

## ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

Острая Т.В., Выровой В.Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры).

Выявлено объективное влияние геометрии мелкоштучных изделий и формы образцов на характер распределения технологических деформаций. Показано, что управление распределением деформаций за счет изменения конструктивной формы позволяет повышать свойства изделий.

**Введение.** Практически все параметры, выражающие уровень качества изделия, определяются напряженным состоянием материала после его изготовления и изменениями в процессе хранения и эксплуатации. Таким образом, напряженное состояние материала объективно отражает общий уровень качества изделия. Это состояние характеризуется собственными напряжениями, называемыми также внутренними, технологическими, начальными, первичными, или остаточными.

Существование остаточных напряжений в материале изделий и конструкций сейчас не вызывает ни у кого сомнений. Они практически всегда возникают в процессах литья,ковки, прокатки, сварки, термообработки и др., а также при жестком соединении разных материалов. Они есть в керамике, стекле и полимерах, в изделиях электронной промышленности, энергетического и транспортного машиностроения.

Технологические, или первичные, остаточные напряжения возникают в материалах и изделиях во время технологических процессов их получения. В отличие от вторичных, или реактивных, они появляются до начала эксплуатации. Однако технологические напряжения несут не меньшую, чем реактивные, ответственность за снижение эксплуатационных характеристик материалов и изделий [1, 2, 3, 4, 5]. Специалистами отмечается, что остаточные напряжения определяют усталостную и длительную прочность деталей и конструкций и при неблагоприятном для условий эксплуатации распределении могут снижать их в сотни раз.

В ряде случаев остаточные напряжения могут быть полезными. Действительно, если остаточные напряжения совпадают по

направлению с внешней нагрузкой, их величина должна быть вычтена из величины допустимого напряжения. Если же остаточные напряжения направлены противоположно внешней нагрузке, то величина допустимых напряжений не изменяется, а при снятии остаточных напряжений надежность конструкции будет повышаться. Однако в большинстве случаев остаточные напряжения играют отрицательную роль. В технике достаточно примеров разрушений, вызванных большими технологическими напряжениями.

Причиной снижения эксплуатационных характеристик материалов и изделий могут являться технологические трещины, появлению и развитию которых способствуют градиенты остаточных деформаций по величине и направлению [6, 7, 8].

Возникновению градиентов технологических деформаций в материалах и изделиях способствуют остаточные напряжения различного вида происхождения [9]: термические, механические, кристаллизационные, ориентационные, химические, усадочные, диффузионные, напряжения армирования.

Иногда в поверхностном слое деталей и элементов конструкций специально создают благоприятные сжимающие остаточные напряжения, например, дробеструйной обработкой [3, 10], закалкой стальных [11, 12], стеклянных [13] и пластмассовых деталей [9] и т.д. Специалисты отмечают, что сжимающие остаточные напряжения повышают усталостную прочность, тогда как растягивающие действуют неблагоприятно.

Таким образом, можно заключить, что свойства материалов и изделий определяются, в первую очередь, уровнем и характером распределения остаточных технологических деформаций, который, в свою очередь, зависит от технологической предыстории изделия. Поэтому, для повышения свойств строительных композитов, по нашему мнению, необходимо находить способы управления распределением технологических деформаций.

**Постановка цели и задач анализа.** Возникновение и развитие объемных деформаций характерно при получении строительных материалов и конструкций из них самой широкой номенклатуры (материалы на основе неорганических и органических вяжущих, керамические материалы и т.п.). В работах [6, 14, 15] отмечается, что независимо от причин, вызвавших объемные изменения твердеющих материалов, характер распределения объемных деформаций в изделиях определяется их геометрическими особенностями. Для изучения влияния геометрических характеристик на распределение объемных деформаций в изделиях (деталях, конструкциях, образцах)

рекомендуется использовать графо-аналитический метод [6] и метод фотоупругости [16].

При анализе графо-аналитическим методом материал рассматривается как изотропная и непрерывная среда, предполагая, что объемные деформационные процессы проявлялись на внешних границах изделия и на границах раздела с пустотами и что величина деформаций материала пропорциональна его объему.

