

УДК 666: 519.8

ВЛИЯНИЕ МАКРОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА В ИЗДЕЛИЯХ

Коробко О.А., Уразманова Н.Ф., Тофанило В.Ю.

Одесская государственная академия
строительства и архитектуры, г. Одесса

Макроструктура бетона представлена как сложноорганизованное содружество структурных ячеек, разнообразие которых определяет индивидуальность оформления и проявления свойств материала по объему конструкции.

Ключевые слова: бетон, макроструктура, структурные ячейки, система, взаимовлияние, многовариантность.

Макроструктура бетону представлена як складно організована співдружність структурних чарунок, різноманіття яких визначає індивідуальність оформлення та прояву властивостей матеріалу по об'єму конструкції.

Ключові слова: бетон, макроструктура, структурні чарунки, система, взаємовплив, багатоваріантність.

The macrostructure of concrete is presented as the complex organized unity of structural cells which variety determines identity of design and manifestation of material properties by construction volume.

Key words: concrete, macrostructure, structural cells, system, interference, variety.

Безопасность функционирования конструкций различного вида и назначения в течение нормированного срока службы в значительной мере определяется структурным оформлением материала, из которого они изготовлены [1]. При таком походе строительную конструкцию целесообразно рассматривать как некоторую целостность (систему), в которой материал реализует себя в качестве одной из составных частей (подсистем) [1, 2]. В свою очередь, материал любой конструкции выступает в качестве ее составной части и может рассматриваться как дискретная среда, что позволяет анализировать материал в виде системы по отношению к собственным составляющим (подсистемам), которые путем взаимообусловленных взаимодействий определяют его

поведение как некоторой целостности. Это предполагает возможность оценки свойств материалов с учетом их структурного потенциала и неизбежных различий поведенческих реакций по объему конструкций.

В качестве объекта анализа был принят бетон как типичный представитель материалов полиструктурного строения [1, 3], в котором структурные неоднородности могут быть выделены на уровне частиц вяжущего и на уровне матричного материала и заполнителей. Каждый выделенный уровень представлен определенным набором характерных элементов. Выделение структурных уровней в интегральной структуре бетона определяется различием его исходных составляющих по размерным параметрам, что делает возможным реализацию одновременно сразу нескольких механизмов структурообразования в одном и том же материале. Все подсистемы в бетоне находятся в иерархически-сетевом соподчинении, при котором одни уровни являются составной частью других уровней. Общая согласованность сосуществования определяет способность подсистем бетона инициировать построение структуры друг друга. Такой порядок структурной организации предполагает стремление самого бетона и его уровней к созданию многоуровневых структур путем образования «систем внутри других систем». При этом каждая подсистема будет представлять собой интегрированное целое, оставаясь при этом частью подсистемы более высокого уровня сложности. При таком виде взаимоотношений между составными частями бетона осуществляется сетевой режим их взаимодействий, при котором структура материала поддерживается в постоянной динамике за счет не прямой взаимной активации отдельных уровней неоднородностей. Это позволяет предположить, что геометрические особенности неоднородности типа «заполнители – матричный материал» (макроструктура) будут определять формирование свойств бетона в локальных объемах изделия через условия структурной организации материала на уровне частиц вяжущего (матричная составляющая).

В работе [1] предлагается представлять макроструктуру бетона в виде грубогетерогенной системы, в качестве характерных структурных элементов которой выделяют своеобразно-упорядоченные ячейки, образованные группами заполнителями в матричном материале. Отличительным признаком геометрического оформления макроуровня как взаимосвязанной совокупности разнообразных структурных ячеек является их многовариантность. Это подтверждается анализом ядер, взятых из различных конструкций, который показал, что при одном и том же составе в бетоне присутствуют ячейки с многовариантными геометрическими

характеристиками. Структурные ячейки различаются типом укладки и ориентирования заполнителей, а также размерами, которые зависят от расстояний между заполнителями, и соотношением адгезионно-когезионных сил связи на поверхностях раздела между матрицей и заполнителями. Во всех ячейках должно обеспечиваться индивидуальное проявление свойств матричного материала. Исходя из этого, была поставлена задача – проанализировать влияние локального разнообразия макроструктуры на формирование свойств материала в моделях структурных ячеек.

Структурные ячейки в качестве элементов включены в оформление макроструктуры, которая, являясь системой для своих составных частей, связывает их в интегрированное целое. Это означает, что структурообразование макроуровня происходит одновременно во всех ячейках, но кинетика реализации процессов индивидуальна для каждой отдельной ячейки. 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 цилиндров и призм, расположение которых обеспечивало получение ячеек кубической и гексагональной формы при различном ориентировании заполнителей. Изменение состояния поверхности моделей заполнителей осуществляли путем их обработки веществом с повышенной адгезией к цементу.

