

РАЗВИТИЕ ТРЕЩИН ПРИ МНОГОКРАТНОМ ЗАМОРАЖИВАНИИ И ОТТАИВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Закорчемная Н.О., Резник Л.И., Выровой В.Н., Закорчемный Ю.О.
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.
Одесса)

Приведен анализ механизмов развития трещин при замерзании в их объеме свободной воды. Рассмотрены механизмы возможного изменения параметров начальной трещины за счет давления льда на ее берега.

Введение

Важной, всегда актуальной и экономически обоснованной задачей строительства является обеспечение проектных показателей строительных конструкций с учетом их эксплуатации в неблагоприятных воздействиях окружающей среды. К таким воздействиям специалисты относят многократное замораживание и оттаивание бетонных и железобетонных изделий.

Способность бетона как капиллярно-пористого тела противостоять разрушению при многократном замораживании и оттаивании объясняется присутствием в их структуре резервных пор, в которые вытесняется часть незамерзшей воды [1]. Поэтому основным параметром, определяющим морозостойкость бетона, принято строение порового пространства при обязательном содержании необходимого количества условно-замкнутых пор, которые отнесены к рангу резервных. Наряду с порами и капиллярами к структурным параметрам бетона, в значительной степени определяющими его физико-механические свойства и трещиностойкость, отнесены технологические трещины. Технологические трещины присутствуют на всех уровнях структурных неоднородностей бетона как полиструктурного материала. Специфическая роль трещин в значительной степени предопределяет способность к сопротивлению морозному разрушению строительных композиционных материалов.

Процессы которые происходят в объеме трещины при замерзании свободной воды, превращают ее в нестабильный структурный элемент материала. Нестабильность трещины связана с увеличением ширины ее раскрытия и с уменьшением давления внутри трещины. Это создает

неравномерное распределение деформаций и напряжений в окружающем материале, что может привести к подрастанию трещины. Сам факт изменения параметров трещины является достаточным условием перераспределения деформаций и напряжений в окружающем материале. Согласно основным положениям механики разрушения напряжения концентрируются у устья трещины, что может привести к ее необратимому росту. Таким образом, процессы, которые происходят внутри трещины при замерзании в ее объеме воды, провоцируют (инициируют) процессы, которые возникают в материале, в структуру которого входит эта трещина. Это предопределило задачу исследований – анализ механизмов развития трещин при замерзании в их объеме свободной воды.

Анализ механизмов развития трещин при морозном разрушении.

При анализе процессов, которые возникают в материале при замерзании воды в трещине, принята модель трещины в форме клина [3]. Примем, что в результате замерзания воды давление передается на материал берегов трещины.

Давление воды при замерзании в замкнутом пространстве составляет до 13,3 МПа при понижении температуры на 1°С. При $T = -20^{\circ}\text{C}$ давление может достигать до $P = 266$ МПа. Данная температура характерна для климатических условий Центральной Европы. При этом, при $T = -20^{\circ}\text{C}$ замерзает не более 30 % общего количества воды в бетоне.

Примем, что температура снизилась до $T = -10^{\circ}\text{C}$. Это вызвало замерзание свободной воды в трещине, которая занимала третью часть длины начальной трещины. Давление льда на берега этого участка трещины должно составить $P = 133$ МПа. Заменяем давление от льда внешней нагрузкой P_1 численно равной внутреннему давлению на два берега трещины ($P_1 = P/2$). При условии равномерного распределения P_1 можно рассчитать коэффициент интенсивности напряжений k_1 .

Проведенные расчеты показывают, что коэффициент интенсивности напряжений составляет $k_1 = 179,6$ МПа $\text{м}^{3/2}$.

Для расчета коэффициента концентрации напряжений k_{lc} выделим фрагмент материала в виде пластины толщиной $t = 1$.

Для расчета k_{lc} воспользуемся следующей формулой:

$$k_{lc} = P_1 a^{1/2} / bt,$$

где, b - ширина выделенного образца.

