

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА УРОВНЕ МАКРОСТРУКТУРЫ БЕТОНА

Острая Т.В., Выровой В.Н., Резникова Л.И, Острая Е.А., Одесская государственная академия строительства и архитектуры.

**Проанализировано формирование распределения остаточных деформаций на уровне макроструктуры бетона в зависимости от ориентации заполнителей. Выявлено влияние типа укладки заполнителей в структурных ячейках бетона на распределение напряжений и деформаций при действии внешней нагрузки.**

**Введение.** Макроструктура бетонов на плотных и пористых заполнителях представлена структурной неоднородностью типа «матрица-заполнитель» [1,2]. При анализе механизмов формирования макроструктуры бетонов многие авторы [3,4,5,6] отмечают достаточно высокую роль заполнителей в создании в окружающем растворе напряжений различного знака, что может служить предпосылкой формирования остаточных напряжений. При этом исходят из различных моделей бетона с заполнителями в виде дисков, предполагая, что процессы и явления, которые происходят в единичной структурной ячейке, можно перенести на всю совокупность структурных ячеек без значительной потери информации. Результаты, полученные в работе [7], исключают возможность такого предположения. Авторами показано, что изменение ориентирования квадратных заполнителей в моделях структурных ячеек бетона полностью изменяет в них распределение локальных (возникающих на уровне структуры) остаточных деформаций. Это послужило основанием для изучения механизмов распределения локальных остаточных напряжений и деформаций на границах раздела растворной части с заполнителями в зависимости от формы и ориентирования последних.

**Методы анализа.** Анализ формирования распределения остаточных деформаций, проводился на моделях структурных ячеек бетона с кубической и гексагональной укладкой заполнителей графо-аналитическим методом и методом фотоупругости [8]. Анализируемые модели отличались ориентированием заполнителей относительно друг друга и расстоянием  $h$ , которое выражалось в долях приведенного радиуса, рис.1.

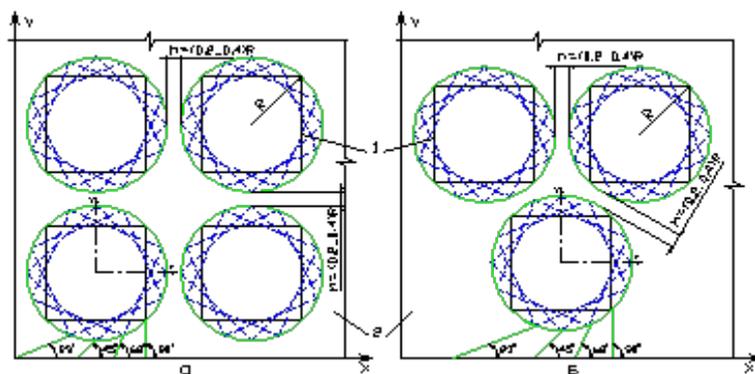


Рис.1. Модели структурных ячеек бетона с различной ориентацией  
заполнителей при кубической (а) и гексагональной (б) упаковке  
с расстоянием между заполнителями  $(0, 2, \dots, 4)R$ :  
1 – заполнители; 2 – матричный материал.

Анализ графо-аналитическим методом проводили для плоских моделей в сечении, проходящем через центр тяжести заполнителей для случая, когда адгезионная прочность

твердеющего матричного материала  $R_a$  меньше его когезионной прочности  $R_k$ ,  $R_a < R_k$ . Предполагалось, что материал матрицы представляет собой однородную непрерывную среду.

Распределение деформаций в каждой ячейке было построено в предположении, что любую выделенную группу заполнителей окружает набор структурных ячеек с такими же геометрическими характеристиками. Было проанализировано 36 ситуаций возможного изменения ориентации заполнителей.

**Анализ результатов исследований.** Проведенный анализ показал, что в каждой структурной ячейке в зависимости от ориентации заполнителей происходит индивидуальное зарождение и развитие локальных остаточных деформаций. На поверхностях раздела появляются деформации, разные по значению и направлению, что вызывает формоизменение границы раздела матричного материала с заполнителями, рис.2.

В результате участки разнонаправленных деформаций сдвигаются, происходит своеобразная миграция максимального изменения формы границ раздела. Последующие объемные деформации твердеющей матрицы появляются на новых поверхностях раздела, что ведет к очередному этапу перераспределения деформаций.

