

УДК 666:519.8

МНОГОВАРИАНТНОСТЬ СТРУКТУРЫ БЕТОНА

В.Н. ВЫРОВОЙ, доктор техн. наук, профессор, О.А. КОРОБКО, канд. техн. наук, доцент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, В.А. ПАНАСЮК, канд. техн. наук, главный технолог ООО «Камбию», г. Одесса, Украина

Ключевые слова: макроструктура бетона, структурные ячейки

Keywords: macrostructure of concrete, structural cells

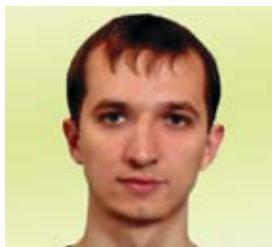
В статье показана многовариантность параметров макроструктуры бетона и определено их влияние на проявление интегральных свойств бетона.



Выровой Валерий Николаевич



Коробко Оксана Александровна



Панасюк Вадим Александрович

Основополагающее значение в обеспечении безопасного функционирования строительных конструкций на протяжении проектного срока службы имеет структурное оформление материала, из которого они изготовлены [1]. Это предполагает, что конструкцию целесообразно рассматривать как некоторую целостность (систему), в которой материал реализует себя в качестве одной из составных частей (подсистем). В свою очередь, материал практически любой конструкции представляет собой сложноорганизованную среду с определенной иерархией структуры, что позволяет анализировать его как систему по отношению к собственным составляющим, взаимосвязь и взаимодействие которых определяют поведение целого. Такой подход [2] дает возможность оценивать свойства материалов с учетом их структурного потенциала и неизбежных флуктуаций поведенческих реакций по объему конструкций.

Полиструктурность строения бетона делает его интересным объектом для экспериментального подтверждения влияния особенностей структурной организации каждой структурной ячейки на формирование свойств материала в конструкции. В работе [3] предложено представлять бетон как совокупность отдельных

уровней структурных неоднородностей, в которой каждый уровень является составной частью другого уровня. Это предполагает, что целостность бетона обеспечивается его структурным разнообразием, а структурное разнообразие проявляется в единстве его многовариантной структуры. Выделять характерные уровни в структуре бетона предложено по схожести механизмов их структурообразования [4]. Уровень, создание которого происходит путем взаимодействия матричного материала и заполнителей, может быть представлен в виде макроструктуры. Анализ структуры образцов-кернов, взятых из различных реальных конструкций (рис. 1), показал, что при одном и том же составе в бетоне присутствуют структурные ячейки с различными геометрическими характеристиками.

При статистически произвольном расположении заполнителей в объеме бетона можно выделить своеобразно-упорядоченные ячейки, образованные группами заполнителей, ограничивающих часть матричного материала. Ячейки различаются типом укладки и ориентирования заполнителей, а также размерами, которые зависят от расстояний между заполнителями, и соотношением адгезионно-когезионных сил связи на границах раздела между заполнителями и матрицей. В силу того что объем каждого из образцов включает неповторяющийся набор структурных ячеек с различным сочетанием параметров, во всех ячейках должно обеспечиваться

