Так, в рассмотренном выше случае реализуется первый, в соответствии с которым система делает скачок в другое состояние лишь когда у неё не остаётся другого выбора.

Как было указано ранее, возникновение разрыва сплошности означает нарушение плавности в изменении скорости v по сечению рабочего зазора Δr вискозиметра при $\dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_c$ (рис. 3а). Анализ распределения скоростей при непрерывной сдвиговой деформации показал, что наблюдаемый эффект, очевидно, может быть удовлетворительно описан моделью «сборка», геометрия которой подчиняется принципу Максвелла. В данном случае возникает ситуация, аналогичная образованию так называемой ударной волны (разрыва), для которой характерны крутые перепады профиля [6]. По мере увеличения скорости сдвига при превышении некоторой ее критической величины система скачком переходит в новое состояние. При этом изображённые на рис. 3,б профили скоростей v интерпретируются как поперечные сечения катастрофы «сборка»

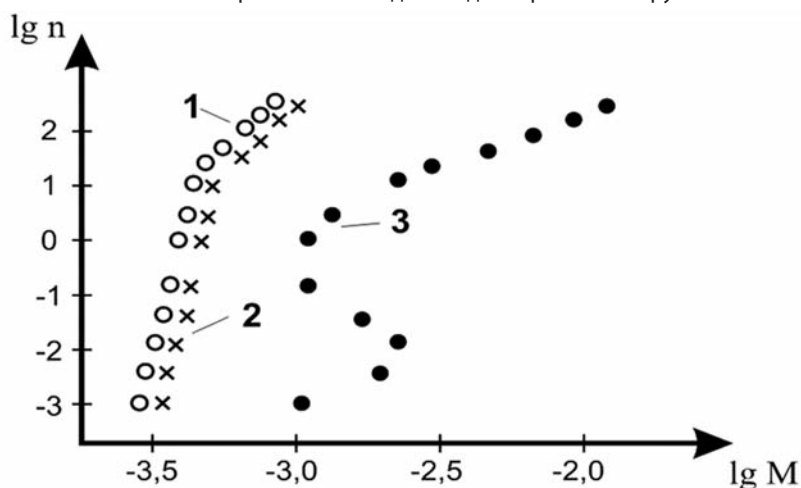


Рис. 1. Влияние концентрации ϕ (%) грубодисперсного наполнителя на реологическое поведение неорганических дисперсий: 1–10%, 2–30%, 3–50% [M (н·м) – крутящий момент на внутреннем цилиндре ротационного вискозиметра «Reotron»; n (об/мин) – число оборотов внешнего цилиндра].

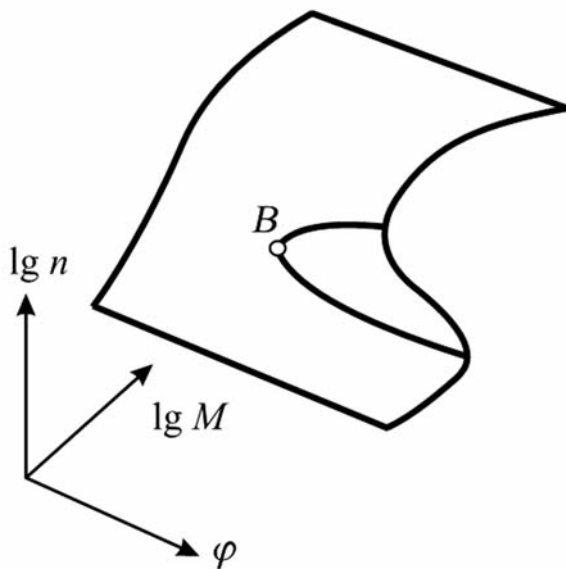


Рис. 2. Трансформация реологических зависимостей с увеличением содержания грубодисперсной составляющей (модель «сборка», принцип максимального промедления).

