

ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В МИКРОСТРУКТУРЕ БЕТОНОВ

Выровой В.Н., Дорофеев В.С. (г. Одесса, Украина),
Фиц С. (г. Люблин, Польша), Сильченко С.В. (г. Одесса, Украина)

Введение.

Микроструктура бетона представлена структурной неоднородностью на уровне зерен вяжущего с водой затворения [1, 2, 3, 4].

В работах [1, 2, 3, 8] структурообразование минеральных вяжущих, как специфических дисперсных систем, рассматривается как процесс самоорганизации, при котором образуются новые структурные параметры. К таким параметрам отнесены межкластерные поверхности раздела (ВПР) различного масштабного уровня, которые определяются кластер-кластерными взаимодействиями [5] и дискретные структуры на уровне продуктов новообразования. Под кластерными структурами авторы понимают содружество частиц, в которых индивидуальные свойства каждой частицы трансформируются в свойства их содружества. Проведенный анализ механизмов спонтанного структурообразования позволил предложить модель микроструктуры бетона [6]. В предложенной модели выделены: структурные блоки, организованные по типу «кластер в кластере»; межкластерные поверхности раздела (ВПР); технологические трещины (ТТ); модифицированный слой на ВПР и берегах трещин; поры и капилляры.

Предложенная модель бетона послужила основой при анализе распределения влажностных и температурных деформаций в микроструктуре.

Анализ механизмов распределения деформаций в микроструктуре бетона при изменении влажности и температуры.

Принятая модель [6] предполагает, что бетон представляет собой полиструктурный материал, организованный по типу «структура в структуре» или «кластер в кластере». Нижний уровень структурных неоднородностей представлен структурными блоками различных масштабных уровней, взаимодействующих между собой через ВПР и технологические трещины.

Рассмотрим фрагмент структуры на уровне блочного строения затвердевшего вяжущего, рис. 1.