Анализ литературных данных [6, 7, 14] свидетельствует, что даже в условиях равномерного развития собственных деформаций твердого материала геометрические особенности изделия могут вызвать неравномерное распределение деформаций по его объему. Поэтому были определены задачи исследований: проанализировать изменение характера распределения технологических деформаций в зависимости от геометрии изделий и выявить влияние этого изменения на свойства материалов.

**Анализ распределения технологических деформаций в зависимости от формы и геометрических особенностей изделий.** Эксплуатационные характеристики конструкций и изделий во многом определяются наследственными факторами – распределением в них деформаций. Характер распределения объемных деформаций в изделиях определяется их геометрией.

Характер распределения технологических (в нашем случае усадочных) деформаций в образцах анализировался с помощью графо-аналитического метода. Этот метод позволяет определить относительные величины перемещений при фактическом направлении для любой точки на внешних границах образцов. При этом предполагается, что градиенты деформаций не нарушают сплошность материала.

Распределение усадочных деформаций анализировалось в образцах размером  $a \times a \times 4a$  с различным коэффициентом формы нижней грани ( $K_{\Phi}$ ), определяемый отношением длины нижней грани контрольного образца с  $K_{\Phi} \approx 1$  к длине измененной грани образцов.

Эпюры деформаций для каждого образца построены в сечении, проходящем через его ось и перпендикулярном его боковой грани (рис.1).

Введение системы координат позволяет количественно оценить изменение распределения деформаций с выделением таких параметров как относительная величина деформаций  $\varepsilon$  и направление их действия через угол  $\varphi$ .

