

УДК 666: 519.8

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БЕТОНА ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Коробко О.А.

Одесская государственная академия
строительства и архитектуры, г. Одесса

The influence of structural diversity on the dynamics of changes in the structure and properties of concrete under periodic cycles of wetting and drying, freezing and thawing is analyzed. The durability of material of building products is provided by a set of specific structural elements.

Keywords: concrete, macrostructure, structural cells, active elements, damage, low cycle fatigue.

Основной причиной постепенного снижения стойкости бетона как материала строительных изделий является малоцикловая усталость. Знакопеременные перепады температуры и влажности внешней среды воспринимает бетон, в котором происходит необратимая структурная реорганизация, что является причиной изменения свойств материала и изделия. Функционирование изделий в конкретных условиях можно рассматривать как непрерывное развитие структуры с проявлением эффектов адаптации бетона в условиях взаимодействия с окружающей средой. Бетон откликается определенной перестройкой структуры на каждое очередное действие климатических факторов. Возможность структурной адаптации бетона обуславливается набором различных по назначению элементов, способных через взаимосвязь и взаимовлияние между ними, обеспечить своевременные реакции структуры на любые внешние воздействия. Многолетний исследовательский опыт позволил выявить различные факторы управления процессами организации структуры бетона на уровне частиц вяжущего для получения заданных составов структурных элементов. Вместе с этим, к эффективным способам влияния можно отнести направленное изменение параметров характерных составляющих макроструктуры бетона – структурных ячеек, образованных заполнителями в цементной матрице. Это связано с тем, что развитие практически всех структурных элементов бетона вызывается объемными деформациями, инициируемыми гидратацией вяжущих. В макроструктурных ячейках, учитывая неповторимость их геометрических форм, создаются индивидуальные условия протекания

межчастичных и межфазных взаимодействий частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде. Этим обуславливается различие кинетики и величины проявления деформаций в локальных объемах бетона, что ведет к несовпадению в них параметров структурных элементов одних и тех же видов. Можно предположить, что повышение разнообразия макроструктуры за счет изменения условий формирования адгезионно-когезионных сил связи на поверхностях раздела между заполнителями и матричным материалом, позволит влиять на процессы твердения и структурообразования цементной матрицы для увеличения диапазона структурных элементов. Усложнение потенциала структуры обеспечит необходимую стойкость бетона при эксплуатации путем включения механизмов адаптации. Потому была поставлена задача – проанализировать влияние структурного разнообразия на динамику изменения структуры и показателей функциональных свойств бетона под действием попеременных циклов замораживания-оттаивания и увлажнения-высушивания.

В качестве объекта исследований была принята макроструктура бетона как совокупность отдельных ячеек с различными физическими и геометрическими параметрами и структура бетона как характерная составляющая строительного изделия.

На уровне макроструктуры, даже при одном и том же составе бетона, можно выделить своеобразно-упорядоченные ячейки, которые создаются группами заполнителей, ограничивающих часть матричного материала. Изделия из бетонов промышленных составов включают многовариантный набор макроструктурных ячеек, различающихся типом укладки в них заполнителей и соотношениями величин когезии и адгезии на межфазных границах раздела. Ячейки проявляют себя как условно самостоятельные подсистемы, связанные в единое целое (систему). Организация структуры бетона на макроуровне происходит одновременно во всех ячейках. В то же время условия реализации процессов структурообразования и твердения цементной матрицы будут неповторимыми для отдельных ячеек. Следовательно, в каждой ячейке должно обеспечиваться индивидуальное проявление свойств заключенного в них матричного материала.

Исследования, проведенные на моделях различных ячеек, показали, что цементная составляющая реагирует на изменение расположения и состояния поверхности заполнителей в ячейках. В заданных условиях эксперимента величина объемных деформаций твердеющих цементно-водных композиций одного состава изменялась до 27% при разных способах укладки заполнителей и до 44% при аппретировании их поверхности веществом с пониженной адгезией к цементу. Изменение

сроков схватывания составило в среднем 1,5-2 часа в зависимости от параметров ячеек. В различных зонах одной и той же ячейки периоды формирования структуры цементного камня отличались до 45 минут.

Эквивинальным результатом разноплановых процессов и явлений формирования структуры бетона является образование структурных блоков. Это ведет к самозарождению и саморазвитию межблочных границ раздела. Подобные элементы способны трансформироваться в трещины и внутренние поверхности раздела (ВПР) под действием собственных деформаций материала. В свою очередь, трещины и ВПР выступают неотъемлемыми элементами структуры, определяющими гетерогенность бетона до начала функционирования в виде изделия. В работе [1] отмечается, что присутствие трещин и ВПР обеспечивает возможность проявления различных механизмов адаптации структуры к негативному влиянию внешней среды. Особенностью этих элементов является способность мгновенно реагировать практически на любые внешние воздействия, адекватно изменяя свои параметры, и включать в работу структурные элементы с замедленными реакциями на быстро изменяющиеся условия эксплуатации материалов. Полученные результаты показали, что поврежденность цементного камня как суммарная протяженность трещин и ВПР, количественно оцениваемая через коэффициент поврежденности, K_p , отличалась при различных характеристиках макроструктурных ячеек до 2,5 раз. Таким образом, в локальных объемах макроструктуры бетона образуются разнообразные наборы активных элементов, которые на уровне структуры материала интегративно определяют ее функциональный потенциал и условия взаимодействия с окружающей средой.