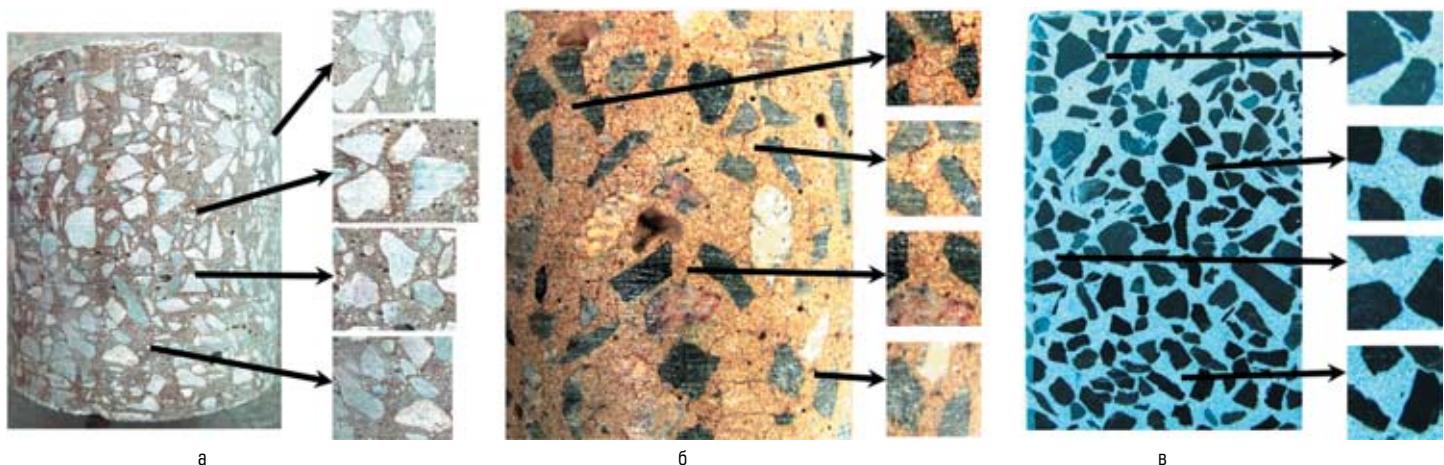
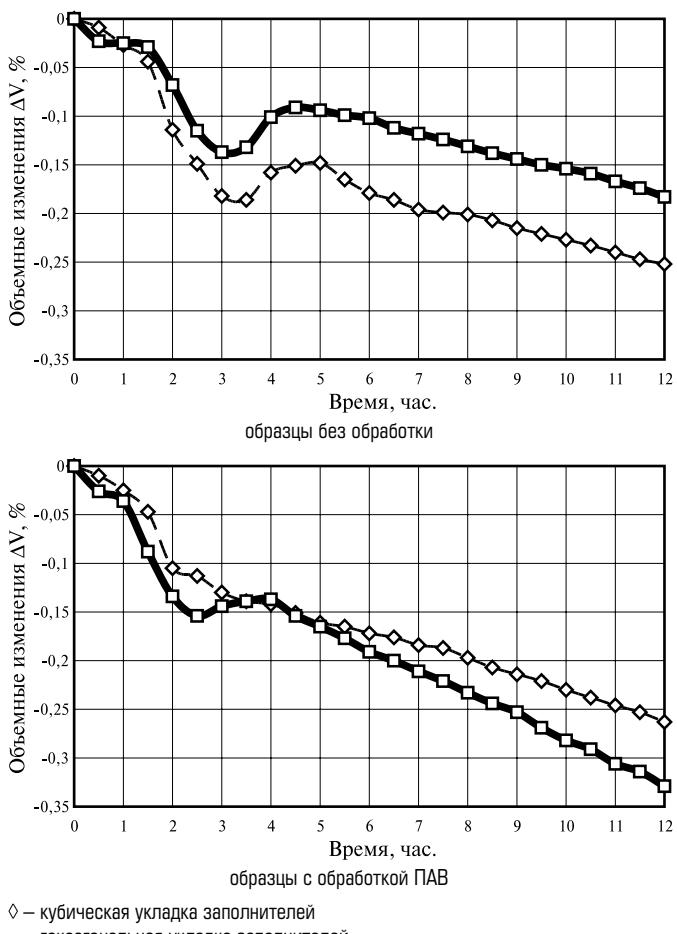


Рис. 1. Разнообразие геометрических параметров структурных ячеек в образцах-кернах реальных конструкций:
а – опорная стена гидроузоружия; б – железобетонная колонна; в – тротуарная плитка



◊ – кубическая укладка заполнителей
□ – гексагональная укладка заполнителей

Рис. 2. Влияние типа укладки и состояния поверхности заполнителей на начальные объемные деформации матричного материала в структурных ячейках

индивидуальное проявление свойств заключенного в них матричного материала. Исходя из этого были поставлены задачи исследований – проанализировать влияние пространственно-геометрических и физических характеристик макроструктуры на формирование свойств материала и оценить влияние структурной многовариантности на прочность моделей структурных ячеек.

Структурные ячейки в качестве элементов включены в оформление макроструктуры, которая, являясь системой для своих составных частей, связывает их в единое целое. Это означает, что структурообразование макроуровня происходит одновременно во всех ячейках, но кинетика реализации процессов индивидуальна для каждой отдельной из них. Поэтому для решения поставленной задачи была принята модель макроструктуры, представляющая собой взаимосвязанную совокупность различных по геометрическим, пространственным и физическим параметрам структурных ячеек.

Для определения свойств материала в индивидуальных ячейках и в изделии были изготовлены модели образцов на основе цемента с имитаторами заполнителей в виде призм и цилиндров, которые распо-

лагали таким образом, чтобы получить ячейки кубической и гексагональной формы при различном ориентировании заполнителей. Изменение состояния поверхности заполнителей осуществляли путем их обработки для обеспечения адгезии твердеющей цементной матрицы. Контролировали следующие свойства: объемные деформации, сроки схватывания и технологическую поврежденность матричного материала в отдельных ячейках, а также водопоглощение и прочность при сжатии моделей бетонных образцов.

