

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ

Острая Т.В.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

**Введение.** Проведенный в [1,2] анализ позволил выявить влияние геометрических характеристик макроструктуры бетона на механизмы его структурообразования. Рассмотрение механизмов организации структуры материала без учета его оформления в определенные конструктивные формы не позволяет получить полную информацию, поскольку не дает возможность установить влияние интегральных начальных деформаций на локальные процессы структурообразования вяжущего. По мнению специалистов [3,4], одной из причин возникновения начальных интегральных деформаций являются объемные изменения твердеющего материала. При этом отмечается, что вид вяжущих и природа возникающих объемных изменений не оказывает заметного влияния на распределение интегральных деформаций. Характер распределения развивающихся деформаций определяется в основном геометрией образца, изделия или конструкции.

Таким образом, толчком к развитию остаточных деформаций являются физико-химические процессы и явления, протекающие в вяжущих системах. Формирование полей остаточных деформаций происходит под влиянием геометрических особенностей образца. Дальнейшие процессы твердения вяжущих систем будут реализовываться в деформационных полях, возникновение которых они инициировали. Это должно привести к неравномерному распределению вещественного состава вяжущего по объему материала, что должно вызвать изменение скорости протекания химических реакций и, в итоге, к локальному изменению свойств.

В связи с этим была определена задача проанализировать влияние конструктивной формы изделий на формирование распределения интегральных технологических деформаций и его влияния на структуру материала изделий и их механические свойства.

**Методика проведения исследований.** Для анализа были выбраны образцы изгибаемых элементов размером  $a \times a \times na$ ,  $n=4 \dots 8$ . При анализе изменялась форма нижней поверхности изделий. Был введен коэффи-

циент формы  $K_\phi$ , который определялся отношением длины нижней грани контрольного образца  $l_0$  к длине измененной грани образцов  $l:K_\phi = l_0/l$ . Значения  $K_\phi$  при анализе изменялись от 1,0 до 0,990, рис.1.

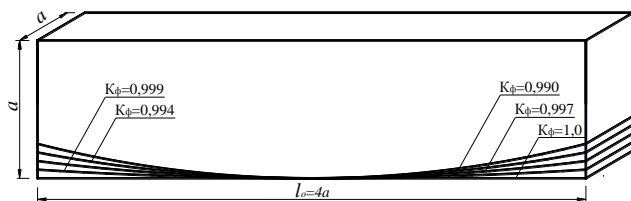


Рис.1. Методика изменения формы изгибаемых элементов.

При анализе исходили из установленных фактов общего уменьшения объема твердеющих материалов на основе органических и неорганических вяжущих. Анализ проводился графо-аналитическим методом. Этот метод позволяет определить относительные величины деформаций при фактическом направлении для любой точки на внешней границе образцов. При анализе предполагалось, что градиенты деформаций не нарушают сплошности материала.

Контролировали прочность на растяжение при изгибе  $R_{bt}$  образцов с различными значениями  $K_\phi$ . Образцы готовили из цементного теста нормальной густоты. Испытания проводили после их твердения в течение 28-ми суток в нормальных условиях.

Поврежденность образцов технологическими дефектами оценивали при помощи коэффициента поврежденности  $K_n$ , который определяли из отношения общей длины технологических трещин и внутренних поверхностей раздела  $L$  к площади поверхности, на которой они проявились  $S$ ,  $K_n = L/S(\text{см}/\text{см}^2)$  [5,6]. Поврежденность по этому методу оценивали как интегральную характеристику образцов и на отдельных участках поверхности. Обнаружение и фиксацию технологических трещин проводили по методике, описанной в [7].

**Анализ механизмов формирования интегральных остаточных деформаций.** Построение распределения деформаций выполнялось в сечении, проходящем через ось изделия и перпендикулярном его боковой грани. Введение системы координат позволило провести количественную оценку деформаций с выделением таких параметров как относительная величина деформаций  $\epsilon$  и направление их действия через угол  $\phi$ .

Распределение интегральных остаточных деформаций в изделиях, как показал анализ, зависит от значений  $K_\phi$ , рис.2.

