

## ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИОННЫХ, РЕМОНТНЫХ И ЗАЩИТНЫХ РАБОТ

*Выровой В.Н., Лисенко В.А., Дорофеева О.В., Арроб А.(Марокко)*

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных показателей, определяющих эксплуатационную надежность строительных конструкций, защитных и герметизирующих материалов и т.п., является их трещиностойкость. Существующие методы оценки трещиностойкости гетерогенных строительных материалов, как правило, являются косвенными и количественно определяются по соотношениям механических показателей, деформативных характеристик, усадочным деформациям, временем появления трещин (кольца Лермита) и т.п. [1,2,3]. При этом понятие «трещина» не раскрывается, не приводятся ее параметры и не оценивается степень ее влияния на трещиностойкость.

Роль трещины, как своеобразных структурных элементов, в работе материалов и конструкций описывает механика разрушения [4,5,6]. Методически это сводится к определению коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ , через который оценивается трещиностойкость (вязкость разрушения) материалов [7].

В силу того, что зарождение и развитие трещин в гетерогенных

материалах происходит одновременно с комплексом физико-химических и физико-механических процессов и явлений становления материалов, то представляет интерес рассмотрения механизмов формирования поврежденности и остаточного деформативного состояния как в локальных областях материала, так и в материале, оформленном в образец или конструкцию с целью повышения трещиностойкости.

## АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

В работах [8,9,10] достаточно подробно описаны механизмы формирования структуры гетерогенных материалов на различных уровнях структурных неоднородностей. При этом обращается внимание, что объемные деформации, возникающие и сопутствующие процессам твердения вяжущих проявляются как на внешних, так и на внутренних поверхностях раздела. Для раскрытия представлений о внутренних поверхностях раздела необходимо, на наш взгляд, раскрыть представление о трещине. Под трещиной в данном случае понимается несплошность материала (среды). В нашем случае трещина выполняет следующие функции в материале (среде):

- концентрирует в своем устье под действием внутренних и внешних воздействиях напряжения, намного отличающиеся от средних в материале;
- воспринимает берегами, как своеобразными внутренними границами раздела, объемные деформации твердеющего и затвердевшего материала.

Подобная полифункциональность трещин позволяет экспериментально оценить трещиностойкость материалов, анализировать распределение внутренних деформаций и учитывать их влияние на изменение трещиностойкости. Согласно ГОСТ 29167-91 [7] при определении трещиностойкости рекомендуется инициировать трещину или методом заложения при формовании образца, или методом распила готового к испытанию образца. При этом длина инициированной трещины  $a$  может составлять  $a=(0,1... 0,6)v$ , где  $v$  высота образца и за счет поправочной функции не вызывать изменение значений коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  [11].

В силу того, что берега заложенной трещины способны воспринимать и перераспределять объемные изменения твердеющего материала, то была предложена гипотеза о влиянии внутренних поверхностей раздела на перераспределение объемных деформаций твердеющего материала и, как следствие, на изменение остаточного напряженного состояния образца, которое должно вызвать изменение свойств материала и его трещиностойкости.

Анализ распределения деформации при уменьшении объема твердеющего материала проводили графо-аналитическим методом [8].

Для подтверждения качественной картины распределения остаточных деформаций в образцах в зависимости от длины трещины был принят метод фотоупругости [12]. В качестве фотоупругого материала использовали эпоксидную смолу типа ЭД-20. При длине трещины  $l=3/2a$ , образцы самопроизвольно разрушались, что свидетельствует о влиянии длины трещины на перераспределение усадочных деформаций в твердеющих образцах.

Берега трещины, инициированной методом заложения при формировании образца, являясь внутренними поверхностями раздела, вызывают качественное изменение остаточного поля деформаций, что приводит к изменению поведения образцов под нагрузкой, рис 1.