Полученные перемещения точек приведены к одному масштабу

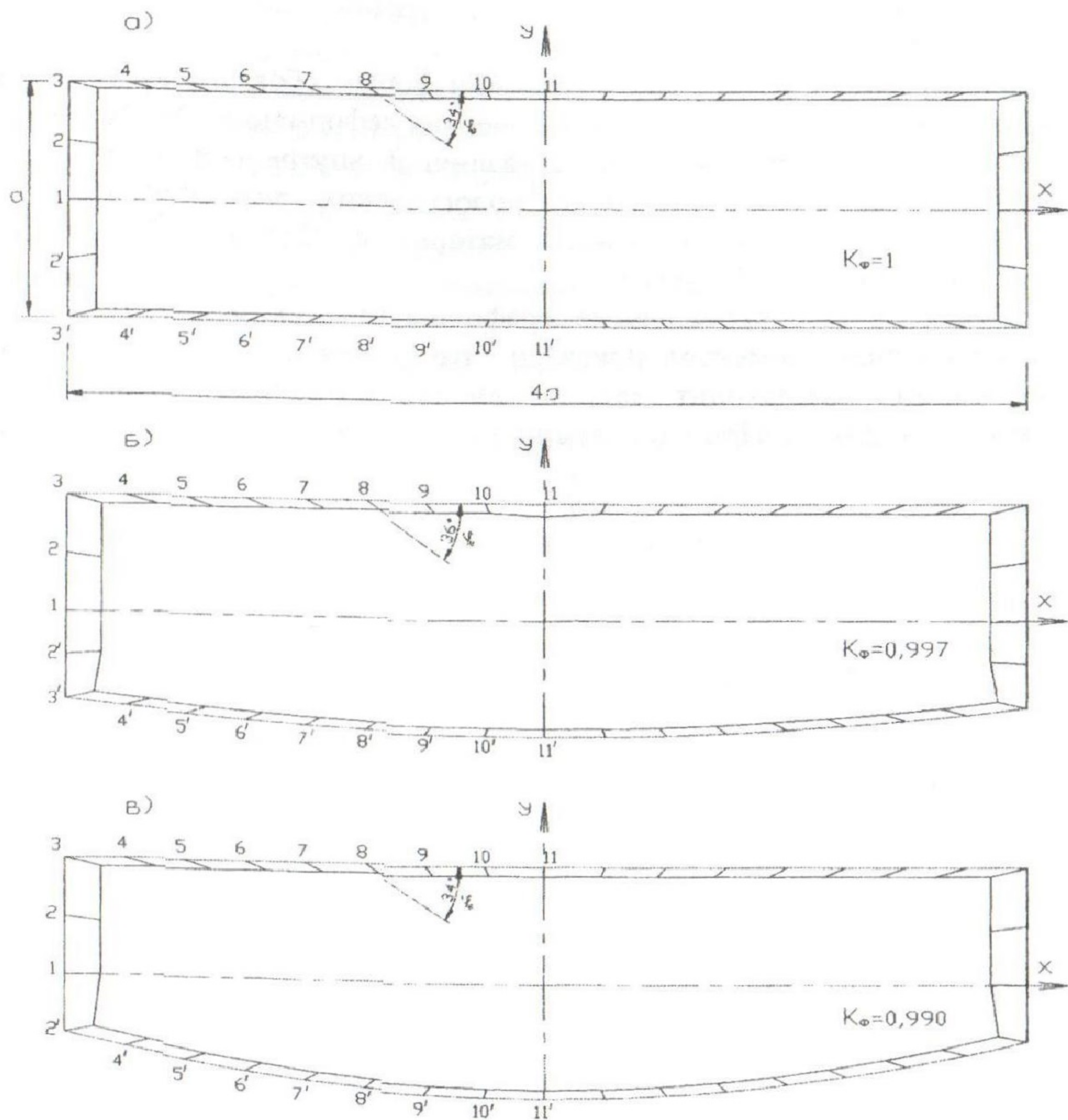


Рис.1. Эпюры технологических деформаций отдельных сечений в образцах различной формы.

(для удобства дальнейшего анализа уменьшены в 60 раз). Введение одного масштабного уровня позволяет сравнивать относительную величину перемещения различных точек.

Проведенный анализ показывает, что на внешней границе образцов проявляются деформации, разные по величине и направлению действия, что может привести к ее формоизменению. В нашем случае изменение формы образцов приводит к изменениям значений  $\varepsilon$  до 30%. При этом форма образцов определяет места

возникновения градиентов деформаций по значению и направлению.

Анализ показал, что при изменении формы образцов происходит изменение распределения технологических деформаций. Особенно это должно проявиться в изделиях с различной внутренней геометрией. Для анализа распределения технологических деформаций были выбраны пустотелые стеновые материалы (250x120x65 мм) с различной геометрией пустот.

Исследования, проведенные графо-аналитическим методом, для мелкоштучных элементов показали, что распределение остаточных деформаций происходит как по внешним границам, так и по отверстиям (рис.2). При этом градиенты деформаций по значению и

