



РОЛЬ ТРІЩИН В СТРУКТУРНОМУ РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ

В. Г. Суханов, В. М. Вировий, В. С. Дорофеєв

*Одеська державна академія будівництва і архітектури,
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, Україна, 65029.*

E-mail: d@ukr.net

Отримана 6 червня 2011; прийнята 24 червня 2011.

Анотація. У роботі розглянуті питання самоорганізації матеріалу при дії на будівельні конструкції як складні відкриті системи експлуатаційних навантажень. Показано, що рушійними процесами спонтанної перебудови складноорганізованих матеріалів є процеси, зумовлені нерівноважним станом активних елементів структури, до яких віднесені технологічні тріщини і внутрішні поверхні розділу. Проаналізовано можливі механізми структурної перебудови за рахунок зміни параметрів активних елементів і запропоновано способи спрямованої організації початкової структури матеріалу, що забезпечує безпечне функціонування конструкції.

Ключові слова: складна система, активні елементи структури, технологічні тріщини і внутрішні поверхні розділу, структурні блоки, самоорганізація.

РОЛЬ ТРЕЩИН В СТРУКТУРНОМ РАЗВИТИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

В. Г. Суханов, В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, Украина, 65029.*

E-mail: d@ukr.net

Получена 6 июня 2011; принята 24 июня 2011.

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы самоорганизации материала при действии на строительные конструкции как сложные открытые системы эксплуатационных нагрузок. Показано, что движущими процессами спонтанной перестройки сложноорганизованных материалов являются процессы, обусловленные неравновесным состоянием активных элементов структуры, к которым отнесены технологические трещины и внутренние поверхности раздела. Проанализированы возможные механизмы структурной перестройки за счет изменения параметров активных элементов и предложены способы направленной организации начальной структуры материала, обеспечивающей безопасное функционирование конструкции.

Ключевые слова: сложная система, активные элементы структуры, технологические трещины и внутренние поверхности раздела, структурные блоки, самоорганизация.

CRACK'S ROLE IN STRUCTURAL DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTIONAL COMPOSITE MATERIALS

Sukhanov Vladimir, Virovoy Valeriy, Dorofeev Vitaliy

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,

4, Didrikhsona Str., Odessa, Ukraine, 65029.

E-mail: d@ukr.net

Received 6 June 2011; accepted 24 June 2011.

Abstract. In the article the questions of material self-organization with the influence of the operational load on the building construction as complex open systems have been examined. It is demonstrated that the processes of a spontaneous rearrangement of the complex organized materials have been caused by non-equilibrium state of the active structure elements to which the technological cracks and inner surfaces of the partition have been applied. The possible mechanisms of the structural rearrangement by changing the data of the active elements have been analyzed and the ways of a purposeful organization of the primary material structure, which provide a safe functioning of the construction, have been proposed.

Keywords: complex system, active elements of structure, technological cracks and inner surfaces of the partition, structural units, self-organization.

Введение

Разрушение материала, по определению, – макроскопическое нарушение сплошности материала в результате тех или иных воздействий на него [1]. При этом предполагается, что в результате разрушения происходит разделение материала на две или более частей, которые отделяются друг от друга противоположными берегами трещин. Условия роста трещин в материалах различной природы при действии на них внутренних и внешних факторов изучает механика разрушения [2, 3, 4]. Механика разрушения исходит из постулата о наличии в материалах неких начальных дефектов, которые способны, в определенных условиях, развиваться до микротрещин с последующим укрупнением до магистральных (разрушающих) трещин. Таким образом, ключевым фактором, определяющим разрушение материалов, является трещина. В свою очередь, трещина трактуется как несплошность материалов, у которых одна сторона (длина) намного больше другой (ширины). Отличительной особенностью трещин, по мнению специалистов, является их способность концентрировать деформации и напряжения в зонах смыкания берегов, которые значительно

но превышают средние значения в объеме материала. За трещиной изначально закрепились роль нежелательного элемента, существование которого должно привести к разрушению.