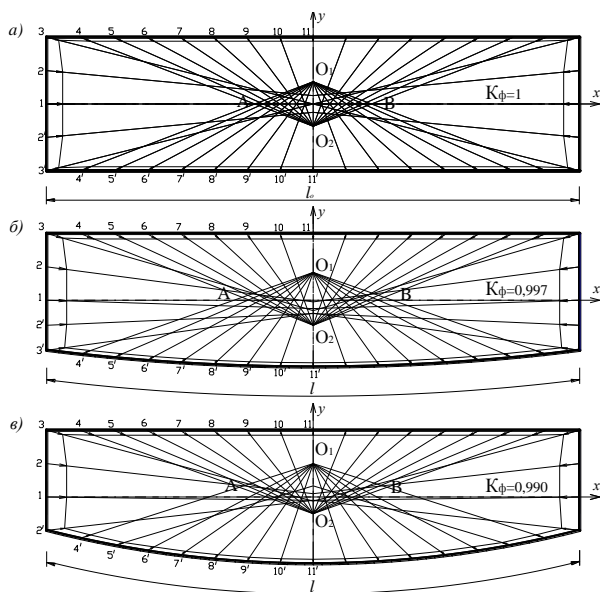


Рис. 2. Эпюры интегральных деформаций в образцах изгибаемых элементов с разными коэффициентами формы ( $n=4$ ).

В анализируемом сечении элементов со всеми рассматриваемыми значениями  $K_\phi$  происходит формирование некоторой «области локализации» деформаций (область  $AO_1BO_2$ ). При этом в стандартных элементах характерно симметричное распределение деформаций по отношению к противоположным граням сечения, рис.2.а.

В отдельных точках на внешних границах выделенного сечения возникают градиенты деформаций по величине и направлению действия, что создает реальные предпосылки концентрации деформаций и напряжений сдвига в точках, плоскостях или объемах изделия и развития интегральных деформаций растяжения. К таким зонам локализации сдвиговых деформаций и напряжений можно отнести участки с разнонаправленными деформациями и деформациями, разными по абсолютному значению.

Изменение формы нижней поверхности приводит к изменению распределения деформаций по всему сечению элемента, рис.2.б. При изменении  $K_\phi$  от 1,0 до 0,990 на нижней поверхности изделий происходит снижение градиентов деформаций точек до 21%.

Изменение формы нижней поверхности изгибаемых элементов приводит к формированию асимметричного характера распределения ин-

тегральных технологических деформаций. В отличие от стандартных образцов, при общей тенденции перемещения деформаций к единому центру происходит некоторое смещение последних к нижним участкам «области локализации». Это создает предпосылки неравномерного деформирования «верхних» и «нижних» участков выделенного сечения. При этом для «нижних» участков практически не наблюдается градиентов деформаций по относительной величине.

Изменение коэффициента формы приводит к увеличению «области локализации» до 50%, что способствует распространению сжатой зоны материала на большую площадь сечения. Минимизация градиентов деформаций по величине и изменение направления их действия приводит к сокращению длины нижней поверхности до 6%. Все это создает предпосылки развития деформаций сжатия в «нижних» участках сечения и, следовательно, изделия. В стандартных изделиях, напротив, происходит некоторое увеличение размеров внешних границ раздела, что ярко выражено на участках 3-4 и 3'-4', рис.2.а.

При изменении  $K_{\phi}$  в элементах с  $n > 4$  общий характер распределения интегральных остаточных деформаций сохраняется. Для всех значений  $n = 4 \dots 8$  характерно снижение градиентов интегральных деформаций по величине до 20% и формирование «области локализации» деформаций, способствующей развитию сжимающих интегральных деформаций в растянутой зоне сечения. Однако при увеличении значений  $n > 6$  наблюдается тенденция смещения этой области к верхней части выделенного сечения.

**Анализ результатов исследований.** Развитие в отдельных участках изделия (в зависимости от его формы) интегральных деформаций растяжения или сжатия должно провоцировать изменение кинетики протекания химических процессов и организации структуры материала в зависимости от того, находится он в зонах растяжения или сжатия. Для подтверждения выдвинутых положений были проведены специальные исследования. В работах [5,8] технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ВПР) отнесены к элементам структуры материалов. В [9] показано, что общее количество и характер ТТ и ВПР определяются исходным составом материала и технологическими условиями его получения и переработки в изделия. Изменения распределения остаточных деформаций в зависимости от  $K_{\phi}$  можно отнести к изменению технологических условий переработки материала в изделие, что должно привести к изменению поврежденности.