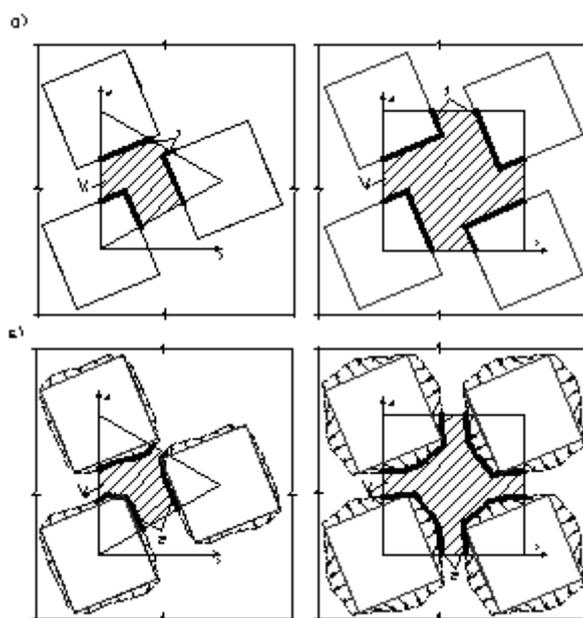


Рис.2. Механизм изменения поверхностей раздела (ПР) матричного материала с заполнителями в зависимости от типа их упаковки в структурных ячейках бетона:  
 1 – начальная ПР; 2 – ПР после объемных изменений;  
 $V_1, V_2$  – объем матричного материала между заполнителями, до и после изменения поверхностей раздела соответственно.

Представим объем матричного материала в пределах выделенной структурной ячейки до начала объемных изменений, сопровождающих процессы твердения, через  $V_1$ , рис.2.а. В результате развивающихся разновеликих деформаций по величине и направлению, вызывающих формоизменение границ раздела, объем матричного материала изменяется и становится  $V_2$ , рис.2.б.

Проведя анализ изменения объема матрицы ( $\Delta V$ ) в моделях структурных ячеек бетона с разной ориентацией заполнителей с помощью графо-аналитического метода, можно заключить, что при кубическом способе укладки заполнителей  $\Delta V$  изменяется на 11...25% больше, чем при гексагональном расположении, независимо от расстояния  $h$ .

Изменение объема матричного материала в разной степени в результате развивающихся начальных деформаций, разных по значению и направлению, должно приводить к формированию структуры бетона с разной плотностью и изменять поведение материала при действии внешних усилий.

Поэтому был проведен эксперимент с целью изучения влияния расположения заполнителей в моделях структуры бетона на распределение деформаций при воздействии внешних усилий.

В качестве матрицы в моделях структурных ячеек бетона применялся фоточувствительный материал эпоксидная смола ЭД-20. Изменение поля остаточных деформаций исследовалось при действии сжимающей нагрузки. Схема испытания приведена на рис.3.

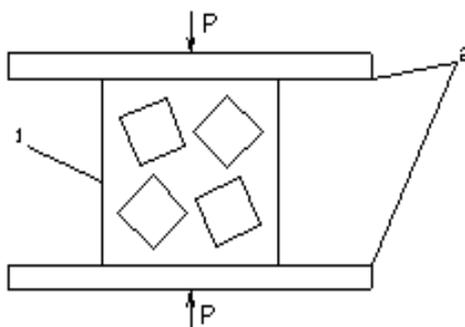


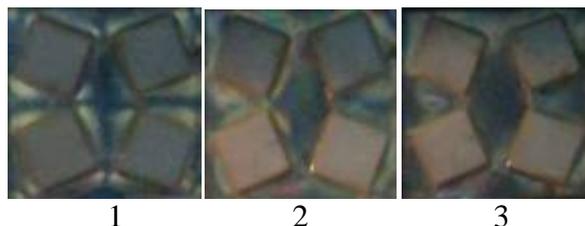
Рис.3. Схема испытания на сжатие моделей структурных ячеек бетона: 1 – образец; 2 – опорные пластины.

Нагрузка прикладывалась ступенями. Для каждой ступени фиксировалось поле деформаций.

Проведенные исследования показали, что в каждой структурной ячейке с индивидуальным расположением заполнителей характер изменения распределения остаточных деформаций при действии внешних усилий отличается. При этом были выявлены характерные особенности распределения деформаций при одинаковых схемах укладки заполнителей, по-разному ориентированных между собой. При гексагональной укладке заполнителей распределение деформаций в объеме матричного материала происходит равномерно, без видимых концентраций деформаций; при кубической схеме появление областей с наложением полей остаточных деформаций характерно для всех видов ориентации заполнителей относительно друг друга, рис.4.

Анализ полученных результатов исследований показал, что прочностные свойства физических моделей структурных элементов бетона при действии внешних сил зависят от степени изменения объема матрицы при твердении, рис.5.

а)



б)



Рис.4. Изменение поля остаточных деформаций в моделях структурных ячеек бетона с кубической (а) и гексагональной (б) схемой расположения заполнителей при действии внешней усилий: 1,2,3 – степени нагрузки.