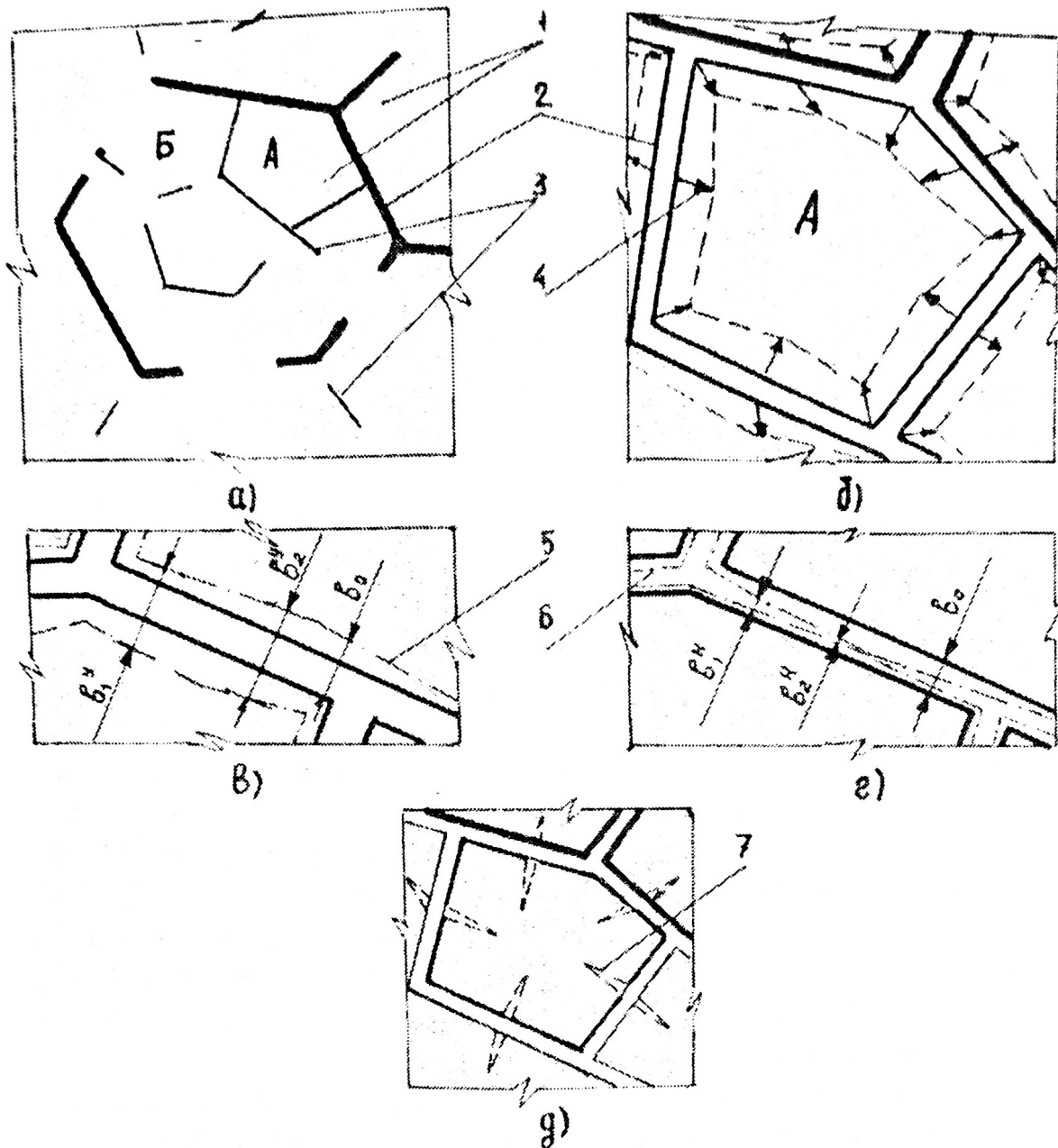


Рис. 1. Распределение деформаций на ВПР при изменении объема микроструктуры материала

а – фрагмент блочного строения микроструктуры; б – распределение деформаций в структуре блока; в, г – распределение деформаций на ВПР при уменьшении и увеличении объема структурного блока; д – характер образования новых ВПР в структурных блоках; 1 – структурные блоки различного масштабного уровня; 2 – ВПР; 3 – технологические трещины; 4 – направление усадочных деформаций; 5 – характер изменения ВПР при уменьшении объема блока; 6 – характер изменения ВПР при увеличении объема материала; 7 – возможность развития трещин.