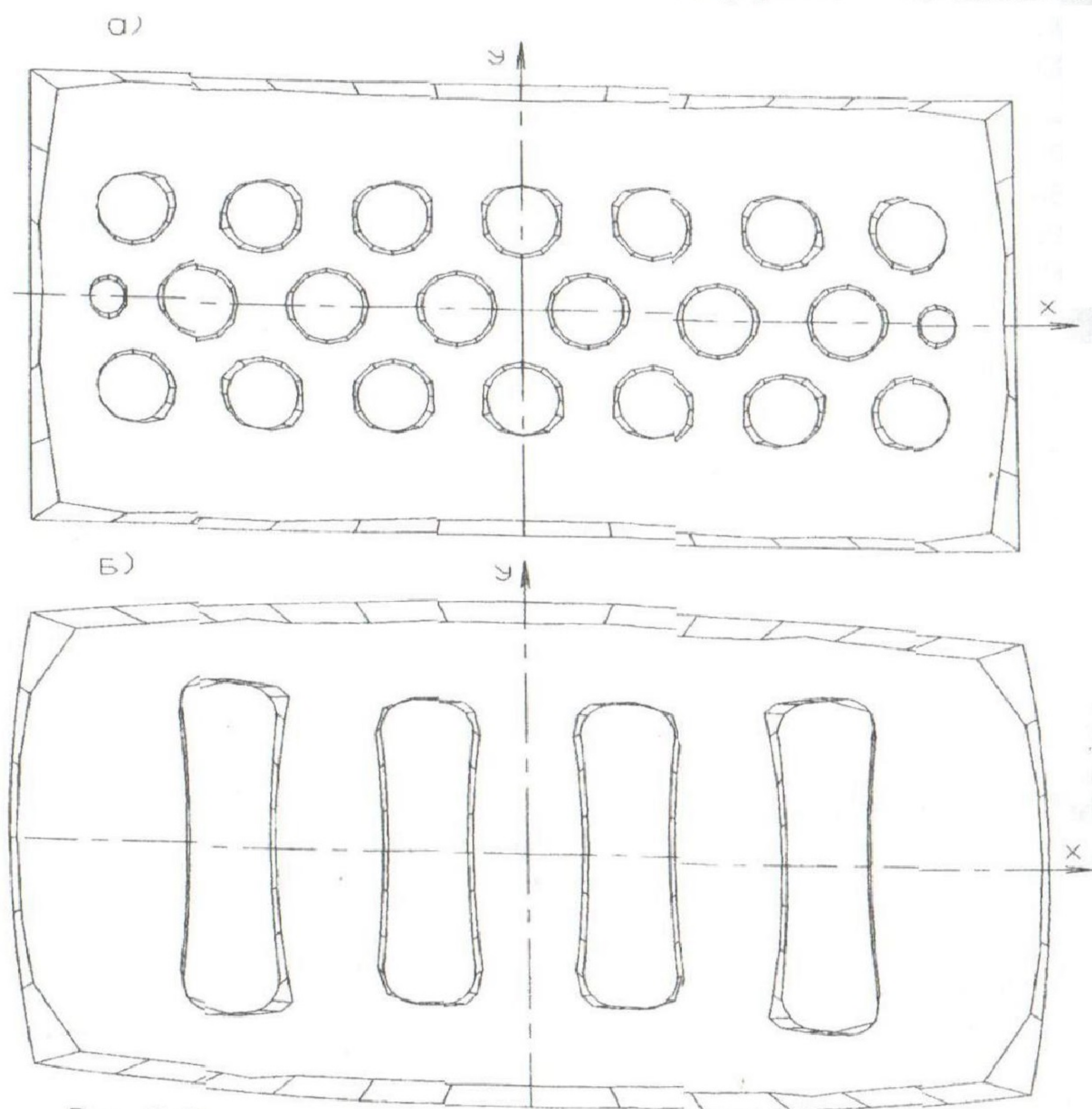


Рис. 2. Распределение деформаций в отдельных сечениях для мелкоштучных элементов (деформации точек уменьшены в 120 раз).

направлению определяются геометрическими особенностями изделий. Возникновение градиентов приводит к неравномерному распределению деформаций как по внешней границе образца, так и по внутренней поверхности раздела. Для того чтобы свести градиенты деформаций по значению и направлению к минимуму, мы предлагали изменить форму кирпича (рис.2, б).

Для подтверждения полученного графо-аналитическим методом характера распределения остаточных деформаций был использован метод фотоупругости на плоских моделях изделий (М 1:2), изготовленных из оптически чувствительного материала (смола ЭД-16).

Полученная в наших исследованиях интерференционная картина распределения технологических деформаций в моделях мелкоштучных элементов согласуется с распределением деформаций, полученным графо-аналитическим методом.

Дальнейшие исследования методом фотоупругости показали, что при действии на модели внешней нагрузки в первую очередь с внешним полем начинают взаимодействовать остаточные напряжения. Это может либо усилить, либо ослабить свойства материалов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что изменение геометрии изделий приводит к изменению характера распределения технологических деформаций, что должно, по нашему мнению, отражаться на свойствах образцов.

**Влияние характера распределения технологических деформаций на свойства материалов.** Как уже отмечалось, распределение технологических деформаций в значительной степени зависит от формы образцов. Поэтому представляло интерес, как изменение распределения остаточных деформаций отражается на свойствах изделий (образцов).

В опытах для исследования влияния характера распределения остаточных деформаций на свойства материалов применялись цементные стандартные балочки размером 4x4x16 см ( $B/C=0,33$ ) с различным коэффициентом формы нижней грани.

В нашем случае предложенный нами коэффициент формы  $K_{\phi}$ , определяемый отношением длины нижней грани контрольного образца к длине измененной грани образцов, составлял 0,990 и 0,997.