Результаты эксперимента. Проведенные исследования подтвердили индивидуальное проявление свойств твердеющего и затвердевшего матричного материала в структурных ячейках с различными геометрическими характеристиками.

Анализ полученных результатов показал, что в условиях экспериментов объемные деформации матричного материала (рис. 2) при различных способах укладки и ориентирования заполнителей изменялись до 27%, а при модификации их поверхности – до 44%. Изменение сроков схватывания твердеющей матрицы составило в среднем 1,5–2 часа в зависимости от формы и свойств ячеек. Это связано, по нашему мнению, с формированием локальных полей технологических деформаций, вид которых определяется геометрическими характеристиками ячеек [1, 4].

Возникновение деформаций в структурных ячейках обусловлено протеканием процессов и явлений гидратации вяжущего, которые провоцируют локальные изменения плотности в объеме матричного материала. Объемные деформации воспринимаются границами раздела макроструктуры с формоизменением поверхностей раздела между материалом и заполнителями, что обеспечивает передачу деформаций с их последующим перераспределением на уровень конструкции. Это вызывает новое формоизменение поверхностей раздела макроструктуры, определяющее изменение кинетики физико-механических и, как следствие, физико-химических процессов организации структуры бетона на уровне частиц вяжущего с формированием возвратной волны деформаций. Таким образом, осуществляется взаимная инициация деформационных волн объемных деформаций между различными уровнями неоднородностей,

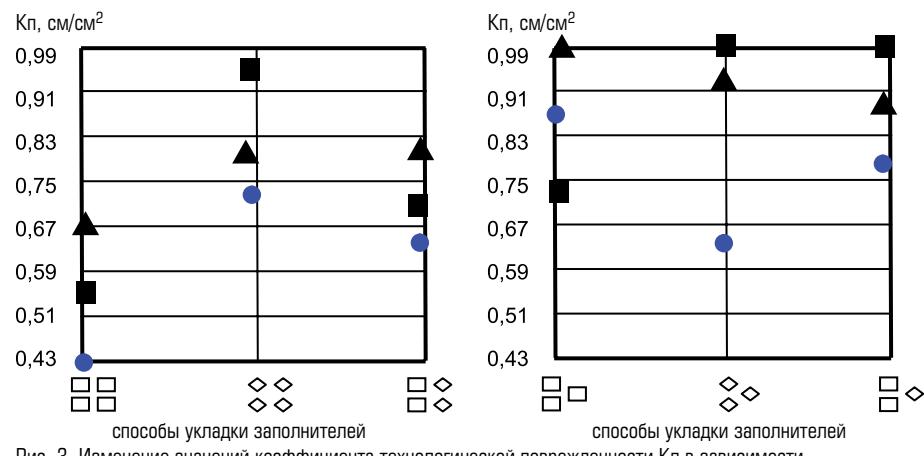


Рис. 3. Изменение значений коэффициента технологической поврежденности K_p в зависимости от параметров структурных ячеек: квадраты – образцы без обработки; кружки – образцы с обработкой ПАВ; треугольник – образцы с избирательной обработкой ПАВ

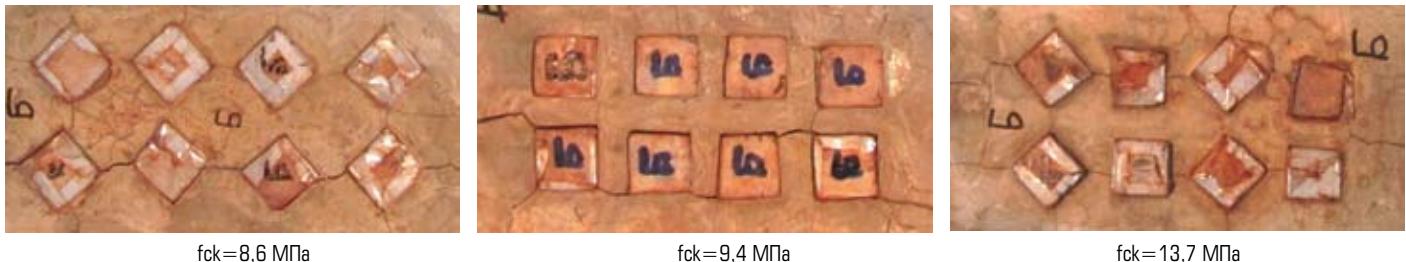
 $f_{ck}=8,6 \text{ МПа}$ $f_{ck}=9,4 \text{ МПа}$ $f_{ck}=13,7 \text{ МПа}$