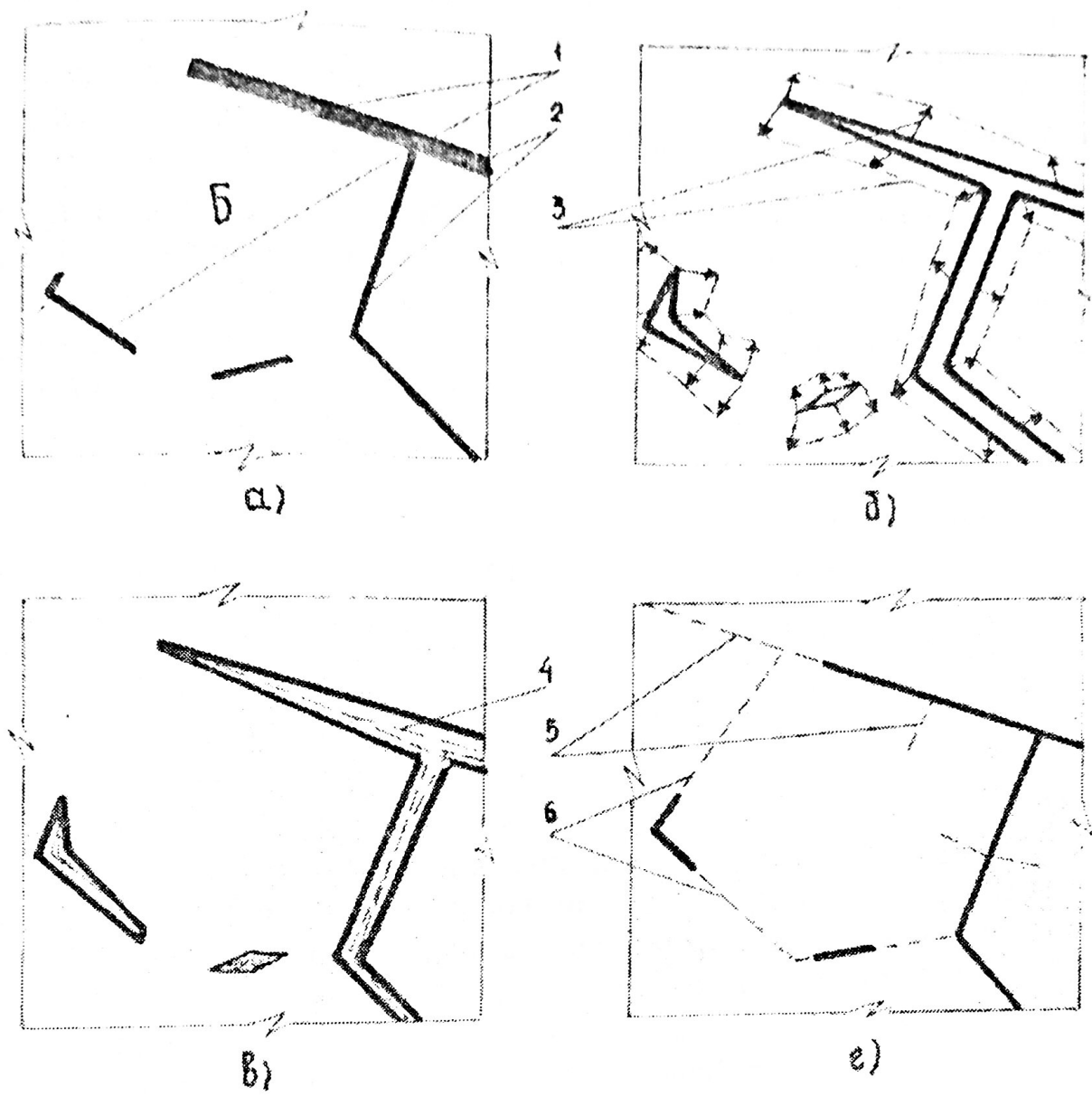


Рис. 2. Схемы распределения знакопеременных деформаций на берегах технологических трещин

а – структурный блок с технологическими трещинами; б, в – распределение деформаций на берегах технологических трещин при уменьшении и увеличении объема материала; г – характер образования трещин и ВПР эксплуатации; 1 – технологические трещины; 2 – ВПР; 3 – распределение деформаций в структурном блоке при уменьшении объема материала; 4 – распределение деформаций при увеличении объема материала; 5 – эксплуатационные трещины; 6 – эксплуатационные ВПР.

Из этого фрагмента выделим два характерных для данной структурной неоднородности структурных блоков (рис. 1б), отличающихся тем, что один блок отделен от других ВПР, а второй – технологическими трещинами и ВПР (рис. 2).

Примем, что при действии внешней среды (например, изменение температуры или влажности) происходит изменение объема материала. При этом интегральные изменения объема гетерогенных материалов является алгебраической суммой изменения объемов отдельных структурных блоков. Рассмотрим распределение деформаций уменьшения объема в структурном блоке, отделенном от соседних ВПР, рис. 1в.

Распределение усадочных деформаций, как показал анализ, проведенный графоаналитическим методом, зависит от геометрических характеристик структурных блоков [1]. Уменьшение объема материала структурных блоков ведет к увеличению ширины раскрытия ВПР. Возникающие при этом градиенты деформаций, индивидуальные для противоположных границ раздела, способствуют проявлению явлений формоизменения и, в итоге, развитию деформаций сдвига, рис. 1г.

Увеличение объема материала структурных блоков вызывает уменьшение ширины раскрытия ВПР при неравномерном (по величине и направлению) распределении, рис. 1д.

Повторяющиеся деформации уменьшения и увеличения объема материала структурных блоков могут вызвать в зонах максимальных градиентов деформации материала, нарушение его целостности. Появившиеся новые трещины следует отнести к эксплуатационным трещинам, место появления которых предопределили ВПР, возникшие в период организации структуры материала, рис. 1е.

Берега эксплуатационных трещин воспринимают объемные деформации материала, что вызывает перераспределение деформаций, как в самом структурном блоке, так и на ВПР, рис.2. При подобном экологическом нагружении в структурах блока, отделенных от соседних ВПР, возникают и развиваются новые структурные составляющие – эксплуатационные трещины. Характерной особенностью этих трещин можно считать их рост внутри структурных блоков, что при определенных количествах циклов знакопеременных объемных деформаций, изменяя общую поврежденность гетерогенного материала эксплуатационными дефектами, не будет оказывать влияния на изменение механических характеристик.

В случае взаимодействия соседних структурных блоков через ВПР и берега технологических трещин, распределение деформаций уменьшения и увеличения объема материала уменьшается, рис. 2а.

Экспериментальные результаты.

