

МЕХАНИЗМ ТРАСФОРМАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕЩИН В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ

Макарова С.С., к.т.н., доцент

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
Украина*

Введение

Одним из важных структурных параметров, определяющих физико-механические характеристики и надежность работы материала в конструкциях, являются трещины. Технологические трещины возникают в период структурообразования и твердения материалов на разных уровнях структурных неоднородностей. К основным причинам зарождения и развития начальных трещин можно отнести: - явления в микроструктуре за счет объединения частичек вяжущего в структурные блоки с образованием между ними поверхностей раздела; - взаимодействия матричного материала с наполнителями, что приводит к появлению трещин сцепления и трещин в периферийных областях матриц; - градиенты объемных деформаций твердеющего материала, которые зависят от геометрических параметров образца или изделия, - дисперсность наполнителя, что влияет на протяженность трещин. Рисунок трещин представляет собой завершенные или незавершенные 4-х, 5-ти или 6-ти угольники.

Таким образом, можно предположить, что бетон разделен на своеобразные структурные блоки, внешними границами которых являются берега технологических трещин. При температурно-влажностном воздействии на бетон в период его эксплуатации в условиях изменения его объема можно предположить, что увеличение или уменьшение объема материала связано с индивидуальными изменениями каждого структурного блока. Поэтому была определена задача изучения и анализа явлений, протекающих на внутренних поверхностях раздела (берегах технологических трещин) при знакопеременном воздействии среды эксплуатации, связанных с переменным увлажнением и высушиванием.

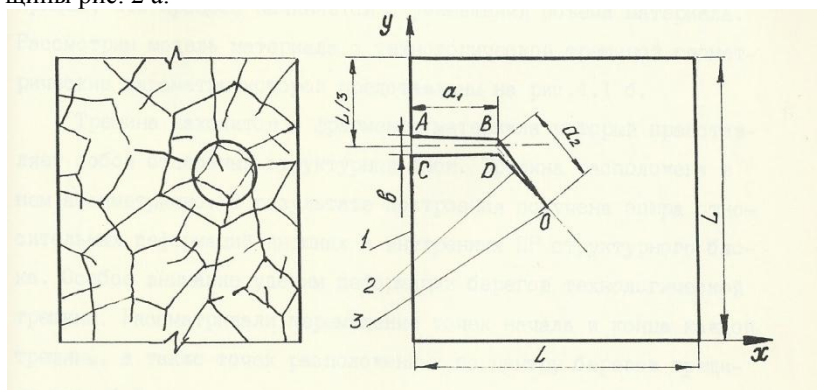
Анализ механизмов развития трещин

Анализ проводили на моделях бетона. При этом исходили из того, что бетон можно представить как непрерывную среду, в которой находится криволинейная трещина рис. 1а.

Принятая модель предполагает изотропию объемных изменений материала и пропорциональность в величине деформаций и объема материала. При анализе принята плоская модель, что позволяет проанализировать поведение поверхностных трещин. Кроме того исходили из предположения, что возникшие деформации проявляются как на внешних, так и на внутренних поверхностях раздела, которыми являются берега технологических трещин. Так как технологические трещины, как правило, криволинейные и незавершенные в своем развитии, при анализе введена криволинейная трещина. Ее можно характеризовать длиной каждого берега (a_1 , a_2), радиусами устья (α) и поворота трещины (β) и ширины ее раскрытия (ϵ).

Анализ проводили графоаналитическим методом. Примем, что процесс начинается с уменьшения объема материала. Рассмотрим модель материала с технологической трещиной, геометрические параметры которой представлены на рис. 1 б.

Трещина находится в фрагменте материала, который представляет собой отдельный структурный блок. Трещина расположена в нем асимметрично. В результате построения получена эпюра относительных деформаций внешних и внутренних поверхностей раздела структурного блока. Особое внимание уделим деформации берегов технологической трещины. Рассматривали перемещение точек начала и конца каждой трещины, а также точек, расположенных по центру берегов трещины рис. 2 а.



а)

б)

Рис. 1. Характер повреждения поверхности бетонного образца технологическими трещинами (а) и модель структурного блока с криволинейной трещиной (б): 1 – внешние поверхности раздела модели; 2 – внутренние поверхности раздела (берега технологической трещины (ТТ)); 3 – устье ТТ; a_1 , a_2 – длина ТТ; ϵ – ширина раскрытия трещины

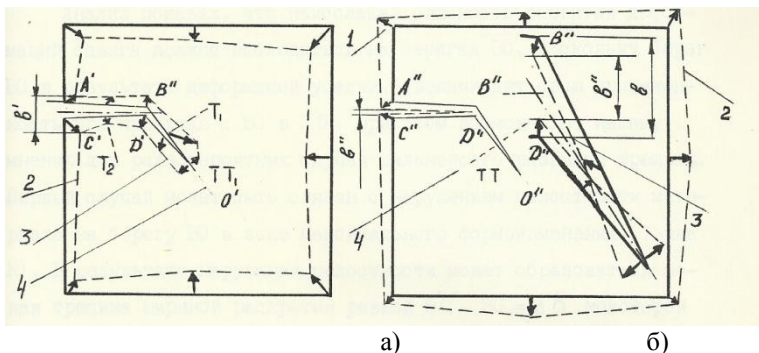


Рис. 2. Характер распределения деформаций усадки (а) и набухания (б) на внешних и внутренних поверхностях раздела: 1 – направление перемещений точек поверхности раздела; 2 – эпюра деформаций внешних поверхностей раздела; 3 – эпюра деформаций внутренних поверхностей раздела; 4 – эксплуатационные трещины.