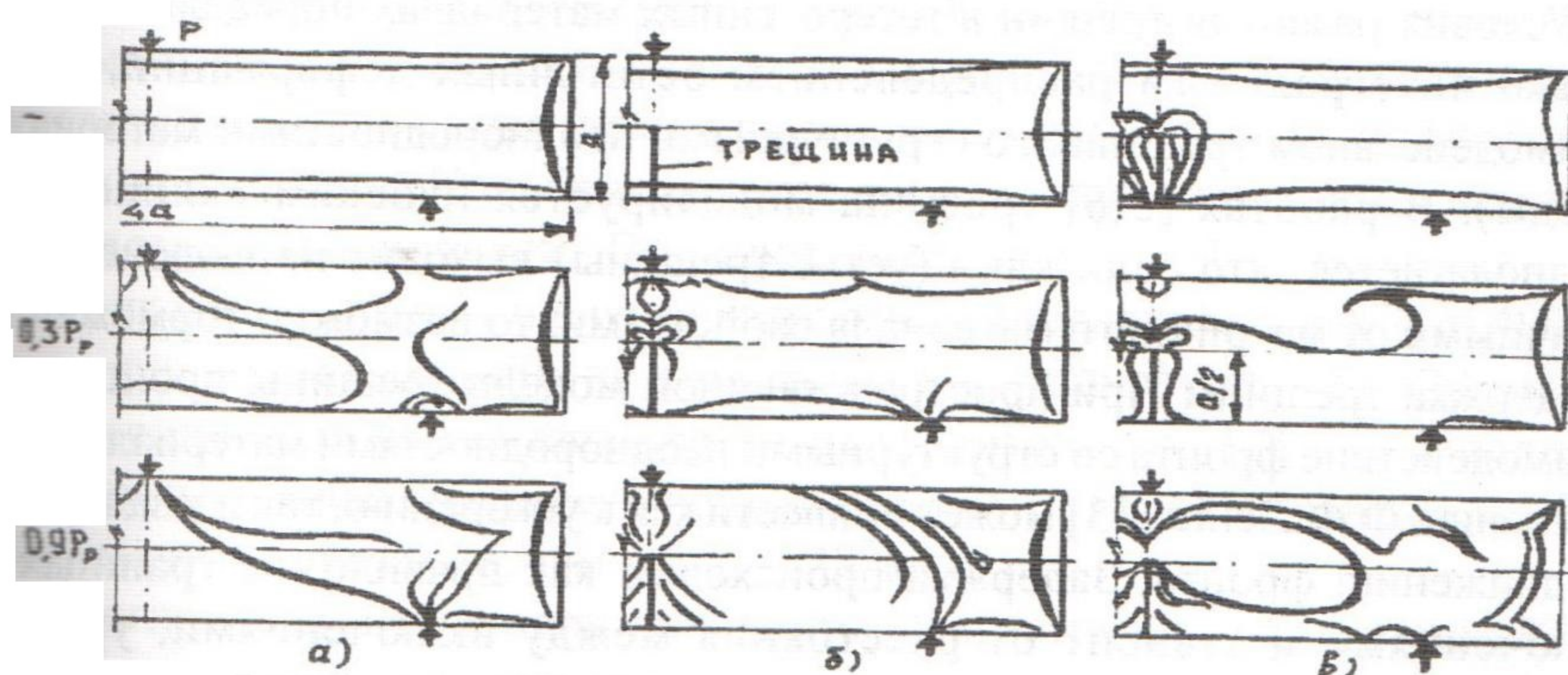


Рис. 1. Характер распределения деформаций в образцах без начальной трещины (а), с трещиной, полученной методом распила затвердевшего образца (б), и с трещиной, инициированной при формировании образца (в).

