

УДК 666: 519.8

РОЛЬ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА В ОБЕСПЕЧЕНИИ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИЙ

**Тофанило В.Ю., аспирант, Коробко О.А., к.т.н., доц.,
Выровой В.Н., д.т.н., проф.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
Украина*

Введение

Эксплуатационная надежность строительных конструкций определяется проявлением и сохранением их нормативных свойств в течение проектного срока службы, что обеспечивается определенным набором структурных составляющих материала, из которого они изготовлены. Строительные конструкции могут быть представлены как сложные самоорганизующиеся системы. Это предполагает существование конструкций и выполнение ими функций в виде сложноорганизованной совокупности взаимосвязанных подсистем [1, 2]. В качестве одной из подсистем можно выделить бетон как подсистему, состоящую из определенного содружества собственных структурных неоднородностей – индивидуальных составляющих структуры бетона [3]. Структурные уровни бетона сосуществуют и реализуют себя в общей согласованности взаимодействий. Это позволяет рассматривать структуру бетона как результат определенных процессов, инициирующих взаимообусловленные структурные изменения его отдельных составных частей. К таким процессам можно отнести собственные деформации, которые возникают в результате протекания физико-химических и физико-механических процессов гидратации вяжущих. Развивающиеся деформации передаются на другие уровни неоднородностей с формированием возвратной волны деформаций. Таким образом, происходит влияние собственных деформаций на организацию интегральной структуры бетона, что и определило задачу исследований - проанализировать взаимную обусловленность внутренних деформационных явлений, определяющих развитие процессов структурообразования бетона.

Модели структурных неоднородностей бетона

В структуре бетона можно выделить неоднородности на уровне частиц вяжущего в виде микроструктуры, на уровне продуктов новообразований в виде наноструктуры, на уровне матричного

композита и заполнителей в виде макроструктуры и на уровне изделия (конструкции). Каждый уровень может быть представлен в виде совокупности отдельных, но взаимосвязанных подструктур с неповторимым набором элементов. На всех уровнях реализуются собственные механизмы организации структурных составляющих [4].

При выборе моделей структурных неоднородностей приняты определенные предположения и допущения. Микроструктура бетона может быть представлена неоднородностью типа «частицы дисперсной фазы – дисперсионная среда» как многофазная гетерогенная высококонцентрированная грубодисперсная лиофобная система с лиофильной границей раздела фаз [5]. Макроструктуру бетона можно представить как грубогетерогенную систему, состоящую из матрицы, в которой распределены заполнители, с образованием структурных ячеек, неодинаковых по свойствам и параметрам [6]. Матричный материал принят как неоднородная среда со сложной внутренней организацией. Наноструктура бетона представлена уровнями структурных неоднородностей типа «продукты новообразований – дисперсионная среда» и «продукты новообразований – частицы дисперсной фазы» [7].

Таким образом, структура бетона может быть рассмотрена как определенная иерархия уровней структурных неоднородностей, которые выступают подсистемами для самого бетона, но являются системами для своих структурных составляющих. Организация структуры на всех выделенных уровнях неоднородностей сопровождается развитием деформаций, которые инициируются в микроструктуре, участвуют в организации макроструктуры и проявляются на уровне изделия.

Влияние собственных деформаций на структуру бетона

Формирование интегральной структуры бетона определяется взаимовлиянием уровней структурных неоднородностей бетона. Это проявляется в том, что структурные преобразования одного уровня отражаются на процессах организации структуры других уровней и параметрах их структурных составляющих. Реализованные изменения служат причиной изменения уже исходных структур. Таким образом, выполняется взаимодействие и взаимная инициация структурного оформления различных уровней. При этом протекание процессов структурообразования бетона сопровождается саморазвитием взаимосвязной сети внутренних деформационных явлений (рис.1). При этом уровни неоднородностей могут лишь инициировать структурные изменения других уровней, но не управлять ими.

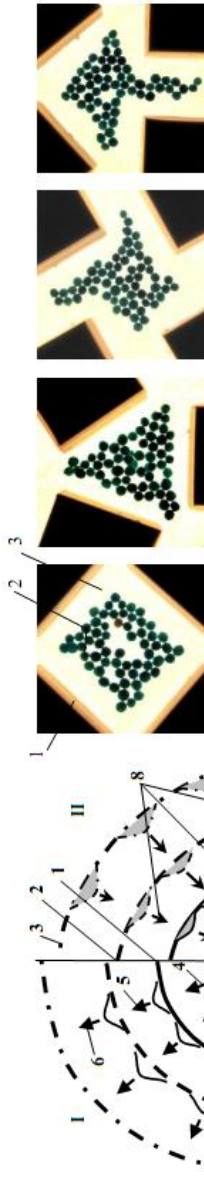


Рис.1. Саморазвитие взаимосвязной сети внутренних деформационных явлений при организации структуры бетона:

- 1 – импигаторы заполнителей; 2 – частицы дисперсной фазы;
3 – дисперсионная среда (эпоксидная смола без отвердителя).