Проведенные исследования показали, что степень и характер поврежденности образцов зависят от распределения начальных деформаций. Для образцов с  $K_{\phi} = 1, K_n$  по всем поверхностям практически не

изменяется. При изменении  $K_{\phi}$  до 0,997 и 0,990 при переходе от верхней части образца к нижней значения  $K_n$  изменяются до 40%. Еще большее влияние геометрии изделия на характер распределения  $K_n$  наблюдается на нижней поверхности. Для стандартных образцов по всей нижней поверхности  $K_n = 2,0 \dots 2,4$ . У образцов с  $K_{\phi} = 0,997$  наблюдается изменение  $K_n$  в различных участках до 60% (возле торцов образца  $K_n = 2,4 \text{ см/см}^2$ , в центральной части  $K_n = 6,1 \text{ см/см}^2$ ).

Проведенные исследования показали, что развивающиеся деформации сжатия в нижней части изделий с  $K_{\phi} = 0,997 \dots 0,990$  приводят к повышению плотности в этой зоне до 10%, что подтверждается изменением глубины карбонизационного слоя в нижней части образцов. Структурные изменения в объеме материала в зависимости от формы изделий оказывают влияние на прочностные характеристики. Прочность на растяжение при изгибе образцов с  $K_{\phi} = 0,990 \dots 0,997$  в 1,6...1,9 раза превышает прочность стандартных образцов.

### **Выводы**

1. Распределение объемных изменений, вызванных физико-химическими превращениями твердеющих вяжущих, определяется формой образца, изделия или конструкции, формируя поле остаточных технологических деформаций. При этом происходит взаимовлияние различных по виду и природе явлений и процессов, обуславливающих создание интегральной структуры изделий.

2. Проведенный графо-аналитическим методом анализ показал, что при изменении формы нижней поверхности изгибаемых элементов размером  $a \times a \times h$  ( $n=4 \dots 8$ ) изменяется распределение технологических деформаций по всему сечению изделия. Изменение  $K_{\phi}$  от 1 до 0,990 приводит к снижению градиентов интегральных деформаций на нижней поверхности элементов до 21%.

3. Возникающие на уровне изделия градиенты интегральных деформаций изменяют условия организации структуры в локальных объемах материала, о чем свидетельствуют данные по изменению плотности и технологической поврежденности цементных композиций одного состава в зависимости от формы образцов.

4. Изменение распределения технологических деформаций за счет изменения формы изделий приводит к повышению их прочностных характеристик. Экспериментально установлено, что при изменении коэффициента формы от 1 до 0,990 в образцах размером  $a \times a \times 4a$  прочность при изгибе повышается в 1,6...1,9 раза.

## Summary

The article explores the influence of flexible elements shape on forming the distribution of integral technological deformations inside the elements. It is shown, that depending on the type of the distribution of initial deformations, the conditions of materials structure formation are changing, that influence on the type of the technological damages and mechanical properties of products.

## *Литература*

1. Анализ механизмов формирования локальных остаточных деформаций в бетоне / [Острая Т.В., Суханов В.Г., Герега А.Н., Выровой В.Н.] // Вісник ОДАБА, 2008. – Вип. №29. – Ч.2. – С. 390-397. 2. Распределение остаточных деформаций на уровне макроструктуры бетона / [Острая Т.В., Выровой В.Н., Резникова Л.И., Острая Е.А.] // Вісник ОДАБА, 2009. – Вип. №35. – С. 259-264. 3. Роуланс Р. Остаточные напряжения/ Роуланс Р.// Экспериментальная механика. – М.: Мир, 1990. – С. 283-335. 4. Поздеев А.А. Остаточные напряжения: теория и приложения / А.А. Поздеев, Ю.И. Няшин, П.В. Трусков. – М.: Наука, 1982. – 112 с. 5. Выровой В.Н. Бетон в условиях ударных воздействий / Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270с. 6. Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусков П.В. Остаточные напряжения: теория и приложения. – М.: Наука, 1982. -112 с. 7. Горчаков Г.И., Ориентлихер Л.П., Савин В.И. и др. Состав, структура и свойства цементных бетонов. – Стройиздат, 1976. – 144с. 8. Выровой В.Н. Моделирование конструкций как сложных систем/ Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. // Вісник ОДАБА, 2007. – Вип. № 28. – С. 64-70. 9. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций /Дорофеев В.С., Выровой В.Н. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 168с.