В силу асимметричности расположения трещины, деформации каждой точки перемещаются по собственной траектории. При анализе начальная ширина раскрытия трещины практически не играет роли, так как целью анализа являлось изменение приращения ширины раскрытия.

Разнонаправленные перемещения каждой точки и различная величина перемещений ведут к индивидуальному формоизменению берегов трещины и к общему увеличению ширины ее раскрытия. При этом величина относительных перемещений может изменяться. Так, например, для берегов АВ длина уменьшается на 13,3%, а для берега ВО увеличивается на 10,0%. Обращает на себя внимание и изменение направления перемещения трещины. Так для берега АВ перемещение точки А составляет угол 80° , перемещение точки В угол 25° .

Изменение относительной величины и направления перемещения каждой точки берегов технологической трещины должно привести к развитию на этих берегах деформаций и напряжений сдвига, величина которых должна определяться реологическими характеристиками материала.

Анализ показал, что наибольшая опасность развития деформаций сдвига должна наблюдаться на берегах ВО, поскольку берег ВО в результате деформаций усадки, увеличивает свою протяженность при переходе с ВО в $ВВ'O'$. При этом возможны по нашему мнению два равновероятных случая дальнейшего развития трещины. Первый случай может быть связан с нарушением целостности материала на берегу ВО в зоне максимального формоизменения (точка К). В результате

нарушения целостности может образоваться новая трещина шириной раскрытия равной $B'O' - BO = \Delta v$ некоторой длиной Δa . В результате происходит релаксация деформаций и напряжений, связанных с усадкой материалов, и процесс можно считать на этом этапе завершенным. В результате общая поврежденность материала изменилась на ΔK .

Второй случай может возникнуть при увеличении длины технологической трещины на величину Δa . Это может быть связано с тем, что равнонаправленные деформации на противоположных берегах ВО и ДО могут привести к концентрации деформаций напряжений у устья трещины и ее рост на величину Δa . В результате поврежденность материала возрастает на ΔK .

Таким образом, деформации усадки приводят к увеличению поврежденности принятой модели бетона на ΔK . Качественное отличие при сохранении общего одинакового изменения поврежденности заключается в том, что в первом случае происходит накопление объемных повреждений без изменения протяженности технологической трещины. Во втором случае изменения поврежденности связано с ростом начальной трещины. Как в том, так и в другом случае, изменение поврежденности может быть связано с начальной поврежденностью материала.

Аналогичный анализ проведен для процесса увеличения объема материала рис. 2 б.

Увеличение материала в объеме приводит к уменьшению ширины раскрытия трещины на величину $\Delta v'$. Анализ показывает, что, как и при усадке материала на берегах технологических трещин возникают равновеликие и разнонаправленные деформации. При общем уменьшении ширины раскрытия трещины протяженность берегов увеличивается. Поэтому, можно предположить, что при достижении критических значений деформации целостность материала может быть нарушена, особенно в точках локализации деформации сдвига (см., например, точку К). Относительные перемещения точки К в среднем в 2 раза больше, чем перемещение других точек. Это может привести к зарождению и развитию в зоне возможного максимального формоизменения новой трещины.

Таким образом, поврежденность материала увеличивается. Кроме того, не исключена ситуация, когда в устье технологической трещины берега начнут смыкаться, что должно привести к деформациям растяжения в материале у кончика трещины. Это приведет к ее подрастанию.

Можно заключить, что как и при уменьшении объема, так и при увеличении объема, поврежденность материала может изменяться или путем образования новых трещин или за счет роста существующих.

Изменение начальной поврежденности материала предполагает существование в выделенном структурном блоке не одной, а нескольких трещин. Поэтому представляет интерес анализ поведения этих трещин при знакопеременных деформациях структурного блока. В принятой модели введена еще одна трещина, позволяющая увеличить коэффициент поврежденности на K_1 (в нашем случае $K_1 = 0,14$). Геометрические параметры новой модели представлены на рис. 3 а.