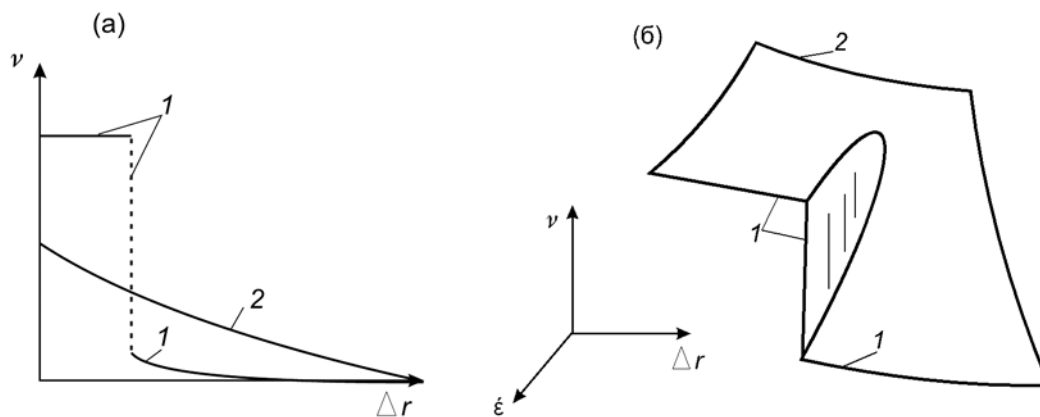


Рис.3. Распределение скоростей v при течении высококонцентрированных дисперсных систем в зазоре Δr между поверхностями коаксиальных цилиндров ротационного вискозиметра в зависимости от скорости деформации $\dot{\epsilon}$: (а) $\dot{\epsilon} = \text{const}$, $\dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_c$ (1), $\dot{\epsilon} < \dot{\epsilon}_c$ (2); (б) непрерывное изменение $\dot{\epsilon}$ (модель «сборка», принцип Максвелла).

для различных $\dot{\epsilon}$. Здесь скорость деформации выступает в роли параметра, определяющего возможность существенного изменения распределения линейной скорости v по зазору.

В рамках теории катастроф, позволяющей моделировать некоторые нарушения непрерывности развивающихся процессов различных видов, для установления наиболее существенных особенностей возникновения зон повышенной плотности можно провести аналогию с образованием скопления частиц («рождением блинов») по Зельдовичу. Теория Зельдовича [7] описывает подобные структурные перестройки при помощи ряда геометрических форм – элементарных катастроф, в том числе и типа «сборка» (с учетом наличия двух сценариев развития процессов формирования уплотнений, а именно: принципов максимального промедления и Максвелла). В первом случае рассматривается модель появления трехпотоковых (S-образных) конфигураций. По данному сценарию пересечение траекторий частиц ведет к локальным особенностям, эквивалентным каустикам, возникающим в результате пересечения лучей в геометрической оптике и являющимся местами наибольшего скопления частиц. При этом нарушается непрерывность изменения скорости потока. Профиль скорости становится трехзначным: через одну точку пространства проходят с разными скоростями три потока частиц; происходит «перехлест», т.е. образуется складка. Плотность вещества в «блине», ограниченном каустиками, и есть сумма плотностей этих потоков. Такой подход уместен при интерпретации эффекта сжа-

тия структурированных дисперсий; коллапс приводит к появлению слоистости и разрывов в системе. Второй подход иллюстрирует посредством представлений об ударной волне зарождение уплотненных областей при сдвиговом деформировании. Данная модель учитывает соударения частиц, поэтому скачкообразный переход системы в новое состояние при некотором критическом значении скорости деформации сопровождается переносом частиц и их «налипанием» на структуру основного слоя. Предложенная трактовка описывает процесс «наслаивания» частиц твердых фаз, способствующий формированию уплотненной структуры.

Выводы

Таким образом, рассмотренные выше экспериментально обнаруженные закономерности, несмотря на разнотипность параметров, могут быть описаны с единой точки зрения и в единой топологической схеме. Следует отметить, что помимо геометрии S-кривых существуют еще и ряд других признаков («флагов»), указывающих на применимость методов теории катастроф к исследованию тех или иных процессов, инициирующих возникновение разрывов в развитии системы. Распознавание этих особенностей позволяет установить наличие и тип катастрофы, стандартизированная структура которой облегчает выявление четких закономерностей и тем самым определяет направления оптимизации различных ситуаций как исследовательского, так и прикладного характера.

Литература:

1. Урьев Н. Б. Физико-химическая динамика дисперсных систем и материалов / Н.Б. Урьев. – М.: Интеллект, 2013. – 232 с.
2. Урьев Н. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Урьев Н.Б. – М.: Химия, 1988. – 256 с.
3. Трофимова Л. Е. Моделирование процессов структурообразования дисперсных систем и материалов / Л. Е. Трофимова, Н. Б. Урьев. – Одесса: Астропринт, 2011. – 36.
4. Влияние грубодисперсной фазы на реологию высоконаполненных систем / В. М. Тараканов, Н. Б. Урьев, Я. Иванов [и др.] // Материалы Междунар. конф. по механике и технология на композиционных материалах. – София: БАН, 1988. – С.436 – 443.
5. Постон Т. Теория катастроф и ее приложения / Т. Постон, И. Стюарт; пер. с англ. А.В. Чернавского. – М: Мир, 1980. – 608 с.
6. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин; пер. с англ. В. Ф. Пастушенко. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
7. Зельдович Я. Б. Частицы, ядра, Вселенная. Избранные труды / Зельдович Я. Б. – М.: Наука, 1985. – 464 с.