

УДК 666:539.4

ПОВРЕЖДЕННОСТЬ БЕТОНА В ИЗДЕЛИЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ФОРМЫ

ПОШКОДЖЕННЯ БЕТОНУ У ВИРОБАХ З РІЗНИМИ КОЕФІЦІЕНТАМИ ФОРМИ

DAMAGE OF CONCRETE IN PRODUCTS WITH DIFFERENT COEFFICIENTS OF THE FORM

Елькин А.В., аспирант (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса). **Выровой В.Н., д.т.н., проф.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса).

Сьлькін О.В., аспірант (Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса). **Вировой В.М., д.т.н., проф.** (Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса).

Ielkin O.V., postgraduate (Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa). **Virovoy V.N., doctor of technical sciences, professor** (Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa).

Проведен анализ влияния геометрической формы бетонных конструкций на характер распределения остаточных деформаций. Выявлено, что изменения коэффициента формы изделий оказывают влияние на изменение схемы разрушения железобетонных балок и их поврежденность силовыми трещинами.

Проведено аналіз впливу геометричної форми бетонних конструкцій на характер розподілу залишкових деформацій. Виявлено, що зміни коефіцієнта форми виробів впливають на зміну схеми руйнування залізобетонних балок та їх пошкодженість силовими тріщинами.

The analysis of influence geometry of concrete structures on the distribution of residual strains. It was revealed that changes in the coefficient form of products is influenced to change the scheme of destruction of reinforced concrete beams and damages of power cracks.

Ключові слова:

Деформация, поврежденность, бетон, трещина, разрушение.

Деформація, пошкодженість, бетон, тріщина, руйнування.

Deformation, damage, concrete, crack, destruction.

Введение, анализ последних исследований, постановка задачи. К интегральным остаточным (технологическим, начальным, наследственным) деформациям относят деформации, которые возникают и развиваются на уровне образца, изделия или конструкции. К основным причинам возникновения остаточных деформаций специалисты относят объемные деформации, сопровождающие физико-химические процессы гидратации минеральных вяжущих, включая явления «самовысыхания» (химическая усадка) и потерю части воды затвердения за счет ее испарения (физическая усадка).

Совокупность различных по виду деформаций можно отнести к собственным деформациям твердеющих композиционных строительных материалов на основе минеральных вяжущих. Собственные объемные деформации развиваются одновременно на всех уровнях структурных неоднородностей бетона. Часть деформаций реализуется при образовании структурных блоков на уровне микроструктуры. Формирование макроструктуры в значительной степени зависит, при сохранении других условий, от кинетики развития объемных деформаций матричного материала на границе раздела с поверхностью заполнителя. В работах [1, 2, 3,] показано, что совокупность объемных деформаций, проявляясь на внешних поверхностях образцов, изделий или конструкций, вызывают самопроизвольное возникновение градиентов деформаций по величине и направлению действия. Градиенты собственных деформаций в значительной степени зависят от геометрических характеристик и формирует поля остаточных деформаций в конкретных изделиях. Проведенные ранее исследования [4,5] показали, что изменение геометрических параметров образцов и мелкоштучных изделий ведёт к изменению свойств цементного камня и раствора по сечению образцов.

Можно предположить, что аналогичное влияние формы на формирование остаточных деформаций будет характерно и на уровне строительных конструкций. Это предопределило задачу исследований – проанализировать влияние геометрических характеристик изгибаемых строительных конструкций на характер формирования интегральных полей остаточных деформаций и количественно оценить изменение свойств бетона в сечениях конструкций с различными коэффициентами формы под действием механической нагрузки.

Методика исследований. В качестве базового изделия приняты изгибаемые элементы, характеристика и схема армирования которых приведены на рис.1.

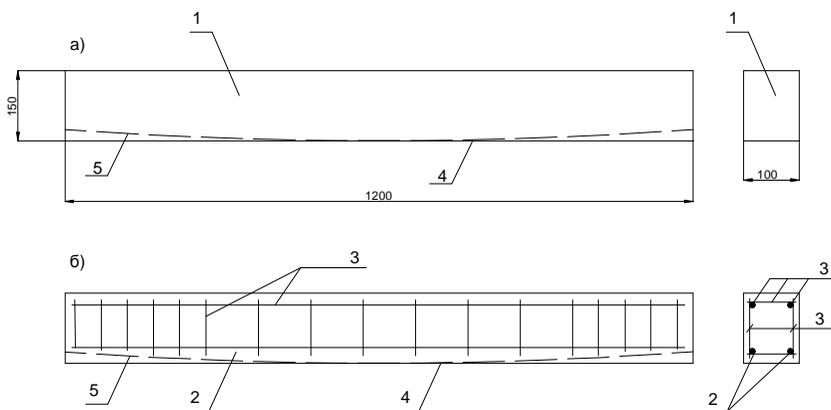


Рис. 1. Характеристики железобетонной балки с $K_{\phi l} = 1,0$ и $K_{\phi l} = 0,997$