При организации структуры материала появляются внутренние технологические трещины, которые можно оценить через коэффициент поврежденности  $K_{\pi}$ , определенный как сумма протяженностей трещин, отнесенная к площади поверхности [6] :

$$K_n = \frac{\sum a_r}{S}, \text{ см/см}^2$$

Изменение формы образцов ведет к изменению характера распределения остаточных деформаций. Такое изменение приводит к тому, что изменяется поврежденность материала (рис.3, 1). У образцов

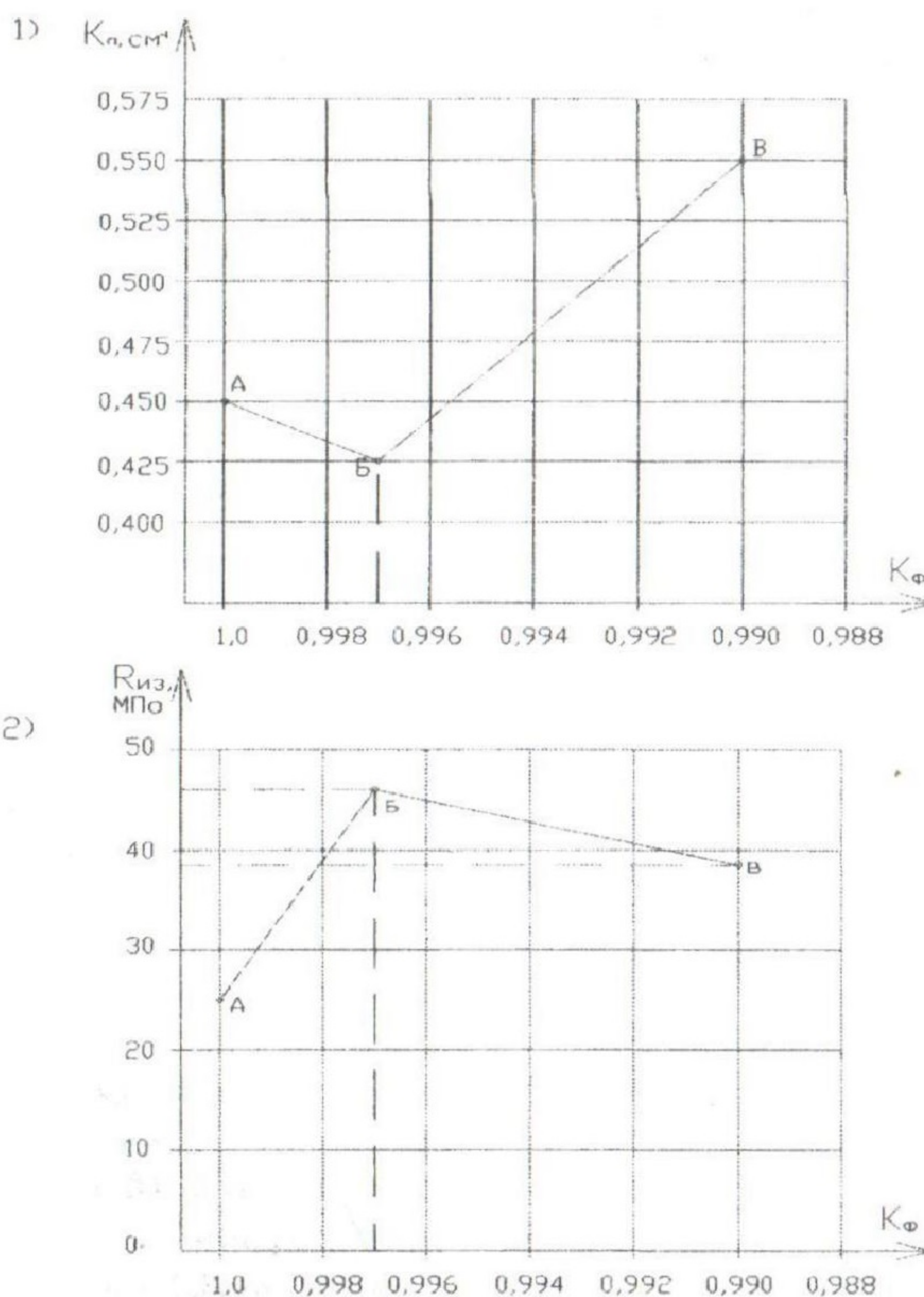


Рис.3. Зависимость поврежденности и прочности при изгибе образцов от коэффициента формы.