В работах [2, 3] отмечается, что формирование дискретных структур зависит от качественных и количественных составов цементных композиций. В проведенных опытах в качестве вяжущего использованы цемент завода Хелм СЕМ 32,5 (Ц₁) и бездобавочный цемент Одес-

ского цементного завода (Ц_2). Образцы-балочки с размерами $4 \times 4 \times 16$ см и образцы-кубы с размерами $10 \times 10 \times 10$ см на основе Ц_1 готовились по стандартной технологии с различным В/Ц (В/Ц=0,3; 0,4; 0,5; 0,6). Для определения трещиностойкости готовились образцы-балочки с трещинами, инициированными методом заложения (K_{Ic}^3) и методом распила (K_{Ic}^P). Образцы всех видов твердели в нормальных условиях. После 28 суток определяли поврежденность (Π) образцов технологическими трещинами по методике, описанной в [1].

Анализ показал, что характер распределения технологических трещин зависит от В/Ц, рис. 3.

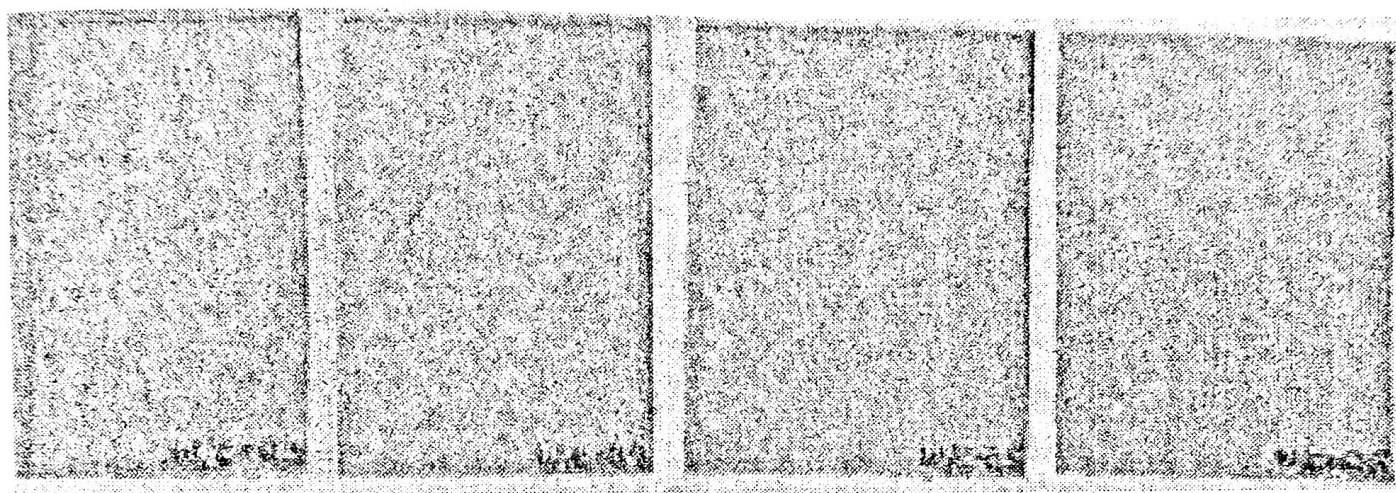


Рис. 3. Рисунок проявленных блоков-кластеров в образцах при измененном В/Ц.