В то же время установлено, что в результате комплекса физико-химических и физико-механических явлений и процессов, которые протекают в период становления сложноорганизованных материалов, на каждом иерархическом уровне самозарождаются внутренние поверхности раздела, которые способны трансформироваться в технологические (начальные, остаточные, наследственные) трещины [5, 6]. В работах [7, 8] отмечается, что образование технологических трещин является финальным актом процессов организации структуры, протекающим по принципиально несхожим сценариям (проявляются своеобразные явления эквививальности, при которых различные пути из разных начальных состояний приводят к одинаковому финишному результату, в нашем случае – к появлению трещин). Это позволяет заключить, что трещины являются объективно существующими элементами структуры каждого уровня структурной неоднородности, причиной возникнове-

ния которых служат спонтанные процессы структурообразования, характерные для каждого уровня материалов, организованных по принципу «структура в структуре», и присутствуют в них до приложения эксплуатационных нагрузок. Специфическая способность трещин направленно перераспределять деформации и напряжения и, через изменения собственных параметров, определять структурные изменения каждого уровня материала, превращает их в активные элементы структуры. Их активность обосновывается способностью адекватно реагировать на действия внутренних и внешних факторов, вызывая структурную перестройку материала как сложной динамической системы. Перманентное участие трещин в изменении структуры материалов, жизненный цикл которых исчисляется столетиями и тысячелетиями для искусственных материалов и многими миллионами лет для естественных материалов, ставит задачи рассматривать трещины не как «отрицательных героев», но и в качестве необходимых элементов, которые, путем собственной трансформации, способны поддерживать рабочее (функциональное) состояние материала в конструкциях.

Анализ структуры конструкции как сложной системы

В качестве объекта анализа и исследования принята строительная конструкция, которая рассматривается в виде сложной открытой динамической системой. Обоснованием представления конструкции в виде системы основывается на следующем: она представляет собой определенную целостность, которая направлена на выполнения цели ее функционирования; состоит из отдельных взаимосвязанных подсистем; свойства конструкции не сводятся к свойствам ее составляющих [9]. Несводимость свойств конструкции к свойствам ее составляющих определяется не только и не столько свойствами последних, но и характером взаимодействия между ними. Функциональные свойства конструкции формируются в технологический период получения материала и его переработки в изделие, и в этот период в структуру конструкции должны быть

заложены такие элементы структуры и их параметры, которые способны обеспечить требуемые свойства в течение нормируемого срока эксплуатации. В силу того, что конструкция является открытой системой, то привнесенные элементы структуры должны обеспечить реализацию проявления таких механизмов структурной перестройки (самоорганизации), которые обеспечивали бы внутреннюю и внешнюю безопасность системы и, тем самым, ее целевое функционирование. Это предполагает разработку модели конструкции в виде сложной, открытой динамической системы.

При разработке модели конструкции исходили из определения приоритета элементов структуры, которые определяют свойства в течение каждого конкретного жизненного цикла.

На этапе становления (технологический период) каждый исходный компонент вносит свой самобытный вклад в организацию структуры каждого уровня структурной неоднородности (подсистемы) и системы в целом. Именно в этот период формируются структурные уровни (подсистемы) и зарождается определенный набор структурных элементов как внутри каждого уровня, так и во всей системе. Примем, что период становления системы завершается при действии на нее эксплуатационных нагрузок. Таким образом, целевое функционирование система начинает с определенным набором качественно несхожих структурных элементов, которые можно, по степени их реакции на внутренние и внешние воздействия, разделить на консервативные, метастабильные и активные [8]. Особенную роль в процессах последующей структурной перестройки отведена активным элементам структуры, к которым отнесены технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ТВПР). Их активность обосновывается следующим: наличие ТТ создает в отдельных подсистемах и в системе неравномерное распределение деформаций и напряжений, что провоцирует их неравновесное состояние; возникающие в период эксплуатации объемные деформации воспринимаются берегами ТТ и ТВПР, что ведет к их частичной диссипации и перераспределению между отдельными структурными уровнями; изменение параметров

самих активных элементов структуры вызывает структурные изменения отдельных подсистем и всей системы. Можно предположить, что присутствие активных элементов превращает сформировавшуюся систему в «частично склерономную» – систему с избирательно потерянной «памятью» о влиянии исходных составляющих и особенностей получения на ее эксплуатационные (текущие) свойства. Это позволяет предложить модель конструкции как открытой сложной системы в виде определенного набора активных элементов, которые являются составной частью структуры, как отдельных подсистем, так и всей системы (рис. 1).