При условии, что поправочная функция при отношении $a/b = 0,5$ равна единице, $k_{lc} = 10,5$ МПа $\text{м}^{3/2}$.

Известно, что трещина не будет развиваться, если выполняется

условие, при котором $k_{lc} < k_l$. В нашем случае k_l более чем в 17 раз превышает значения k_{lc} . Это говорит о том, что трещина должна подрастать при действии давления от замерзающей воды.

Для подтверждения влияния давления льда на перераспределения деформаций и напряжений в материале с трещиной была определена задача изучения влияния замерзающей в трещине воды на поведение материала на физических моделях.

Качественную картину распределения деформаций и напряжений в материале при замерзании воды в трещине изучали на модели материала с трещиной при помощи методов фотоупругости. Была принята плоская модель фрагмента материала с трещиной.

Модель была выполнена из эпоксидной смолы типа ЭД-16 с отвердителем ПЭПА. Трещина создавалась путем заложения имитатора трещины при формовании модели. Всего было изготовлено три модели с одинаковыми геометрическими характеристиками. Формование моделей происходило одновременно путем их заливки одним и тем же составом эпоксидной смолы с отвердителем. После затвердевания эпоксидной смолы имитатор трещины извлекался и объем полученной трещины заполнялся водой. Модели помещались в холодильную камеру в которой поэтапно снижалась температура до $T = -5; -10; -20^{\circ}\text{C}$. При каждой температуре модели выдерживались в течение одного часа, после чего извлекались и фотографировались в поляризованном свете. Две модели разрушились в период понижения температуры от $T = -10$ до $T = -20^{\circ}\text{C}$.

Анализ распределения интерферентных полос показал, что по мере снижения температуры изменяется характер распределения деформаций в модели. При $T = -5^{\circ}\text{C}$ наблюдается изменение деформаций вдоль берегов трещины. По мере снижения температуры происходит такое перераспределение деформаций и напряжений, при котором они начинают концентрироваться у устья трещины. Наблюдается известное явление релаксации деформаций и напряжений вдоль берегов трещины с их концентрацией у вершины трещины. Аналогичные исследования были проведены на моделях с трещинами, на берегах которых развивались другие трещины.

Анализ распределения деформаций и напряжений в материале при замерзании свободной воды в трещинах показал, что происходит концентрация напряжений у устья каждой трещины. Это позволяет предположить, что при давлении замерзающей воды каждая из трещин может изменить свои геометрические параметры.

Проведенные исследования на моделях материала с трещинами позволили установить, что давление льда на берега трещины ведет к

перераспределению деформаций и напряжений в материале и может вызвать необратимое развитие трещины. Принятая модель справедлива для хрупких материалов с достаточно большой единичной трещиной, полностью заполненной водой. Данная модель материала с трещиной подтвердила приведенные выше расчетные значения коэффициентов интенсивности напряжений, которые могут привести к разрушению материала. Таким образом, задачи, которые были поставлены при моделировании влияния замерзающей в трещине воды на распределение деформаций и напряжений в материале, можно считать выполненными.

Увеличение ширины раскрытия трещины под действием давления льда ведет к увеличению объема трещины. Внутри трещины происходит снижение давления, что вызывает изменение распределения нагрузки вдоль площади берегов. При увеличении объема до 9 % давление внутри трещины снизилось в среднем на $P = 0,4$ кгс/см. Можно заключить, что на берега трещины, свободные от замерзшей воды, действует внешняя нагрузка, равная установившемуся градиенту давления.

Под действием нагрузок, связанных с изменением объема трещин, возникают, как показал анализ, два характерных участка вдоль берегов, в значительной мере определяющих дальнейшее поведение начальной трещины. Первый участок находится на границе раздела «лед - паровоздушная среда».

На границе раздела твердой части трещины и льда действует сила ΔP , которая равна $\Delta P = P_a - P_t$, где P_t - давление в объеме трещины. Сила, вызванная давлением льда P , действует в противоположном направлении. Это вызывает деформации и напряжения сдвига, что может привести к нарушению целостности материала, в котором расположена трещина.

