

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ МОРОЗНОГО РАЗРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Закорчемная Н.О., Выровой В.Н., Закорчемный Ю.О. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса),
Фиц С.Б. (Люблинская политехника, Люблин, Польша)

Проведен анализ предложенных механизмов развития трещин при попеременном замораживании и оттаивании строительных композитов. Выявлена зависимость распределения деформаций в материале от геометрии начальных технологических трещин.

Введение. Большинство строительных конструкций во всех климатических зонах Украины подвергаются, в процессе эксплуатации, многократному замораживанию и оттаиванию. Эффективность применяемых строительных материалов и их долговечность в значительной степени определяется способностью их противостоять внешним агрессивным воздействиям. Анализ литературных источников [1, 2] показал, что одним из важнейших экологических факторов определяющих свойства бетона является многократное замораживание и оттаивание. Морозостойкость строительных материалов оценивается количеством циклов замораживания предварительно увлажненных образцов с их последующим оттаиванием при которых изменение физико-механических свойств не достигает нормируемых значений. Снижение прочностных характеристик при морозном воздействии на строительные материалы связывают, в основном, со сменой агрегатного состояния жидкой фазы, заполняющей внутренне пространство (поры, капилляры, объем трещин) материала, что вызывает периодическое воздействие на строительный материал накоперемных нагрузок и способствует изменению структуры материала и, как следствие, снижению его физико-механических и эксплуатационных свойств. Анализ работ [1, 2] позволил выделить в качестве основного параметра влияющего на морозостойкость строительных материалов, наличие резервных пор и их распределение в структуре материала, в которые вытесняется часть воды из трещин, пор и капилляров при ее замораживании. Повышение морозостойкости материала, в свою очередь, обеспечивается необходимой

концентрацией в объеме и равномерностью распределения резервных пор и может быть обеспечена соответствующим подбором количественного и качественного состава материала, применением химических добавок и технологическими условиями изготовления строительных композитов.

Анализ работ по структурообразованию [3, 4] и предварительно проведенные исследования по организации структуры бетона как полиструктурного материала показал, что в качестве структурного параметра следует выделить технологические трещины, которые присутствуют на всех уровнях структурных неоднородностей и оказывают существенное влияние на процесс его разрушения. Анализ реальных структур цементного камня (рис. 1.), раствора и бетона показал, что технологические трещины прорастают в гетерогенном материале по достаточно сложным траекториям. При этом на их берегах зарождаются и развиваются другие трещины, что изменяет распределения деформаций в объеме гетерогенного материала усиливая или ослабляя способность материала выдерживать морозные нагрузки.