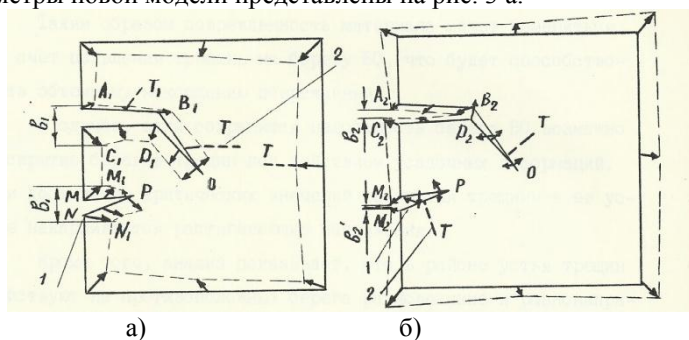


Рис. 3. Распределение деформаций усадки (а) и набухания (б) в модели бетона с $K_p = 0,15:1$ – начальная трещина; 2 – эксплуатационные трещины; v_1, v_1 – ширина раскрытия трещины; v_2, v_2 – ширина смыкания трещины

Полученные графоаналитическим методом распределения возможных деформаций берегов трещины при усадке материала показывает, что присутствие еще одной поверхности раздела LMN в модели изменяет деформацию берегов трещины АВОДС. При этом протяженность берега ВО увеличивается на величину Δa , что создает предпосылки образования на ВО новой трещины.

Таким образом, поврежденность материала может измениться за счет появления трещины на берегу ВО, что будет способствовать объемному накоплению повреждений.

В случае, если сохранится целостность берега ВО возможно раскрытие берегов трещин под действием усадочных деформаций. При достижении критических значений раскрытия трещины в ее устье накапливаются растягивающие напряжения.

Кроме того, анализ показывает, что в районе устья трещин действуют на противоположные берега разновеликие и разнонаправленные деформации. Это ведет к возникновению продольного сдвига, что может быть причиной роста трещины.

Таким образом, происходит увеличение поврежденности материалов за счет увеличения длины трещин LMN и АВОДС.

На рис. 3 б. представлен возможный вариант деформаций берегов трещин при набухании бетона. Здесь, как и в первом случае, на берегах технологических трещин возникают разновеликие и разнонаправленные деформации. Наличие дополнительной трещины в рассматриваемом варианте накладывает свои особенности на их взаимное поведение. Адсорбционные процессы, возникающие в результате взаимодействия бетона с водой, влияют на объемно-напряженное состояние, что и выражается в поведении трещины.

Указанные процессы вносят изменения в неоднородное напряженное состояние бетона, вызванное структурообразованием при твердении. Происходит закрытие трещин в устье. В то же время берега трещин видоизменяются, и протяженность их увеличивается, ширина раскрытия уменьшается. Уменьшение ширины раскрытия трещин при увлажнении можно объяснить тем, что влажностные деформации набухания развиваются в каждом структурном блоке отделенным друг от друга наследственными дефектами. Увеличение объемов соседних дискретных элементов приводит к сближению их границ раздела. Повидимому, формоизменение трещин, их величина и взаимодействие друг на друга будут зависеть от минерального состава цемента, его количества в бетоне, плотности. В зависимости от сказанного, устья трещин могут закрываться и расстояние между ними может увеличиваться и наоборот взаимодействие их друг на друга может вызвать дальнейшее развитие микротрещин.

Распределение деформаций на берегах трещин зависит от места расположения трещин. Анализ показывает, что в зависимости от места и ориентирования другой трещины изменяется характер распределения деформаций усадки – набухания на берегах базовой трещины. В случае параллельного расположения трещин усиливается анизотропия деформаций (в нашем случае на СД рис.3). Это ведет к возникновению на берегу СД перепада величин деформаций примерно на 10° . Создаются реальные предпосылки нарушения целостности материала и увеличения поврежденности модели за счет образования новых трещин на берегах СД и SP.

Выводы

Проведенный анализ позволяет заключить:

1. Знакопеременные объемные деформации приводят к закрытию технологических трещин при набухании материала и к ее раскрытию при усадке.

2. Местоположение и конфигурация технологической трещины определяют возникновение градиентов деформаций различных по величине и направлению, что ведет к развитию деформаций сдвига.

3. Деформации и напряжения сдвига способствуют увеличению поврежденности материала, как за счет подрастания технологических трещин, так и за счет образования новых трещин в зонах максимального формоизменения берегов. Анализ показал, что увеличение поврежденности может происходить как при уменьшении, так и при увеличении объема материала.

4. Проведенный анализ позволяет заключить, что увеличение начальной поврежденности материала за счет образования множества трещин способствует более интенсивному накоплению повреждений, как за счет технологических трещин, так и за счет образования новых поверхностей раздела. Это должно оказать влияние на характер разрушения образцов после знакопеременной деформации и определить в итоге стойкость материала при их попеременном увлажнении и высушивании.

Summary

The results of studies of technological cracks when exposed to alternate wetting and drying.

1. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К: Будівельник, 1991. – 144 с.

2. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 168 с.

3. Выровой В.Н. Композиционные строительные материалы и конструкции: структура, самоорганизация, свойства / В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суханов. – Одесса: «ТЕС», 2010. – 177 с.

4. Макарова С.С. Минеральные наполнители в бетонах и их влияние на его стойкость при многократном увлажнении и высушивании /С.С. Макарова.- Одесса: Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск 17, 2005, С.181-187.

5. Макарова С.С. Механизм трансформации технологических трещин бетона в эксплуатационные/ С.С. Макарова. Збірник наукових праць Ресурсекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.- Рівне: РДТУ, 2001, С. 165-169.