В силу того, что все процессы протекают во времени, то объем трещины заполняется влагой за счет внутреннего изменения форм связи воды и диффузионной воды из окружающего капиллярно-пористого материала под действием ΔP . В самом широком месте раскрытия трещины накапливается свободная вода, которая переходит в твердое состояние. Переход в твердое состояние должен происходить достаточно быстро, поскольку свободная вода образуется с переохлажденной связанной воды. Происходит намерзание «нового» льда на поверхность «старого» льда. При этом возможна ситуация, при которой «новый» лед образуется достаточно быстро, и в значительном объеме. В этом случае возможны следующие схемы распределения деформаций и напряжений в трещине, рис. 1.

Увеличиваясь в объеме «новый» лед давит на берега трещины с измененной шириной раскрытия, рис. 1.а., адгезия «старого» льда и материалу берегов трещины может вызвать неравномерное распределение деформации, рис.1,б. Такое распределение деформаций может привести к увеличению ширины раскрытия трещины, что может привести к подрастанию трещины до O_2 . Кроме того, неравномерное распределение деформаций и напряжений может вызвать образование несплошностей на границе «нового» льда.

В случае, если адгезия «старого» льда к материалу берегов меньше возникающим нагрузкам, вызванных давлением «нового» льда, то распределение деформаций и напряжений будет происходить по схеме, представленной на рис.1,в. Произойдет увеличение ширины раскрытия трещины по всей ее длине, что вызовет релаксацию деформаций и напряжений на участке «старого» льда.

При образовании новых поверхностей раздела, увеличение ширины раскрытия трещины может произойти на границе раздела старого и нового льда по схеме, рис. 1,д.

Это может способствовать увеличению протяженности новых трещин. Несмотря на различие в механизмах распределения деформаций и напряжений общим можно считать очередное изменение объема трещины с ее подрастанием. В свою очередь изменение объема трещины вызывает очередной этап сжатия давления, перераспределения деформаций и напряжений в материале, перераспределение влаги по формам связи в свободном объеме трещины, подсос капиллярной влаги за счет градиента давлений. Комплекс этих процессов инициирует очередной этап изменения параметров трещины. Можно предположить, что при фиксированной отрицательной температуре, начальная трещина будет скачкообразно изменять свои параметры до тех пор, пока не исчерпаются возможности образования достаточного объема свободной воды. Такая возможность зависит от параметров ТТ, особенно от ширины их раскрытия.