Роль активных элементов в структурном развитии материала конструкций

Присутствие активных элементов обеспечивает определенную динамику структурных изменений при действии на «зрелую» систему эксплуатационных нагрузок. Под эксплуатационными воздействиями понимается весь комплекс постоянно действующих нормативных силовых нагрузок и нагрузок, связанных с изменением состояния среды эксплуатации. Конкретный вид нагрузок не выделяется в пред-

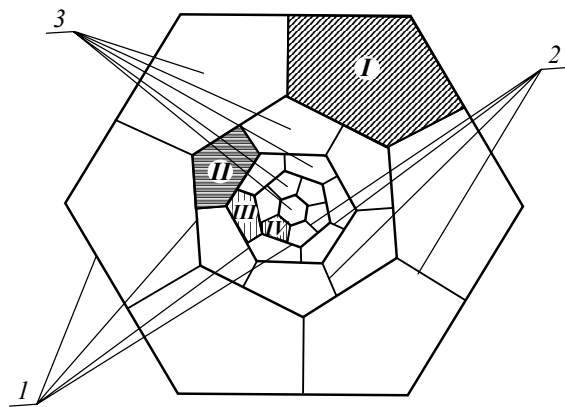


Рисунок 1. Модель структуры конструкции как открытой динамической системы: 1 – технологические трещины в различных подсистемах и в системе в целом; 2 – внутренние поверхности раздела на уровне подсистем и системы; 3 – структурные блоки в отдельных подсистемах и в самой системе; I – система; II – подсистема, представленная бетоном; III – подсистема, представленная цементным камнем; IV – подсистема, представленная продуктами новообразования.

положении, что система реагирует на любые внешние воздействия.

Структура каждой подсистемы включает в себя индивидуальный набор ТТ и ТВПР, что создает неповторяющийся «структурный портрет» конструкции как системы перед началом ее функционирования. Наличие ТТ предполагает, что в отдельных подсистемах и в самой системе существуют локализованные участки, в которых концентрируются деформации и напряжения. Практически любые внешние воздействия могут вывести ТТ из равновесного состояния, что приведет к очередному этапу перераспределения локальных деформаций и напряжений (смене структурного портрета). Изменение параметров ТТ и ТВПР переводит их в ранг эксплуатационных трещин (ЭТ) и внутренних поверхностей раздела ЭВПР).

По мере изменения параметров ЭТ в материале возникает деформационная «волна», которая, накладываясь на зону концентрации напряжений у устья «законсервированных» трещин, способна вывести их из равновесного состояния. В силу того, что деформации, связанные с внутренними и внешними факторами, воспринимают и перераспределяют ЭВПР каждого уровня структурной неоднородности, то причинами развития ЭТ внутри каждого уровня, могут быть напряжения растяжения (K_{1c}), напряжения сдвига в продольном (K_{11c}) и поперечном (K_{111c}) направлениях. Релаксация локального деформационно-напряженного состояния происходит в случае выхода ЭТ на берега ЭВПР. В этом случае трещина теряет свой основной отличительный признак – устье. Энергия, которая вывела устье трещины на границу раздела, расходуется на изменение ширины раскрытия трещины и нарушение целостности берега ВПР. Возможные схемы трансформации ЭТ в ЭВПР представлены на рис. 2.

На конкретном уровне структурной неоднородности произошли качественные изменения, связанные с превращением ЭТ в новую для данного уровня поверхность раздела. Возникновение (самозарождение) новых поверхностей раздела ведет к появлению в системе новых элементов – структурных блоков. Структурные блоки способны образовываться на всех уровнях структурных неоднородностей (подсистемах) и включать в себя харак-

терный для каждого блока набор консервативных, метастабильных и активных элементов. Это увеличивает степень структурного разнообразия как каждого структурного уровня, так и системы в целом. Перманентное изменение параметров активных элементов и образование блочной структуры можно трактовать как непрерывающийся процесс адаптации системы в условиях непрекращающихся внешних и внутренних воздействий на нее. Происходит непрерывная смена структурных «портретов» системы, при которой должен обеспечиваться требуемый показатель ее гомеостазиса. Однако это не означает, что безопасность системы связана только лишь с самопроизвольным изменением параметров активных элементов структуры. Роль активных элементов заключается в адекватном реагировании на внутренние и внешние воздействия и способности создать такую структурную переорганизацию в отдельных подсистемах и в системе, которая позволяет включить в созидательные процессы метастабильные и консервативные структурные составляющие. Подобная задача может быть решена при условии обеспечения определенного временного периода, в течение которого могли бы восстановиться материальные ресурсы (например, протекание известных явлений «самозалечивания» трещин).