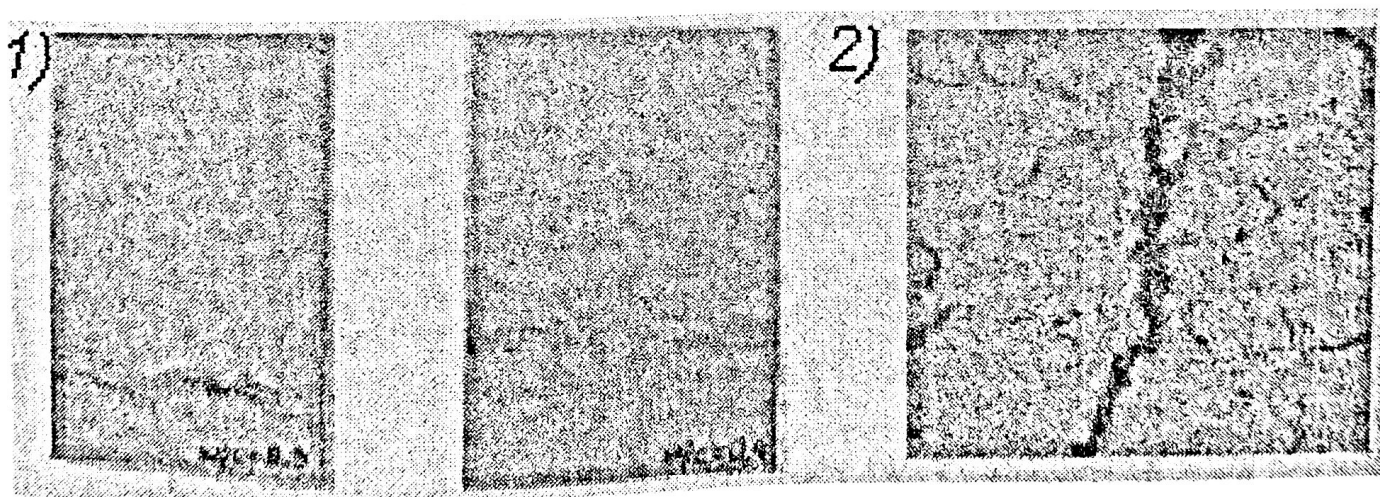


Рис. 4. Трещины разрушения образцов:

- 1) растяжения при изгибе
- 2) ударное испытание

С увеличением В/Ц увеличивается размер дискретных структур с одновременным увеличением межкластерных поверхностей раздела. Поверхность разрушения после испытания образцов-балочек (рис. 4.1)

на растяжение при изгибе и образцов-кубов при определении ударной прочности (рис.4.2) происходит по межкластерным поверхностям раздела. В случае многократного увлажнения и высушивания поврежденность увеличивается при снижении прочности на растяжение при изгибе и трещиностойкости. Увеличение поврежденности происходит, в основном, за счет «дробления» кластерных структур по предложенным схемам.

При быстрой ударной нагрузке на материал трещины разрушения проходят как по технологическим трещинам, так и через структурные блоки. При этом не выявлено существенных статических зависимостей, однако это показывает существенное отличие механизмов разрушения в зависимости от вида прикладываемой к материалу нагрузки.

Выводы

1. Анализ показал, что у устья технологических трещин развиваются градиенты деформаций по величине и направлению, что, определяет направление дальнейшего роста трещин. Циклическое изменение объема материала ведет к увеличению технологических трещин и превращению их в эксплуатационные трещины. Кинетика и направление роста таких трещин предопределены начальной структурой цементного камня. При этом такие трещины способны замыкаться на ВПР, смыкаться в себе подобными и прорастать в структурные соседние блоки.

2. Доказано, что прорастание трещин в структурные соседние элементы ведет к их качественно новой роли в процессе разрушения материалов. По мере роста трещины на ее берегах будут проявляться все новые по величине и направлению действия деформации. Трещина, при каждом цикле изменения объема материала разных структурных блоков, будет циклично подрастать, превращаясь в трещину, опасную для данной структурной неоднородности. Превращение технологической трещины в эксплуатационную, при незначительном изменении поврежденности, вызывает разделение материала на части, превышающие данный уровень структурной неоднородности, что является признаком начала разрушения.

3. Проведенные исследования показали, что путем изменений элементов можно влиять на изменение организации структуры в цементном растворе, и тем самым на уровень деформации в дискретных блоках материала при градиенте влажности, температуре и внешних нагрузках.

Литература

1. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. Одесса: ИМК «Город мастеров», 1998. – 165 с.
2. Соломатов В.И., Тахиров Н.К., Шахех Шах. Интенсивная технология бетона. – М.: Стройиздат, 1989. – 284 с.
3. Соломатов В.И., Выровой В.Н. Кластерообразование композиционных строительных материалов // Кн.: Технологическая механика бетона. – Рига: РПИ, 1985. – С. 5-21.
4. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М.: Химия, 1980. – 320 с.
5. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. – М.: Наука, 1991. – 134 с.
6. Выровой В.Н., Фиц С. Анализ механизмов формирования макроструктурных параметров и изучение их влияния на сопротивление бетона ударным нагрузкам. – Вісник: ОГАСА, 2003. – № 9. – С. 45-53.
7. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
8. Scherer G.W. Structure and properties of gels. Cem. and Concrete Research. – 1999. – № 29. – S. 1149-1157.