Индивидуальность проявления свойств затвердевшей цементной матрицы в отдельных структурных ячейках одних и тех же бетонных образцов-кубов подтвердилась широким диапазоном количественных значений прочности, полученных с помощью прибора ИПС-МГ4.01, и скорости прохождения ультразвукового импульса. Было определено, что повышение разнообразия макроструктурных ячеек увеличивает разброс значений свойств. При моделировании ситуаций, связанных с многовариантностью ячеек, приняты наиболее характерные случаи формирования адгезионно-когезионных сил связи на границах раздела между матричным материалом и поверхностью заполнителей: $R_A > R_K$; $R_A < R_K$; $R_A = R_K$, где R_A – величина адгезии матрицы к поверхности заполнителя, R_K – величина когезионной прочности матричной составляющей. Значения прочности в разных участках одного объема бетонных образцов отличались: для $R_A < R_K$ (бетон на заполнителях, обработанных ГКЖ-11) до 30%; для $R_A > R_K$ (бетон на необработанных

заполнителях) до 40%; для $R_A=R_K$ (бетон на заполнителях с различным состоянием поверхности) до 45%. Скорость прохождения ультразвука в локальных объемах одних и тех же кубов-образцов различалась в интервалах: при $R_A>R_K$ – от $U=3,32$ м/с до $U=3,65$ м/с; при $R_A<R_K$ – от $U=3,31$ м/с до $U=3,94$ м/с; при $R_A=R_K$ – от $U=3,35$ м/с до $U=3,88$ м/с.

Увеличение разнообразия структуры на макроуровне ведет к повышению уровня свойств бетона в образцах. Так, создание многовариантных типов межфазных контактов в ячейках привело к увеличению прочности при сжатии образцов-кубов до 24% и модуля упругости до 27% при уменьшении водопоглощения материала до 19%. Значения коэффициента поврежденности изменялись до 29%. Объем открытых капиллярных пор изменился до 2 раз, показатель их среднего размера на 26%, показатель однородности размеров на 30%.

Неповторимость реализации свойств цементной составляющей в ячейках обуславливает увеличение разнообразия параметров наборов трещин и ВПР в локальных объемах бетона. Это должно отразиться на динамике изменения структуры и механических свойств бетона при малоцикловых воздействиях.

Развитие трещин в материалах с блочным строением представляет собой дискретно-непрерывный процесс скачкообразного подрастания трещин после каждого цикла многократных воздействий. При этом произошедшее изменение структуры определяется предшествующим изменением трещин и внутренних поверхностей раздела. Самобытные наборы трещин и ВПР в разных объемах макроструктуры определяют неповторимость структурной перестройки бетона локально в ячейках и интегрально на уровне материала изделия.

Результаты исследований, проведенных на разнообразных моделях ячеек, показали, что значения K_p цементного камня в отдельных ячейках различались до 57% через 6 циклов увлажнения-высушивания. Изменение поврежденности материала моделей с ячейками, в которых было обеспечено разнообразие соотношений R_A и R_K , происходило более равномерно в отличие от моделей с одинаковыми начальными условиями межфазных взаимодействий заполнителей с матрицей.

Исследования на образцах-кубах показали, что увеличение разнообразия бетона на уровне макроструктуры ведет к поддержке уровня свойств при малоциклового усталости (рис.1). В зависимости от составов бетона рост поврежденности замедлился с 64% до 26% при температурных воздействиях и с 35% до 15% при влажностных воздействиях. Изменение водопоглощения снизилось с 33% до 10%, показателей прочности – с 33% до 16%, модуля упругости – с 4,5 раз до 1,7 раз.

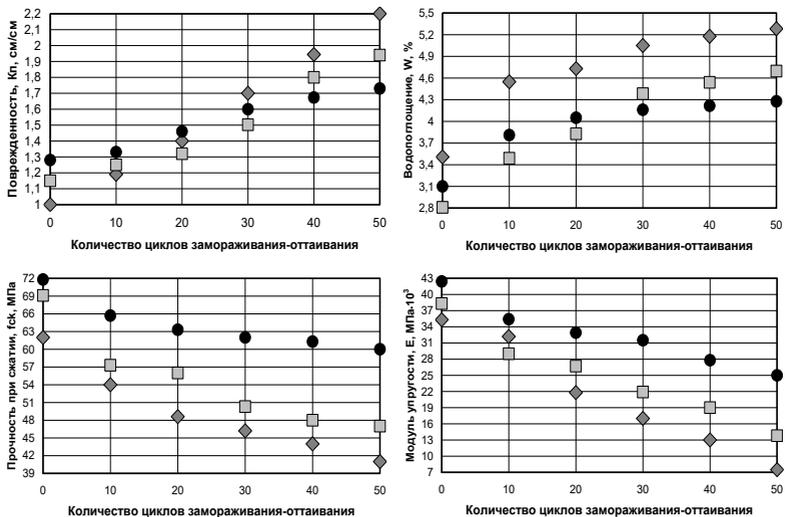


Рис. 1. Динамика изменения уровня свойств бетона с различными параметрами макроструктуры при знакопеременных воздействиях:

■ – $R_A > R_K$; ◆ – $R_A < R_K$; ● – $R_A = R_K$

Реальные бетоны содержат весь возможный набор ячеек на уровне макроструктуры, что способствует адекватному перераспределению возникающих реакций материала на попеременное действие внешних факторов. Тем самым самоподдерживается структурная стабильность материала и уровень функциональных свойств в период эксплуатации строительных изделий.

Выводы. Проведенные исследования позволяют заключить, что динамика изменения структуры и свойств бетона при малоцикловой усталости во многом определяется конкретными характеристиками макроструктуры. Развитие активных структурных элементов ведет к повышению безопасности функционирования строительных изделий в сложных внешних условиях за счет проявления эффектов адаптации материала.

1. Суханов В.Г. Структура материала в структуре конструкции / В.Г. Суханов, В.Н. Выровой, О.А. Коробко. – Одесса: Изд-во «ПОЛИГРАФ», 2016. – 244 с.