Проведенный анализ позволяет выделить активные элементы в качестве базовых в

структурных изменениях материала строительных конструкций. Это послужило основой при принятии модели структуры конструкции в виде определенного набора активных элементов, которые присутствуют как в отдельных подсистемах, так и во всей системе.

Заключение

Модель структуры конструкции как сложной открытой динамической системы в виде набора активных элементов структуры предназначена для анализа и оценки спонтанных структурных изменений при воздействии на нее внутренних и внешних факторов. Активные элементы, которые присутствуют на всех иерархических уровнях, адекватно реагируют практически на все виды воздействий и, через изменение собственных параметров, способны диссипатировать энергию воздействия. Это позволяет создавать запас времени для включения в созидательную работу метастабильных и консервативных элементов структуры, что вызывает очередную переорганизацию отдельных подсистем и всей системы. Предложенная модель позволяет, с учетом явлений самоорганизации, проанализировать механизмы структурной перестройки и определить управляющие факторы, обеспечивающие внутреннюю безопасность конструкции как системы в разнообразных эксплуатационных условиях.

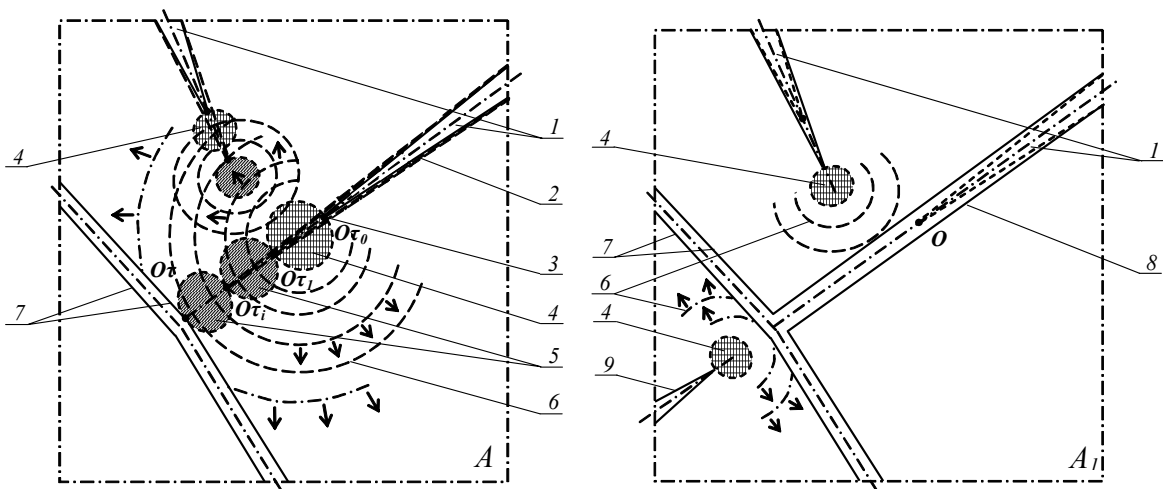


Рисунок 2. Схема трансформации трещины в ВПР: **а** – рост ТТ; **б** – модель структуры после превращения ТТ в ВПР; 1 – ТТ; 2 – берега ТТ; 3 – устье ТТ; 4 – зона концентрации деформаций и напряжений; 5 – продвижение зоны концентрации деформаций и напряжений; 6 – деформационные волны в материале; 7 – берега ВПР; 8 – берега новой ВПР; 9 – подрастающая ТТ.