а – геометрические характеристики изделия;

б – схема армирования;

1 – изделие; 2 – рабочая арматура; 3 – вспомогательная арматура; 4 – нижняя грань изделия с $K_{\phi l} = 1,0$; 5 – нижняя грань изделия с $K_{\phi l} = 0,997$

Для направленного наведения остаточных деформаций (создания предварительных сжимающих деформаций в сжатой или растянутой зоне изделий) изменялась форма одной из граней конструкции. Изменение формы грани для конкретного изделия имело свои ограничения – рабочая арматура при изменении формы грани должна находиться в теле бетона. Предварительный анализ показал, что коэффициент формы грани не должен превышать $K_{\phi} \leq 0,997$. Коэффициент формы определялся из выражения $K_{\phi} = L_{\phi} / L_{\phi 0}$, где L_{ϕ} – длина грани базового изделия; $L_{\phi 0}$ – длина грани измененной геометрии.

На рис. 1 так же приведены геометрические характеристики изгибаемого элемента с трансформированной гранью.

Изделия изготавливали из бетона класса В25, подвижностью П4. Плотность бетона составила 2300 кг/м^3 , водопоглощение – 5,9%. Твердение бетонных и железобетонных изделий проходило в нормальных условиях в течении 7 суток. После распалубки изделия хранились в естественных условиях ($t = 20 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ и относительная влажность $\phi = 80 \pm 15 \%$) в течении 360 суток.

Характер формирования остаточных деформаций проводили графо-аналитическим методом. Анализ формирования остаточных деформаций проводили без учёта влияния арматуры в предположении, что на начальных этапах твердения арматура не должна существенно влиять на деформирование бетона.

На рис.2 .показано начало формирования интегрального поля остаточных деформаций в центральном сечении базовой балки и балки с изменной гранью соответственно.

Изменение полей остаточных деформаций привело к изменению прочности бетона по сечению балки с $K_{\phi I} = 0,997$. Прочность бетона в области трансформируемой грани увеличилась до 32% [5].

Для определения деформаций железобетонных балок под нагрузкой была принята стандартная методика испытаний с подачей нагрузки ступенями по 0,1R с выдержкой 10 мин. на каждой ступени нагружения. По принятым методам контролировали деформации балок при помощи индикаторов часового типа.

Схемы испытаний железобетонных балок представлены на рис.3

Коэффициенты поврежденности определяли после разрушения железобетонных балок.

Испытания балок показали, что балка с $K_{\phi}=1,0$ разрушилась по нормальным сечениям с разрушением сжатой зоны бетона. Разрушение балки с $K_{\phi}=0,997$ произошло по наклонным трещинам. Характерно, что в зонах предполагаемого чистого изгиба для балок с $K_{\phi}=0,997$ после разрушения не зафиксировано появление и развитие силовых трещин.

Коэффициенты поврежденности определяли на трещинах, образованных после разрушения балок по зависимости $K_{п}=L_o/L_i$, где L_i - протяженность зафиксированной трещины, L_o - геодезическая линия, соединяющая концы трещины или точки ее выхода на грани балки. Поврежденность определяли на верхних, нижних и боковых гранях изгибаемого элемента. Значения коэффициентов поврежденности рассчитывались как среднеарифметическое значение по всем трещинам, зафиксированным по верхним, нижним и боковым граням балки. Усредненные значения коэффициентов поврежденности приведены в табл. 1

Таблица 1

Средние значения коэффициентов поврежденности после испытания балок с различными коэффициентами формы

Коэф. формы балок	Коэффициенты поврежденности, $K_{п}$, на гранях балки			
	Верхней	Нижней	Боковой I	Боковой II
$K_{\phi}=1,0$	0,86	0,90	0,97	0,92
$K_{\phi}=0,997$	0,93	0,86	0,91	0,91

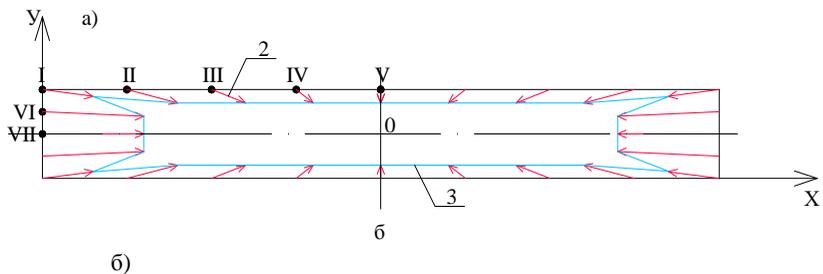


Рис. 2. Характер формирования интегральных полей интегральных остаточных деформаций в балках с различными коэффициентами формы
 а – Балка $K_{\phi 1} = 1,0$. Этап формирования технологических деформаций
 б – Балка $K_{\phi 1} = 0,997$. Этап формирования технологических деформаций.
 2 – результирующая перемещений выделенных точек; 3 – конфигурация полей остаточных деформаций; I...VII – выделенные точки на поверхности центрального сечения.

