

КОМПОЗИЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК
СЛОЖНООРГАНИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

В.Н.ВЫРОВОЙ, В.С.ДОРОФЕЕВ, А.В.ДОРОФЕЕВ (ОГАСА, Одесса, Украина)

Под композиционными строительными материалами (КСМ) понимают материалы, состоящие как минимум из двух компонентов или фаз, взаимодействующих через (посредством) поверхности раздела и свойства которых отличаются от свойств исходных составляющих [1]. Многообразие типов поверхностей раздела и явлений, которые на них протекают, а также многокомпонентность (многофазность) КСМ позволяет их представить как сложные системы [2,3]. Кроме того, сложность подобных систем определяется не только их качественным и количественным составами, но и достаточно сложным поведением в процессе их становления и функционирования [4]. Поэтому описание сложных систем, включая цементно-водные композиции должно основываться на мультидисциплинарном подходе, а не ограничиваться одними, хотя и достаточно изученными явлениями химического взаимодействия компонентов [5].

При анализе сложных систем их, как правило, раскладывают на части, т.е. выделяют определенные подсистемы с качественно сходными механизмами организации структуры. Выделение определенных подуровней систем во многом зависит от интуиции исследователя, основанной на накопленной и переработанной информации. В то же время, выделение подсистем является начальным процессом моделирования, и поэтому важно, чтобы принятые модели достаточно адекватно отражали объект моделирования (или его часть) и могли подвергаться воспроизводимому исследованию [3,4]. Конечные свойства КСМ (макропараметры) определяются их структурой, которая зависит как от начального состава, так и от технологических условий переработки исходных компонентов в конечный материал и изделие. В силу того, что выделение иерархических уровней сложных систем (объектов анализа) является этапом их моделирования, то структуру каждого уровня можно выразить определенной моделью с характерной совокупностью устойчивых внутрискруктурных связей. Под объектом следует понимать как отдельную конструкцию, входящую структурным элементом в более сложную систему, так и материал, из которого она изготовлена, и отдельные структурные уровни самого материала [1].

Формирование КСМ как сложных систем – кинетический процесс, сопровождаемый поэтапным переходом из одного в другое состояние, вызываемое многократным изменением (трансформацией) пространственно-временных структур. Системы, в которых происходят самопроизвольные из-

менения структуры без специфических внешних воздействий (воздействий, которые сами навязывают системе определенную структуру) называют самоорганизующимися системами [4].

Таким образом, КСМ являются сложными самоорганизующимися системами с иерархической соподчиненностью различных уровней структурной неоднородности, с качественно отличными механизмами структурообразования. Поэтому представляет интерес анализ и описание характерных процессов, протекающих на различных уровнях структуры с целью дальнейшего направленного синтеза структурных параметров, ответственных за проявление заданных уровней свойств (макропараметров) объекта.

В КСМ типа бетонов на неорганических вяжущих можно выделить две характерные структурные неоднородности - микроструктуру, представленную неоднородностью типа "частицы дисперсной фазы - дисперсионная среда"; макроструктуру на уровне неоднородности "матричный материал-заполнители" [1]. Подобное детерминированное выделение структурных неоднородностей связано с тем, что в рамках принятых моделей этих неоднородностей (подсистем) действуют свои ограничения и допущения и сделанные по моделям выводы справедливы только в оговоренных условиях. Организация макроструктуры достаточно подробно изложена в [1], в связи с чем в дальнейшем ограничимся рассмотрением механизмом организации микроструктуры.