Проведенный анализ позволяет заключить, что в зависимости от способов инициирования трещин изменяется остаточное деформативно-напряженное состояние образцов, что вызывает качественно -отличное распределение напряжений под нагрузкой, что должно вызвать изменение количественных значений  $K_{Ic}$ . Для подтверждения этого были испытаны образцы из гипса (Г 10, В/Г = 0,6), цементного камня (портландцемент М 400, В/Ц = 0,28) и эпоксидной смолы типа ЭД-16 с отвердителем типа ПЭПА с различными способами инициирования трещин. Если принять, что  $K_{Ic}^{-1}$  для образцов с трещиной, полученной методом распила, то для гипса  $K_{Ic}^{\phi} = 0,82$ , для цементного камня  $K_{Ic}^{\phi} = 0,78$  и для эпоксидной смолы –  $K_{Ic}^{\phi} = 0,6$  при коэффициенте вариации = 0,95. Опыты показали, что в зависимости от способа инициирования трещин изменяется трещиностойкость материалов. Заложение трещины при формировании образцов вызывает снижение  $K_{Ic}$  от

18 до 40%.

В свою очередь, если качественная картина распределения остаточных деформаций в образцах зависит от их геометрических параметров (длины инициированной трещины), то количественные значения градиентов деформаций должны определяться исходным составом, способами переработки и режимами твердения, т.е. комплексом технологических факторов. Это позволило, для оценки влияния технологических факторов на трещиностойкость материалов, ввести коэффициент технологического влияния  $K_t$ , который равен отношению  $K^{Ф1с}$  (трещина, инициированная методом заложения при формовании образца) к  $K^{Р1с}$  (трещина, полученная методом распила готового образца),  $K_t = K^{Ф1с} / K^{Р1с}$ .

Условия развития трещин в гетерогенных материалах определяются не только интегральным распределением остаточных деформаций, но и взаимодействием трещины со структурными неоднородностями материала (среды). В работах [5,6] трещина моделируется плоским «клином» и предполагается, что если клин (устье трещины) выходит на включение с отличными от матричного материала свойствами, то возможно торможение и задержка трещины. При пространственной модели трещины происходит взаимодействие фронта со структурными неоднородностями материала, что, по мнению Ф.Ф.Ленга [13] может привести как к ускорению, так и к задержке продвижению фронта. Задержка происходит, как правило, на границах с включениями и зависит от расстояния между включениями, уровня адгезионных связей на границе раздела матрица-включение, размера и деформативных характеристик включений.

Таким образом, вне зависимости от базовой модели трещины, условия ее развития зависят от степени гетерогенности материала (начального состава и режимов твердения), т.е. определяются технологическими условиями получения и переработки композиций. Поэтому, при решении задач управления трещиностойкостью гетерогенных материалов, необходимо учитывать как интегральное формирование технологических напряжений в образцах, так и локальные процессы взаимодействия трещины со структурными неоднородностями гетерогенных материалов.

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ**

Анализ априорной научно-технической информации показал, что условия развития трещин в полимерсодержащих композициях определяются количеством наполнителя и его деформативными характеристиками, а также размером его частичек. Поэтому, при выборе независимых переменных, при проведении экспериментов в системе COMPEX, разработанной на кафедре

ПАТСМ ОГАСА под руководством профессора В.А.Вознесенского [14], в качестве наполнителя были приняты молотые кварцевые и керамзитовые пески (Х2). Размер частичек косвенно оценивался через изменение удельной поверхности  $S_y = 300 \pm 200$  м<sup>2</sup>/кг.

Опыты проводились по плану смесь - технология - свойства. В качестве вяжущего использовали эпоксидную смолу ЭД-20 с отвердителем ПЭПА. Количество наполнителей определялось из соотношения наполнитель : полимер (Н:П) (Х1= $2 \pm 1$ :1). При этом контролировали прочностные характеристики  $R_{сж}$ ,  $R_{пр}$ , начальный модуль упругости  $E$ , плотность  $\gamma$ , трещиностойкость в зависимости от способов инициирования трещин  $K_{\phi 1с}$  и  $K_{p1с}$ , а также коэффициент технологического влияния  $K_t$ .