Рис.2. Влияние ориентирования заполнителей на организацию микроstructures бетона:

- 1 – импигаторы заполнителей; 2 – частицы дисперсной фазы;
3 – дисперсионная среда (эпоксидная смола без отвердителя).

Рис.3. Распределение технологических трещин в моделях структурных ячеек бетона при кубической (а) и гексагональной (б) укладке заполнителей:

- 1 – технологические трещины и внутренние поверхности раздела;
2 – дискретные структурные блоки.

А – источник возникновения объемных деформаций; В – уровень микроstructures бетона; С – уровень макроstructures бетона; D – уровень изделия;

1 – поверхность раздела «микроstructure - заполнитель»; 2 – поверхность раздела «макроstructure - конструкция»; 3 – внешние границы конструкции; 4, 5, 6 – деформации соответствующих уровней неоднородностей бетона; 7 – градиенты деформаций, вызванные дальнейшим протеканием физико-химических процессов структурообразования бетона; 8 – разновеликие и разнонаправленные возвратные деформации.

Побуждение к началу организации уровней провоцируется их внутренними причинами.

Начальный этап проявления деформаций реализуется на уровнях микро- и наноструктур, а источником их возникновения являются физико-химические процессы организации структуры бетона на уровне частиц вяжущего (рис.1, этап I, уровень В). Распределение частиц вяжущего по структурным агрегатам обеспечивает образование взаимосвязанной совокупности межкластерных границ раздела на микроуровне. Одновременно с этим образуются поверхности раздела между микроструктурой как матричным материалом и заполнителями, которые в качестве структурных составляющих входят в структуру материала на уровне изделия (рис.1, этап I, уровни С, Д). Следует учитывать, что границы раздела всех структурных неоднородностей бетона принимают непосредственное участие в процессах организации как собственной структуры, так и структуры других уровней.

Возникновение и развитие наноструктурной неоднородности инициирует проявление объемных деформаций, которые воспринимаются внутренними поверхностями раздела микроструктуры. При этом формируется начальная деформационная волна, в результате которой градиенты объемных изменений микроуровня, обусловленные флуктуациями его вещественного состава, передаются на уровень макроструктуры, определяя градиенты ее собственных деформаций. Это ведет к самопроизвольному формоизменению поверхностей раздела между матрицей и заполнителями, неповторимому для каждой структурной ячейки в зависимости от ее параметров.

Градиенты объемных деформаций макроструктуры бетона определяют деформационные процессы материала на уровне конструкции (изделия). Уникальность протекания этих процессов в отдельных ее объемах обуславливает неравномерное распределение полей остаточных напряжений, вызванных локальными изменениями плотности в материале. Это служит причиной перераспределения градиентов деформаций и вызывает возвратную волну их воздействия на уровни макро- и микроструктур (рис.1, этап II).

Проявление разновеликих и разнонаправленных объемных деформаций структуры бетона на уровне изделия инициирует дальнейшее формоизменение поверхностей раздела макроструктуры. Это отражается на продолжающихся физико-механических процессах структурообразования микроструктурной

неоднородности и ведет к еще большему разнообразию ее структурных составляющих. Как результат, изменяются условия протекания физико-химических процессов организации структуры микроуровня. Это влияет на кинетику структурообразования наноструктуры с возбуждением в ней новой волны деформаций, градиенты которых воспринимаются и передаются внутренними и внешними границами микроструктуры на поверхности раздела макроуровня и структуры бетона на уровне изделия (рис.1, этап III). Таким образом, происходит взаимная инициация возвратных волн перехода объемных деформаций с уровня на уровень, что позволяет структурным неоднородностям обуславливать структурную организацию друг друга в зависимости от своих внутрисистемных характеристик (рис.1, этап IV).

Взаимное возбуждение перехода деформационных волн с одного уровня на другой провоцирует изменение геометрии их границ, что создает условия для возникновения и роста технологических трещин и внутренних поверхностей раздела. Таким образом, в качестве мощного управляющего фактора следует выделить геометрические параметры каждого уровня неоднородностей бетона. В микроструктуре к таким характеристикам можно отнести дисперсность и количество частиц вяжущего, определяющих геометрическое оформление кластерных структур, а, значит, и межкластерных поверхностей раздела. На уровне наноструктуры основополагающее значение для параметров нанометрических межблочных границ имеют размеры и форма агрегатов из продуктов новообразований. Геометрия макроуровня определяется типом укладки и ориентированием заполнителей, от которых зависит конфигурация границ заключенного между ними матричного материала (рис.2). На уровне конструкции геометрические характеристики бетона задаются формой и размерами внешних границ изделия как целостного объекта.