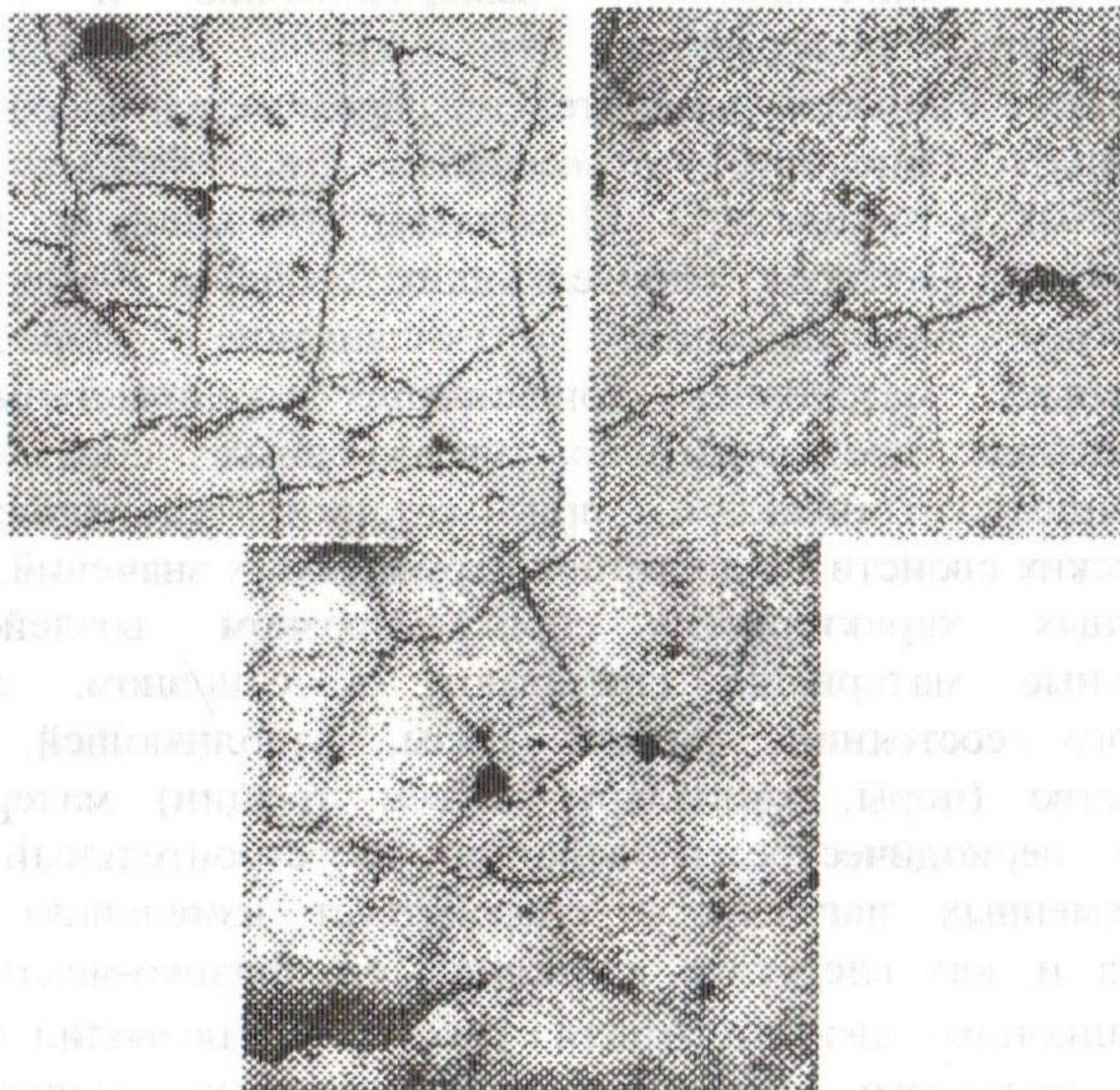


Рис. 1. Распределение технологических трещин на поверхности бетона

На наш взгляд, представляет интерес изучение влияния начальных технологических трещин на морозное разрушение

строительных композитов. Таким образом была определена задача исследований – анализ механизмов распределения деформаций в материале в котором присутствуют трещины с различной шириной раскрытия, изменяющейся траекторией развития и наличием на берегах основной трещины других трещин при попеременном замораживании и оттаивании.

Выбор и обоснование модели.

В качестве основной модели нами была принята плоская модель клиновидной трещины (рис.2). Плоская модель клиновидной трещины характеризуется длиной l_0 , шириной раскрытия a_0 и радиусом устья φ .

Модель клиновидной трещины позволяет проанализировать механизмы роста трещины при поэтапном замерзании воды, находящейся в различных состояниях. Форма трещины в виде клина предполагает, что при угле смыкания берегов трещины $\varphi \rightarrow 0^\circ$, в ее объеме жидкая фаза находится в свободном состоянии, в виде полиадсорбционных слоев и в виде моноадсорбированного слоя в непосредственной близости от устья трещины. Для каждого вида связи воды на берегах трещины существует своя температура ее перехода в твердое состояние. Исходя из этого предположения нами условно выделено четыре зоны, характеризующие поэтапный переход жидкой фазы в твердую при $t = \text{const}$.

Таким образом, при анализе влияния увеличения объема жидкой фазы на берега трещины, на начальном этапе исследований, исходили из условия что: – вода находящаяся в объеме трещины на макроструктурном уровне находится в свободном состоянии; – температура перехода воды в твердое состояние неодинакова для разных структурных уровней и зависит в частности от рН среды.