с коэффициентом формы 0,997 (Б) коэффициент поврежденности снижается на 6%. При дальнейшем изменении коэффициента формы поврежденность возрастает (В).

Изменение коэффициента поврежденности за счет изменения распределения остаточных деформаций ведет к изменению механических характеристик (рис.3, 2). Определение прочности на растяжение при изгибе показало, что с изменением  $K_{\phi}$  от 1 (А) до 0,997 (Б) приводит к повышению прочности образцов в 1,9 раза. При дальнейшем изменении коэффициента формы до 0,990 (В) прочность образцов начинает снижаться, однако в 1,6 раза превышает прочность контрольных образцов с  $K_{\phi}=1$ . Таким образом, появляется возможность использовать положительное влияние остаточных деформаций на свойства мелкоштучных изделий и конструкций за счет изменения их геометрических характеристик.

**Выводы.** Свойства материалов в значительной степени зависят от характера распределения технологических деформаций, который определяется геометрическими параметрами изделий. Направленное изменение распределения технологических деформаций за счет изменения формы образцов (изделий) позволит уменьшать градиенты деформаций и, тем самым, повышать физико-технические свойства строительных композитов. Это дает возможность через оптимальную форму изделий и конструкций улучшать их эксплуатационные характеристики.

#### Литература

1. Роуланс Р. Остаточные напряжения // Экспериментальная механика. - М.: Мир, 1990. - С. 283-335.
2. Ушаков Б.Н., Фролов И.П. Напряжения в композитных конструкциях. - М.: Машиностроение, 1979. – 134 с..
3. И.А. Биргер. Остаточные напряжения. - М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
4. Плюдеман Э. Роль силановых аппретов в образовании адгезионной связи на поверхности раздела. - С. 181-227 // Композиционные материалы, т. 5. – М.: Мир, 1978.
5. Константинов Л.С., Трухов А.П. Напряжения, деформации и трещины в отливках. - М.: Машиностроение, 1981. – 199 с.
6. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. - К: Будівельник, 1991. – 144с.: ил.
7. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. Одесса: Внешрекламсервис, 2004.–270 с.
8. Современные методы оптимизации композиционных материалов. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др. / Под ред. д-ра техн. наук Вознесенского В.А. К: Будівельник, 1983. – 144с.
9. Виноградов В.М. Остаточные напряжения в деталях из пластических масс/ Ж. Пластические массы, 1975, №4. – С.20-31.



10. Остаточные напряжения: Учеб. пособие / Ж.А. Мрочек, С.С. Макаревич, Л.М. Кожуро и др. – Мн.: УП Технопринт, 2003. – 352 с.
11. О. Хоргер. Влияние остаточных напряжений на усталостную прочность деталей машин и смежные явления. – С. 243-281 // Остаточные напряжения в металлах и металлических конструкциях. Сб. статей / Под ред. В.Р. Осгуда / Перев. с англ. В.О. Контовта, Н.А. Форсман. - М.: Изд. иностранной литературы, 1957.
12. Поздеев А.А., Ю.И. Няшин, П.В. Трусов. Остаточные напряжения: теория и приложения. - М.: Наука, 1982. – 112 с.
13. Ф.Ф. Витман, С.Н. Журков, Б.Я. Левин, В.П. Пух. К вопросу о повышении прочности стекла. – С. 340-347 // Некоторые проблемы прочности твердого тела. Сб. статей. М.- Л. Изд. АН СССР, 1959. – 386 с.
14. Ву Э. Механика композиционных материалов / Под ред. Дж. Сендецки. – М.: Мир, 1978. – С. 401-492.
15. Выровой В.Н., Ширяева Н.Ю., Макарова С.С. Оценка влияния технологической поврежденности при помощи коэффициента интенсивности напряжений // Тезисы докладов «Принятие рецептурно-технологических решений по экспериментально-статистическим моделям». – Одесса: Изд. ОИСИ. – 1994. – С. 5-6.
16. Труды конференции «Поляризационно-оптический метод исследования напряжений / Отв. ред. С.П. Шихобалов. – Л.: Изд. Ленинградского университета. – 1960. – 451 с.