Физико-механические особенности организации микроструктуры

Цементно-водную композицию (микроструктуру бетона) можно представить как лиофобную высококонцентрированную грубодисперсную систему с лиофильной границей раздела фаз [6]. Такое представление обусловлено следующим: 1. Леофобность предполагает, что снижение избыточной поверхностной энергии системы происходит путем сокращения внутренней поверхности раздела фаз через объединение частиц в их содружества. 2. Лиофилизация частиц дисперсной фазы (зерен цемента) происходит за счет их химического взаимодействия с дисперсионной средой. 3. Высокая концентрация цементно-водных композиций предполагает, что частицы находятся на расстоянии дальней коагуляции (сила межчастичных взаимодействий отлична от нуля). 4. Объектом анализа являются частицы дисперсной фазы, масса которых, с одной стороны, не позволяет им участвовать в броуновском движении, а с другой, - сила межчастичных взаимодействий больше или равна силе их тяжести (грубодисперсные системы). 5. Анализируется поведение частиц, которые отличаются друг от

друга массой, формой, размером, которые находятся на различном межчастичном расстоянии (наблюдается флуктуация частиц дисперсной фазы вокруг некоторых средних значений). При анализе не рассматриваются причины, вызывающие проявление сил межчастичных взаимодействий.

В предложенной для анализа системе на каждую частицу дисперсной фазы (зерно цемента) действует неуравновешенная сила межчастичных взаимодействий, под влиянием которых каждая частица переходит из неравновесного в равновесное механическое состояние. В результате такого перехода в первично неупорядоченной системе спонтанно возникают периодически организованные структурные блоки — кластеры.

В последнее время термин "кластер", cluster (англ.) — гроздь, рой, скопление, достаточно широко используется в научно-технической литературе [8]. Поэтому в каждом конкретном случае при употреблении этого термина целесообразно раскрывать его смысловую нагрузку. В нашем случае под кластером понимается структурный агрегат, состоящий из группы частиц (две и более), в котором индивидуальные свойства частицы трансформируются в свойства их содружества.

Введение понятия дискретных структурных элементов (кластеров) оправдано по следующим причинам: — позволяет раскрыть механизм, при котором система переходит из одного в другое энергетическое состояние; — позволяет прогнозировать направление перемещения частиц; — делает возможным проследить переорганизацию структуры системы из начального неупорядоченного состояния в последующую периодически организованную систему; — прогнозировать дальнейшую эволюцию системы через межкластерные поверхности раздела.

В результате взаимодействия кластеров как самостоятельных составляющих системы в ней возникают новые структурные элементы — поверхности раздела между структурными блоками различного масштабного уровня (межкластерные поверхности раздела). Межкластерные поверхности раздела могут трансформироваться в пору, полностью "залечиться" и образовать зародышевую трещину [1,6]. В нашем случае под зародышевой трещиной понимается трещина, соизмеримая с границей раздела кластеров низшего масштабного уровня (как правило, размером не более двух диаметров зерен вяжущего). В работах [1,6,10] рассмотрены условия роста зародышевых трещин в технологические, которые определяют поврежденность готового материала и его физико-технические свойства. Так как вид и размер кластеров (количество трещин) зависят от начального состава, то можно предположить, что технологическая поврежденность чув-

ствительна к исходному состоянию системы (генетически predetermined). Поэтому перспективным направлением проектирования структур грубодисперсных систем можно считать направленное изменение качественно и количественного составов частиц дисперсной фазы. Изменение состава частиц дисперсной фазы можно осуществлять путем введения минеральных наполнителей.

Под наполнителями понимают дискретные структурные элементы произвольных формы и активности, размер которых позволяет им участвовать в процессах первичной и последующей организации микроструктуры [1, 11].

Определены условия выбора оптимальных наполнителей в зависимости от их вида для цементных, гипсо- и известкосодержащих композиций [1, 11]. Накопленный экспериментальный материал по влиянию вида, количества и дисперсности наполнителей на периоды формирования структуры, технологическую поврежденность и физико-технические свойства цементных композиций показал, что в рамках принятой модели предложенный механизм организации микроструктуры адекватно описывает реальные системы.

Лиофилизация поверхности частиц цемента вызывает появление в системе качественно другой структурной неоднородности типа "продукты новообразования - исходные дисперсные частицы - вода". Так как частички новой фазы участвуют в броуновском движении, то предложенный для грубодисперсных систем механизм организации структуры неадекватно описывает реальные события. Поэтому для описания механизмов организации структуры новой фазы использованы известные положения гетерофазных процессов [12].