Изменение геометрии отдельных уровней неоднородностей позволяет через взаимовлияние параметров определять условия организации как их собственной структуры, так и структуры всего бетона. Это подтверждается исследованиями на физических моделях (рис.2, 3). Результаты показали, что форма изделий инициирует возникновение градиентов технологических деформаций, которые возвратной волной воздействуют на макроуровень. Различные параметры макроструктуры приводят к изменению размеров агрегатов из частиц вяжущего до 2 раз, а величины объемных деформаций – 20-27% при различных типах

упаковки заполнителей и до 44% – при изменении их природы. Взаимовлияние уровней структурных неоднородностей бетона также подтверждается изменением сроков схватывания, которые косвенно характеризуют интенсивность процессов организации микроструктуры. Было отмечено, что в разных зонах структурных ячеек бетона периоды формирования матричного материала отличались в среднем на 15-45 минут. Различные способы укладки заполнителей приводят к изменению сроков схватывания до 1,5-2 часов, различная природа заполнителей – на 30-90 минут.

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности направленной организации структуры бетона на наноуровне как источника зарождения деформаций для получения материалов с требуемой гетерогенностью. Опыты показали, что возникающие градиенты локальных деформаций обуславливают индивидуальное распределение начальных дефектов для каждой модели структурной ячейки бетона, независимо от вида материала. При гексагональной укладке заполнителей поврежденность матричного материала составила на 15-45% меньше, чем при их кубическом расположении. Изменение величины водопоглощения также подтвердило влияние параметров макроуровня неоднородностей на нарушение сплошности матричного материала. В зависимости от типа упаковки и ориентирования заполнителей водопоглощение образцов изменялось до 30%, при изменении природы заполнителей – до 25%.

Организация структуры, как отдельных уровней неоднородностей, так и самого бетона, происходит под постоянным действием формирующихся потоков их собственных деформаций. Деформационные волны провоцируют самозарождение и саморазвитие на всех уровнях неоднородностей различных рода несплошностей, которые в качестве новых элементов автоматически включаются в организацию их структуры, участвуя в проявлении и перераспределении градиентов деформаций. При этом возникают предпосылки для возникновения таких структурных составляющих бетона как технологические трещины и внутренние поверхности раздела, которые, совокупно с остаточными напряжениями, определяют гетерогенность материала конструкции, а, значит, и безопасность ее работы при эксплуатации.

Выводы

Проведенный анализ позволяет заключить, что структура бетона как подсистемы строительной конструкции представляет собой определенную иерархию уровней структурных неоднородностей. Взаимодействие и организация уровней происходит посредством поверхностей раздела вследствие проявления на них объемных деформационных процессов. При этом уровни сами формируют свои границы в процессе собственной организации. Процессы спонтанного структурообразования приводят к возникновению новых структурных элементов, которые участвуют в структурном самопостроении уровней путем взаимной инициации деформаций и обеспечивают через взаимодействие и взаимовлияние проявление свойств бетона в конструкциях. Взаимообусловленность явлений структурообразования бетона на различных уровнях неоднородностей можно отнести к объективным процессам, управлением которым можно путем направленного изменения параметров отдельных уровней. Такой подход при назначении составов и технологических режимов производства конкретных изделий и конструкций позволит более полно реализовать их потенциальные возможности по обеспечению надежной работы в различных условиях эксплуатации.

SUMMARY

Formation of structure of concrete defines by interference of levels of its structural heterogeneities on initiation of returnable waves of their own deformations. Terms are thus created for self-generation of components of structure of material, interaction of which is provided by manifestation of properties of concrete in constructions.

Литература

1. Выровой В.Н. Строительные изделия и конструкции как открытые сложные самоорганизующиеся системы / Выровой В.Н., Коробко О.А., Суханов В.Г., Пархоменко Р.В. // Сб. ст. по материалам 7-й международной научной конференции. – Воронеж: ВГАСУ. – 2013. – Т.1 – С.107-115.
2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. Монография / Прангишвили И.В. – М.: «Синтез», 2000. – 519с.
3. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. Монография / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. – Ташкент: ФАН, 1991. – 345с.

4. Fic S.B. Procery samoorganizacji struktury kompozytowych materialow budowlanych. Monografia / Fic S.B., Vyrovoy V.N., Dorofeev V.S. – Lublin: «Politechnika Lubelska», 2013. – 143p.

5. Композиционные строительные материалы и конструкции сниженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будівельник, 1991. – 144с.

6. Выровой В.Н. О некоторых особенностях описания структуры бетона как сложноорганизованного материала / Выровой В.Н., Герега А.Н., Острая Т.В., Суханов В.Г. // Современные проблемы строительного материаловедения и технологии. – Воронеж: ВГАСУ. – 2008. – Т.1. – С. 82-86.

7. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства. Монография / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. – Одесса: Изд-во «ТЭС», 2010. – 169с.