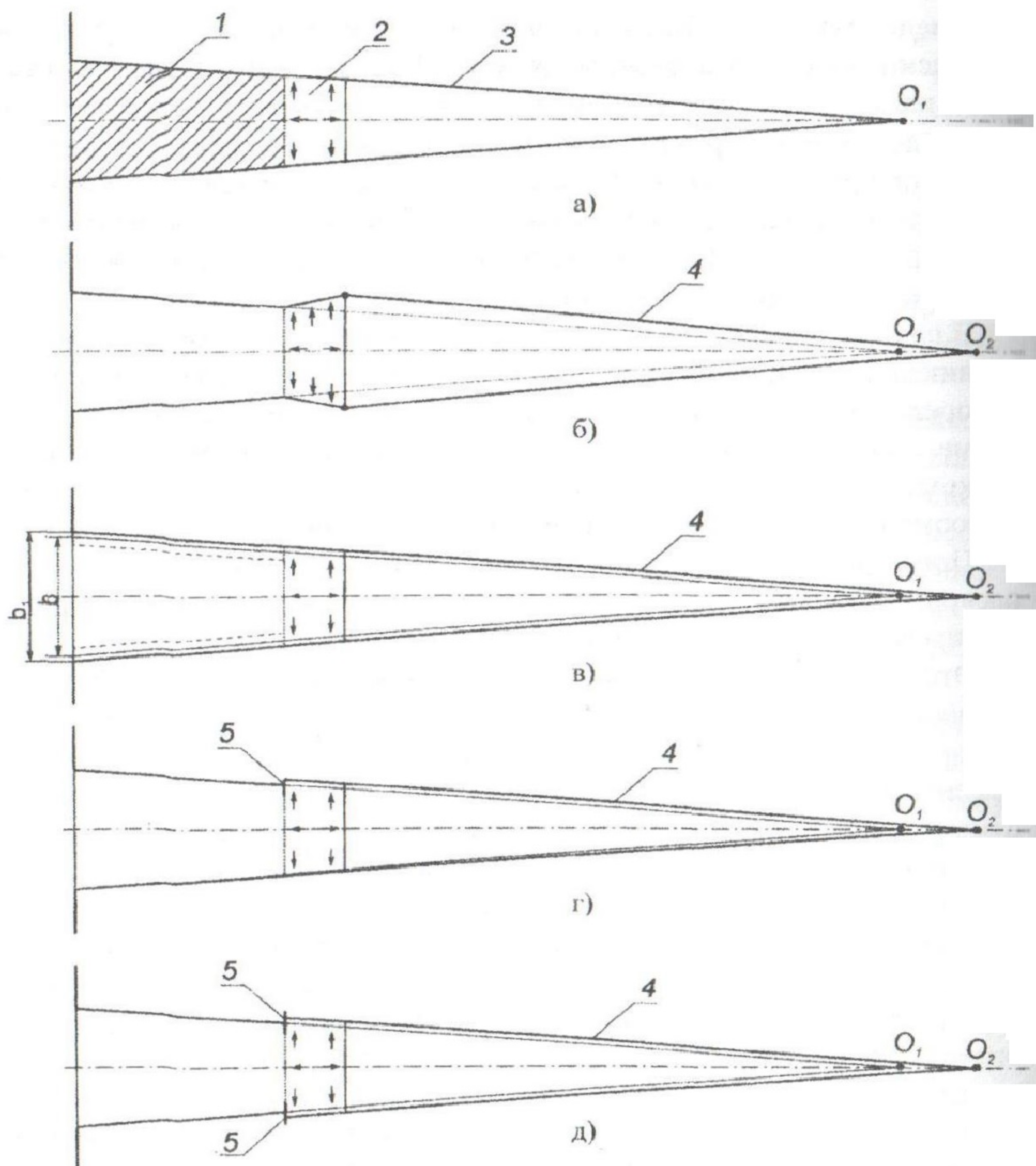


Рис. 1. Схема возможного изменения параметров трещин при замерзании очередной порции свободной воды.
 а – схема давления «нового» льда; б – схема распределения деформаций при скреплении берегов «старым» льдом; в – схема распределения деформаций при нарушении целостности материала на одном и на двух берегах соответственно; 1 – «старый» лед; 2 – «новый» лед, 3 – трещина после замерзания первой порции свободной воды; 4 – трещина после замерзания второй порции свободной воды; 5 – образование несплошностей.

Выводы.

Приведенный выше анализ справедлив в случае образования достаточно большого объема свободной воды переходящей в твердое состояние и в случае, когда постоянно снижается температура до температуры замерзания полиадсорбционной влаги. Проведенные исследования позволили заключить, что при замерзании свободной воды в трещине давления льда на берега, вызывает концентрацию напряжений у ее устья, которое в 17 раз превышает трещиностойкость материала. Это ведет к необратимому росту трещины с одновременным изменением ее параметров. Изменение параметров трещины провоцирует перераспределение деформаций и напряжений в окружающем материале, возникновению деформаций сдвига на отдельных участках берегов и может вызвать деформации напряжения сжатия у устья трещины. Это может приостановить ее рост очередного этапа развития давлений от замерзающей воды.

Література

1. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. – Л.: Стройиздат, 1989. – 128 с.
2. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Місто майстрів, 1998. – 165 с.
3. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. Монография. – Одесса: Внешрекламсервис, 2004. – 270 с.