Рис. 4. Влияние параметров макроструктуры на прочность и разрушение моделей бетонных образцов

что позволяет им влиять на структурную организацию друг друга в зависимости от своих параметров [4]. Существование градиентов деформаций подтверждается установленным фактом, что периоды формирования структуры матричного материала в различных зонах одной и той же ячейки могут отличаться до 45 минут. Кроме того, в каждой структурной ячейке происходит организация собственной совокупности кластерных структур [5], а проявление градиентов деформаций различного вида на границах раздела между ними провоцирует зарождение и развитие новых элементов структуры – технологических трещин и внутренних поверхностей раздела. Новые структурные элементы микроструктуры автоматически входят в структуру макроуровня. Распределение градиентов деформаций в объеме твердеющей матрицы и на границах раздела между нею и заполнителями определяется параметрами структурных ячеек, что должно обеспечить индивидуальное формирование поврежденности заключенного в них матричного материала. Это было подтверждено опытами по определению поврежденности затвердевших моделей структурных ячеек. Для количественной оценки был использован коэффициент поврежденности Кп, определяемый как отношение суммарной длины технологических трещин и внутренних поверхностей раздела на фиксированной площади поверхности, $\text{см}^2/\text{см}^2$.

Анализ результатов показал (рис. 3), что при гексагональной укладке заполнителей коэффициент поврежденности материала в ячейках может изменяться до 2,5 раза, при кубической укладке – до 2 раз, а при различном состоянии их поверхности – до 40%.

Суммарное количество трещин и внутренних поверхностей раздела определяет гетерогенность матричного материала и, следовательно, его способность противостоять действию внешних нагрузок. При этом, несмотря на индивидуальность свойств каждой структурной ячейки в бетоне их совокупность проявляет себя как определенная целостность. Это обусловлено тем, что материал, оформленный в изделие или конструкцию, представляет собой взаимосвязанную и взаимозависимую совокупность отдельных макроструктур-ячеек с различными параметрами и локальным проявлением свойств. Исследования показали (рис. 4), что для каждого принятого типа укладки заполнителей, способа их ориентирования и состояния поверхности характерен свой вид трещин разрушения в бетонных моделях образцов при определении их прочности при сжатии.

Развитие магистральной трещины происходило по технологическим трещинам и внутренним поверхностям раздела, повторяя достаточно сложную траекторию их движения, что

свидетельствует о генетическом влиянии начальных геометрических параметров локальных структур на последующие процессы структурообразования. Изменение прочностных характеристик образцов с различными геометрическими параметрами структурных ячеек составило в среднем 30%.

В зависимости от ориентирования заполнителей значения прочности изменились до 2 раз, в зависимости от вида их укладки – до 45%; при изменении состояния поверхности – до 27%. Ассиметричное расположение заполнителей в структурных ячейках позволило повысить прочность образцов при сжатии до 40% по сравнению с образцами, в которых заполнители располагались геометрически упорядоченно.

Выводы:

Проведенные исследования показали, что целостные свойства бетона формируются в результате содружества разнообразных по геометрическому оформлению и физическим параметрам структурных ячеек, образованных заполнителями в матричном материале, существование которых обусловлено многовариантностью его макроструктуры. Параметры каждой ячейки определяют собственные условия протекания процессов структурообразования и реализации свойств матричного материала, что подтверждается различием количественных значений объемных деформаций (до 40%) и сроков схватывания (до 2,5 часа) твердеющих систем в моделях структурных ячеек, а также изменением технологической поврежденности, водопоглощения и прочности при сжатии моделей бетонных образцов, в среднем до 2 раз. Таким образом, при назначении составов бетонов конкретных конструкций необходимо учитывать разнообразие структуры материала для улучшения безопасности их функционирования.

Библиографический список

1. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Композиционные строительные материалы и конструкции. Структура, самоорганизация, свойства, – Одесса: ТЭС, 2010, с. 169.
2. Прангивили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: Синтез, 2000, с. 519.
3. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Бобрышев А.Н. и др. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. – Ташкент: ФАН, 1991, с. 345.
4. Выровой В.Н., Коробко О.А. Взаимовлияние неоднородностей структуры бетона как сеть взаимоотношений / Международный сборник научных трудов «Строительные материалы – 4С: состав, структура, состояние, свойства». – Новосибирск: НГАУ, 2015, с. 36-41.
5. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции сниженной материалоемкости. – К.: Будівельник, 1991, с. 144.