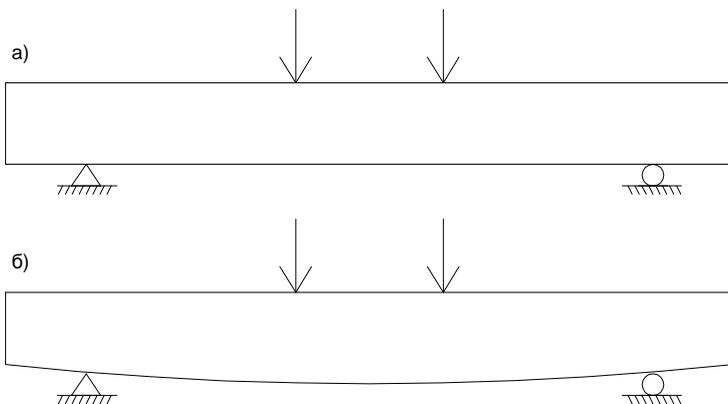


Рис. 3. Схема испытаний железобетонных балок
 а) балка с $K_{\phi 1} = 1$
 б) балка с $K_{\phi 1} = 0,997$

На рис.4 и рис.5 показаны характер разрушения балок $K_{\phi 1} = 1$ и $K_{\phi 1} = 0,997$, а так же вид трещин на боковых, верхней и нижней гранях балок



б)



г)



Рис. 4. Разрушение балки с $K_f=1$. а) верхняя грань, б) боковая грань д) нижняя грань.

а)



б)



в)



Рис. 5. Разрушение балки с $K_f=0,997$ с рабочей арматурой в искривленной грани: а) верхняя грань, б) боковая грань, в) нижняя грань.

Анализ коэффициентов поврежденности позволил заключить, что независимо от геометрических характеристик разрушенных балок и от места расположения трещин, трещины имеют достаточно сложную траекторию своего развития. Это свидетельствует о влиянии структурных особенностей бетона на условия развития трещин.

В зависимости от геометрических параметров балок наблюдается изменение значений коэффициента поврежденности. Так, например, при расположении искривленной поверхности в сжатой зоне поврежденность уменьшается до 12% по сравнению с поврежденностью бетона стандартной балки. Подобное изменение поврежденности характерно и при модифицированной поверхности в растянутой зоне.

Различие в геометрических характеристиках балок оказало влияние на поврежденность по боковым граням, которая оценивалась по изменению

коэффициента поврежденности по методике, которая позволяет оценить суммарную протяженность трещин на фиксированной площади поверхности, $K_{п1} = \sum L_i / S$, см/см².

Анализ изменения поврежденности по изменению $K_{п1}$ проводили для средних боковых поверхностей балок с различной геометрией. Для обычной балки $K_{п1} = 0,01 \dots 0,02$ см/см². Поврежденность центральной части боковых граней балок с $K_{ф} = 0,997$ составила $K_{п1} = 0,002 \dots 0,009$ см/см². Таким образом, поврежденность центральных участков балок с измененной формой одной из граней более чем на порядок снизилась по сравнению с балками с $K_{ф} = 1,0$.

Выводы. Проведенные исследования показали, что изменения геометрических характеристик балок оказывают влияние на изменение механических характеристик бетона по сечению изделия, изменяют схему разрушения железобетонных балок и их поврежденность силовыми трещинами.

Анализ позволил заключить, что в зависимости от геометрических параметров балок в зоне трансформируемой формы грани коэффициент поврежденности снизился до 12% по сравнению с коэффициентом поврежденности стандартной балки.

1. Роуланс Р. Остаточные напряжения /Роуланс Р.// Экспериментальная механика. – М: Мир, 1990. – С.283-285. 2. Поздеев А.А. Остаточные напряжения: теория и приложения/ А.А. Поздеев, Ю.И. Няшин, П.В.Трусов. – М.:Наука,1982. -112с. 3. Ушаков Б.Н. Напряжения в композитных конструкциях/ Ушаков Б.Н., Фролов И.П. – М.:Машиностроение,1979. – 134с. 4. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Моделирование конструкций как сложных систем // Весник ОГАСА, выпуск № 28, 2007. – С. 64 – 70. 5. Елькин А.В. Влияние формы изделий на изменение свойств материала / А.В. Елькин, В.Н. Выровой, В.Г. Суханов, - Вісник ОДАБА, випуск 46,- Одесса: Зовнішреклам сервіс, 2012. – с.208-214.