Анализ полученных результатов показал, что в условиях экспериментов объемные деформации матричного материала 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 мнению [1, 3], с формированием полей технологических деформаций, вид которых определяется геометрией структурных форм на уровне макроструктуры бетона.

Возникновение деформаций в ячейках обусловлено протеканием процессов и явлений гидратации вяжущего, которые провоцируют локальные изменения плотности в матричном материале. Объемные деформации воспринимаются границами раздела макроструктуры с последующим их формоизменением, перераспределением и передачей деформаций на уровень конструкции. Это вызывает новое формоизменение границ раздела макроструктуры, что отражается на

физико-механических и, как следствие, физико-химических процессах организации структуры бетона на уровне частиц вяжущего с формированием возвратной волны деформаций. Таким образом, осуществляется взаимная инициация деформационных волн объемных деформаций между уровнями неоднородностей, что позволяет им определять структурную организацию друг друга в зависимости от своих параметров. 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, а проявление градиентов деформаций различного вида на границах раздела между ними провоцирует зарождение и развитие новых элементов структуры – технологических трещин и внутренних поверхностей раздела [1, 3]. 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. Для количественной оценки использовался коэффициент поврежденности $K_{п}$, определяемый как отношение суммарной длины технологических трещин и внутренних поверхностей раздела на фиксированной площади поверхности [4].

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

Косвенно оценить нарушение свойств моделей бетонных образцов можно также путем определения их водопоглощения. Опыты позволили выяснить, что при кубической укладке заполнителей изменение их ориентации и состояния поверхности способствует уменьшению водопоглощения образцов до 45%, при гексагональной укладке – до 30%. В зависимости от типа упаковки заполнителей значения водопоглощения могут изменяться до 40%.

Суммарное количество трещин и внутренних поверхностей раздела определяют гетерогенность матричного материала, и, следовательно, его способность противостоять действию внешних нагрузок. При этом, несмотря на индивидуальность свойств каждой структурной ячейки, в

бетоне они проявляют себя как определенная целостность. Это обусловлено тем, что материал, оформленный в изделие, представляет собой взаимосвязанную и взаимозависимую совокупность отдельных макроструктур-ячеек с различными параметрами и локальным проявлением свойств. Исследования показали, что для каждого принятого типа упаковки заполнителей и состояния их поверхности характерен свой вид трещин разрушения в моделях структурных ячеек при определении их прочности при сжатии. Развитие трещин разрушения проходило по технологическим трещинам и внутренним поверхностям раздела, повторяя достаточно сложную траекторию их движения. При этом изменение прочностных свойств образцов с различными параметрами структурных ячеек составило в среднем 30%. В зависимости от ориентирования заполнителей значения прочности изменялись до 2 раз, в зависимости от вида их укладки – до 45%; при изменении состояния поверхности – до 27%. Ассиметричное расположение заполнителей в структурных ячейках обеспечило повышение прочности образцов при сжатии, до 40%, по сравнению с образцами, в которых заполнители располагались упорядоченно.

Выводы. Проведенные исследования показали, что целостные свойства бетона формируются в результате содружества различных по структурному оформлению и свойствам структурных ячеек. Это обусловлено многовариантностью макроструктуры бетона, которую можно представить в виде связанной совокупности неповторимых по оформлению структурных форм, образованных заполнителями в матричном материале. Параметры каждой ячейки определяют условия протекания процессов структурообразования и реализации свойств матричного материала, что было подтверждено различием значений объемных деформаций (до 40%) и сроков схватывания (до 2,5 часов) твердеющих систем в моделях структурных ячеек, а также изменением технологической поврежденности, водопоглощения и прочности при сжатии моделей, в среднем до 2 раз. Таким образом, при назначении составов необходимо учитывать разнообразие структуры бетонов для улучшения безопасности службы строительных конструкций.

1. Суханов В.Г. Структура материала в структуре конструкции / В.Г. Суханов, В.Н. Выровой, О.А. Коробко. – Одесса: «ПОЛИГРАФ», 2016. – 244 с. 2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: «Синтез», 2000. – 519 с. 3. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / В.Н. Выровой В.Н., В.С. Дорофеев, С.Б. Фиц. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с. 4. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции. / В.Н. Выровой В.Н., В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: «ТЭС», 2010. – 169 с.