Литература

1. Политехнический словарь / Гл. ред. А. Ю. Ишлинский. – М. : Советская Энциклопедия, 1989. – 656 с.
2. Брок, Д. Основы механики разрушения / Д. Брок. – М. : Высшая школа, 1980. – 368 с.
3. Нотт, Дж. Ф. Основы механики разрушения / Дж. Ф. Нотт. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
4. Зайцев, Ю. В. Прочность и долговечность конструкционных материалов с трещиной / Ю. В. Зайцев, С. Н. Леонович. – Минск : БНТУ, 2010. – 362 с.
5. Современные методы оптимизации композиционных материалов / В. А. Вознесенский, В. Н. Выровой, В. Я. Керш [и др.]. – Киев : Будівельник, 1983. – 144 с.
6. Соломатов, В. И. Кластерообразование композиционных строительных материалов / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой // Технологическая механика бетона : сб. научных трудов. – Рига: РПИ, 1985. – С. 5–21.
7. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев, А. В. Сиренко. – Киев : Будівельник, 1991. – 144 с.
8. Выровой, В. Н. Композиционные строительные материалы и конструкции: структура, самоорганизация, свойства / В. Н. Выровой, В. С. Дорофеев, В. Г. Суханов. – Одесса : ТЕС, 2010. – 169 с.
9. Прагнашвили, И. В. Системный подход и общественные закономерности / И. В. Прагнашвили. – М. : СИНТЕГ, 2000. – 528 с.

References

1. Polytechnic dictionary. Main ed. A. Ju. Ishlinskij. Moscow: Sovetskaia Entsiklopediia, 1989. 656 p. (in Russian)
2. Broek, D. Destruction mechanics basics. Moscow: Vysshaia shkola, 1980. 368 p. (in Russian)
3. Nott, J. F. Destruction mechanics basics. Moscow: Metallurgii, 1978. 256 p. (in Russian)
4. Zaitsev, Yu. V.; Leonovich, S. N. Strength and durability of cracked constructional materials. Minsk: BNTU, 2010. 362 p. (in Russian)
5. Voznesenskii, V. A.; Vyrovoi, V. N.; Kersh, V. Ya. etc. Modern methods of optimization of compositional materials. Kyiv: Budivelnik, 1983. 144 p. (in Russian)
6. Solomatov, V. I.; Vyrovoi, V. N. Cluster formation of compositional building materials. *Technological mechanics of concrete: collected scientific papers*. Riga: RPI, 1985, p. 5–21. (in Russian)
7. Solomatov, V. I.; Vyrovoi, V. N.; Dorofeev, V. S.; Sirenko, A. V. Compositional building materials and structures of decreased material consumption. Kyiv: Budivelnik, 1991. 144 p. (in Russian)
8. Vyrovoi, V. N.; Dorofeev, V. S.; Suhanov, V. G. Compositional building materials and structures: frames, self-organizing, features. Odessa: TES, 2010. 169 p. (in Russian)
9. Pragnashvili, I. V. System approach and social laws. Moscow: SINTEG, 2000. 528 p. (in Russian)

Суханов Володимир Геннадійович – к.т.н., доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, декан факультету довузівської підготовки Одеської державної академії будівництва та архітектури, Заслужений будівельник України. Наукові інтереси: структуроутворення та руйнування композитних матеріалів; системний підхід у формуванні структури будівельних матеріалів і конструкцій.

Вировий Валерій Миколайович – д.т.н., професор, завідувач кафедри виробництва будівельних виробів та конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: структуроутворення та руйнування композитних матеріалів.

Дорофеев Віталій Степанович – д.т.н., завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, ректор Одеської державної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: структуроутворення, міцність і руйнування композитних матеріалів і конструкцій при різних силових впливах.

Суханов Владимир Геннадиевич – к.т.н., доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций, декан факультета довузовской подготовки Одесской государственной академии строительства и архитектуры, Заслуженный строитель Украины. Научные интересы: структурообразование и разрушение композитных материалов; системный подход в формировании структуры строительных материалов и конструкций.

Выровой Валерий Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: структурообразование и разрушение композитных материалов.

Дорофеев Виталий Степанович – д.т.н., заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, ректор Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: структурообразование, прочность и разрушение композитных материалов и конструкций при различных силовых воздействиях.

Sukhanov Vladimir – Doctor of engineering sciences, senior lecturer of department of ferro-concrete and stone constructions, dean of faculty of preparation for institution of higher education entering of the Odessa state Academy of building and architecture, Honored builder of Ukraine. Science interests: structure formation and destruction of composite materials; system approach in building materials and constructions structure formation.

Vyrovoy Valeriy – Doctor of engineering sciences, professor, head of department of building wares and constructions manufacture of the Odessa state Academy of building and architecture. Science interests: structure formation and destruction of composite materials.

Dorofeev Vitaliy – Doctor of engineering sciences, head of department of ferro-concrete and stone constructions, rector of the Odessa state Academy of building and architecture. Science interests: structure formation, stability and destruction of composite materials; and constructions under various power impacts.