В результате термофлуктуационных эффектов в объеме дисперсионной среды, примыкающей к границе раздела, возникает критическая концентрация продуктов новообразований, что ведет к образованию первичного зародыша [12]. Процесс зародышеобразования носит массовый характер, что способствует перекрыванию реакционной поверхности твердой фазы исходных частиц вяжущего и лимитирует тем самым продвижение фронта реакции в глубину зерна. Помимо этого на поверхности зерен вяжущего возникает неравномерная концентрация продуктов новообразований, обусловленная несовершенствами самой поверхности (микротрещины, границы раздела между отдельными минералами, несовершенства кристаллической решетки и т.п.). Это вызывает неравномерный рост зародышей и способствует развитию внутренних напряжений в самом зерне.

Формирование структуры новой фазы неразрывно связано с процессом организации кластерных структур. В работе [8] рассмотрены три возможных случая формирования контакта между частицами дисперсной фазы в зависимости от начального межчастичного расстояния: 1 – расстояние между частицами достаточно большое, что вызывает при их сближении удвоение концентрации продуктов новообразований и повышает вероятность контакта между частицами через зародыши новой фазы (нежелательный случай); 2 – концентрация частиц дисперсной фазы такова, что частицы вступают в непосредственный контакт с последующим обрастанием продуктами новообразований (оптимальный вариант); 3 – частицы изначально находятся в непосредственном контакте, что вызывает формирование контактного перешейка (характерно для прессматериалов).

Все три случая объединены общим процессом переноса образовавшихся продуктов новообразований в зону контакта (диффузия через объем частиц, через сольватный слой и через дисперсионную среду). Происходит своеобразный процесс холодного спекания [1], при котором продукты новообразований распределяются неравномерно – повышенная концентрация в зонах межчастичного контакта и пониженная в периферийных участках. Это способствует омоноличиванию кластеров с сохранением межкластерных поверхностей раздела.

Анализ показывает, что существует взаимосвязь между механизмами организации микроструктуры на различных уровнях структурных неоднородностей – начальный состав дисперсной фазы определяет кинетику протекания гетерофазных реакций и флуктуации распределения продуктов новообразований; продукты новообразований, в свою очередь, способствуют фиксации частиц в структурных блоках, определяют характер их контактирования и степень устойчивости внутрискруктурных связей.

Процессы, протекающие при организации микроструктуры, носят многоплановый характер, при их изучении и описании требуют мультидисциплинарного подхода, совершенствования и разнообразия модельных представлений, приближающих нас к пониманию реальных явлений.

Л и т е р а т у р а

1. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости/В.И.Соломатов, В.Н.Выровой, В.С.Дорофеев, А.В.Сиренко. – Киев: Будивэльник, 1991. – 144 с.
2. Композиционные материалы/Под ред. Л.Браутмана и Р.Крока: в 6-ми том. М.: Мир, Машиностроение, 1978. т.1 – 438 с.; т.5 – 484 с.; т.6 – 294 с.

3. Поляков Л., Файнбурд В.М. Моделирование строительных конструкций. - К.: Будивэльнык, 1975. - 160 с.
4. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. - М.: Мир, 1991. - 240 с.
5. Сизов В.П. О кластерах в технологии бетонов//Бетон и железобетон, 1991. № 7. - 26 с.
6. Выровой В.Н. Физико-механические особенности организации и самоорганизации композиционных строительных материалов и конструкций/В кн. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. - Ташкент: Фан УН УзССР, 1991. - С. 28-57.
7. Хакен Г. Синергетика: Иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах. - М.: Мир, 1985. - 423 с.
8. Петров Ю.И. Кластеры и малые частицы. - М.: Наука, 1988. - 368 с.
9. Губин С.П. Химия кластеров. Основы классификации и строения. - М.: Наука, 1987. - 263 с.
10. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. - М.: Наука, 1991. - 134 с.
11. Современные методы оптимизации композиционных материалов. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др./Под ред. Вознесенского В.А. - Киев: Будивэльнык, 1983. - 144 с.
12. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. - М.: Мир, 1972. - 554 с.
13. Гегузин Я.Е. Физика спекания. - М.: Наука, 1984. - 312 с.