Опыты подтвердили, что в зависимости от способа образования трещин вязкость разрушения может изменяться до 40%. Выбор оптимальных наполнителей зависит от условий инициирования трещин. Для образцов, у которых начальный надрез образован методом распила,  $K_{p1с}$  увеличивается с увеличением количества наполнителей. Вид наполнителя практически не влияет на изменение  $K_{p1с}$ . Оптимальная дисперсность зависит от природы и количества наполнителей. При соотношении Н:П = 1:1 максимальные значения  $K_{p1с}$  достигает в случае кварцевых наполнителей при  $S_y = 400$  м<sup>2</sup>/кг, а при использовании керамзитового наполнителя -  $S_y = 200$  м<sup>2</sup>/кг. Увеличение количества кварцевого наполнителя до Н:П = 3:1 ведет к заметному влиянию  $S_y$  на трещиностойкость ( $K_{p1с}$  с наполнителями с  $S_y = 300$  и 400 м<sup>2</sup>/кг на 30% выше, чем при  $S_y = 200$  м<sup>2</sup>/кг).

Если природа и количество наполнителей практически не влияют на  $K_{\phi 1с}$ , то изменение дисперсности приводит к изменению трещиностойкости более чем на 60%. Это вызывает изменение коэффициента технологического влияния  $K_t$  на трещиностойкость полимерсодержащих композиций.

В зависимости от качественного и количественного составов наполнителей  $K_t$  может изменяться более, чем в два раза, что позволяет в достаточно широких пределах изменять трещиностойкость материалов при сохранении других регламентируемых свойств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что количественные значения  $K_{\phi 1с}$  зависят от остаточных технологических деформаций и напряжений, которые, в свою очередь, определяются способами заложения начальных трещин. Поэтому, для сопоставления результатов количественной оценки трещиностойкости (вязкости разрушения) материалов необходимо, по нашему мнению, принять или в каждом конкретном случае указывать способ инициирования трещин.

Управлять трещиностойкостью полимерсодержащих композиций можно

при помощи минеральных наполнителей. При этом необходимо учитывать не только природу и количество наполнителей, но и их дисперсность. Изменение дисперсности ведет к изменению характера взаимодействия фронта трещины с наполнителями, что может ускорять или тормозить продвижение трещины и, тем самым, изменять трещиностойкость материалов.

#### Литература

1. Состав, структура и свойства цементных бетонов. Под ред. Г.И.Горчакова - М.:Стройиздат, 1976.- 144с.
2. Горчаков Г.И., Орендлихер Л.П., Лифанов И.И, Мурадов Э.Г. Повышение трещиностойкости и водостойкости легких бетонов - М.: Стройиздат, 1971.- 158 с.
3. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона.-М.: Стройиздат,1981.-464с.
4. Зайцев Ю.В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения.- М.: Стройиздат, 1982.- 196 с.
5. Брок Д. Основы механики разрушения - М.: Высшая школа, 1980.- 368 с.
6. Кристенсер Р. Введение в механику композитов.- М.: Мир, 1982.- 334 с.
7. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.- М.: Изд-во стандартов, 1992.- 19с.
- 8.Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости /Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В.- К.: Будівельник, 1991.- 144 с.
9. Дорофеев В.С., Выровой В. Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций - Одесса: Город мастеров, 1998 - 165 с.
10. Лисенко В. А. Защитно-конструкционные полимеррастворы в строительстве. - Киев: Будівельник, 1985.- 133 с.
11. Партон В.З. Механика разрушения. От теории к практике. - М.: Наука, 1990.- 324 с.
- 12.Экспериментальная механика: В 2-х книгах: Книга 1. /Под ред.А. Кобаяси. - М.:Мир, 1990.-616 с.
- 13.Ленг Ф.Ф. Разрушение композитов с дисперсными частицами в хрупкой матрице /В кн. Композиционные материалы, т.5. Разрушение и усталость.- М.: Мир, 1978.- С.11-57.
- 14.Методические указания по моделированию систем «смеси, технология - свойства» / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Абакумов В.В., Абдыкалыков А.- Одесса:ОИСИ Минвуза УССР, 1985 - 64 с.