$\Delta V, \%$

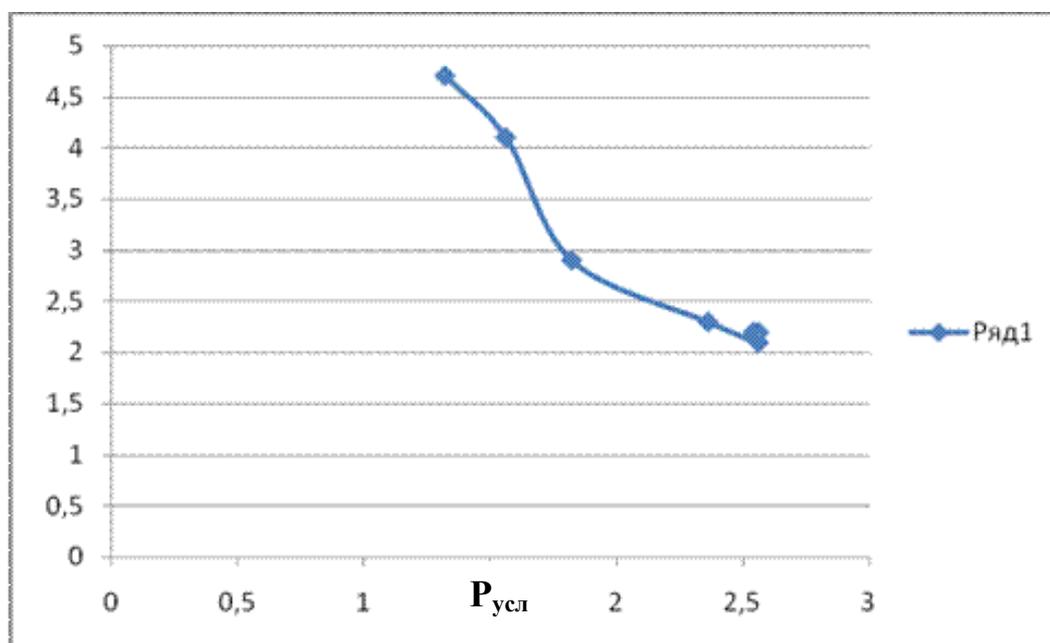


Рис.5. Прочность при осевом сжатии модельных образцов структурных ячеек бетона из эпоксидной смолы ЭД-20 в зависимости от степени изменения объема матричного материала при твердении:

$P_{усл}$  – условная разрушающая нагрузка моделей;

$\Delta V$  – изменение объема твердеющей матрицы внутри структурной ячейки, полученное графо-аналитическим методом при уменьшении результирующих перемещений точек в 400 раз.

Анализ результатов эксперимента показал, что при гексагональной схеме расположения заполнителей в моделях макроструктуры бетона прочность последних при действии сжимающей нагрузки оказалась в 1,4...1,8 раза выше, чем при кубической схеме.

**Выводы.** 1. В макроструктуре бетона в зависимости от особенностей расположения заполнителей на поверхностях раздела развиваются деформации, разные по значению и направлению, что вызывает формоизменение границы раздела матричного материала с заполнителями. Проведенные графо-аналитическим методом исследования позволили выявить влияние способа укладки заполнителей при их разной ориентации на

степень объемных изменений матричного материала при твердении. При расстояниях между заполнителями  $(0,2...0,4)R$  расположение последних по кубической схеме инициирует объемные изменения при твердении на 11...25% больше, чем по гексагональной схеме.

2. Исследования, проведенные методом фотоупругости на физических моделях с разным расположением заполнителей, показали, что в каждой структурной ячейке при действии внешних усилий происходит индивидуальное перераспределение остаточных деформаций. При этом в структурных ячейках с одинаковой схемой укладки включений прослеживается похожий характер развития деформаций. Влияние схемы укладки заполнителей отражается и на прочностных характеристиках материала.

### **Литература**

1. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / Дорофеев В.С., Выровой В.Н. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 168 с.

2. Соломатов В.И. Основы композиционных строительных материалов / Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С. – Харьков: ХИИГХ, 1990. – 52с.

3. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / [Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В.]. - К: Будівельник, 1991. – 144 с.

4. Лермит Р. Проблемы технологии бетона / Лермит Р. – М.: Госстройиздат, 1959. – 294 с.

5. Состав, структура и свойства цементных бетонов / [Горчаков Г.И., Ориентлихер Л.П., Савин В.И. и др.] – М.: Стройиздат, 1976. – 144 с.

6. Подвальный А.М. О собственных напряжениях, возникающих в бетоне при замораживании / Подвальный А.М. // Инж.-физ.журнал. – 1973. – XXV. №2. – С. 316-324.

7. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. - Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.

8. Острая Т.В. Анализ механизмов формирования локальных остаточных деформаций в бетоне / Острая Т.В., Суханов В.Г., Гергега А.Н., Выровой В.Н. // Вісник ОДАБА. – 2008. - №29.-Ч.2. –Одесса: Зовнішрекламсервіс. – С.390-397.