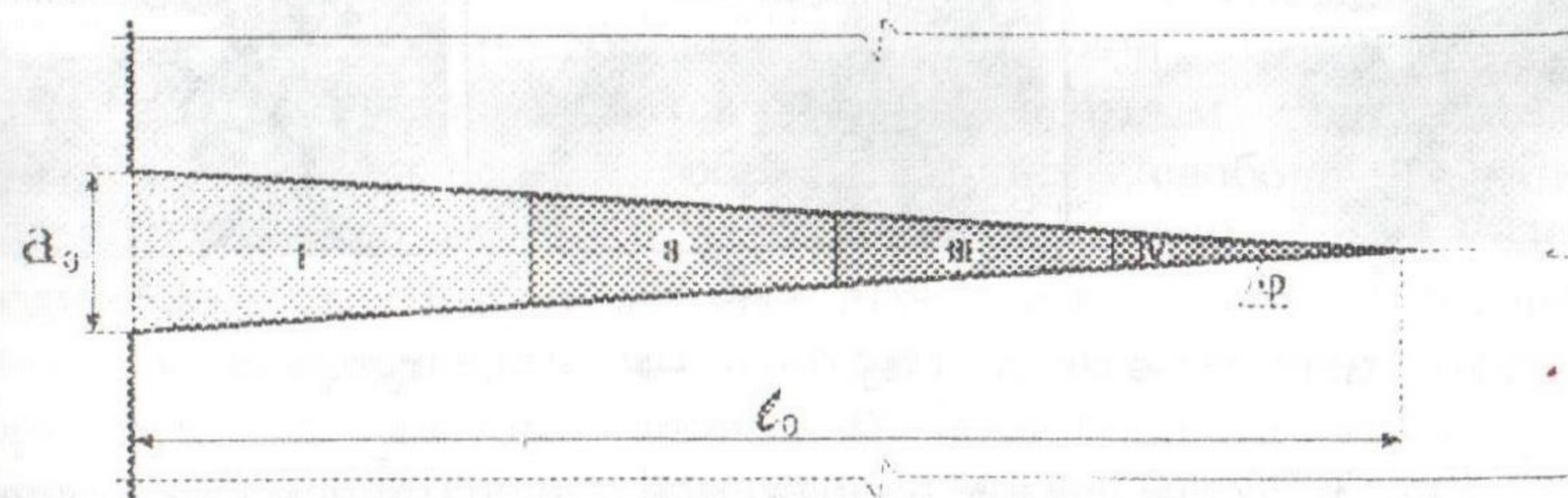


Рис. 2. Модель клиновидной трещины.

Анализ распределения деформаций в материале с трещинами

различной геометрии проводили графо-аналитическим методом и методом фотоупругости. Графо-аналитический метод позволяет количественно оценить направление возникающих деформаций и их относительную величину по длине берегов трещин различной геометрии. При использовании метода фотоупругости применяли плоские модели, изготовленные из эпоксидной смолы, в которых геометрия трещин была идентичная геометрии трещин, анализ которых проводили графо-аналитическим методом. Метод фотоупругости позволяет, в нашем случае, получить качественную картину развития и распределения возникающих деформаций. В физических моделях распределения деформаций в матрице анализировали при замерзании воды, а также при заполнении этих же объемов трещины материалом, увеличивающимся в объеме при затвердевании.

Анализ механизмов морозного разрушения.

На начальной стадии исследований ставилась задача исследования влияния увеличения объема воды находящейся в свободном состоянии на распределение напряжений в материале. Проведенный анализ методом фотоупругости позволил установить, что происходит поэтапное изменение картины распределения напряжений, связанное с изменением агрегатного состояния воды при увеличении объема трещин за счет давления льда на ее берега, рис.3. Таким образом происходит увеличение ширины раскрытия трещины и, как следствие, возникают деформации растяжения у ее устья. Эти процессы могут привести к росту трещины и увеличению ее объема.

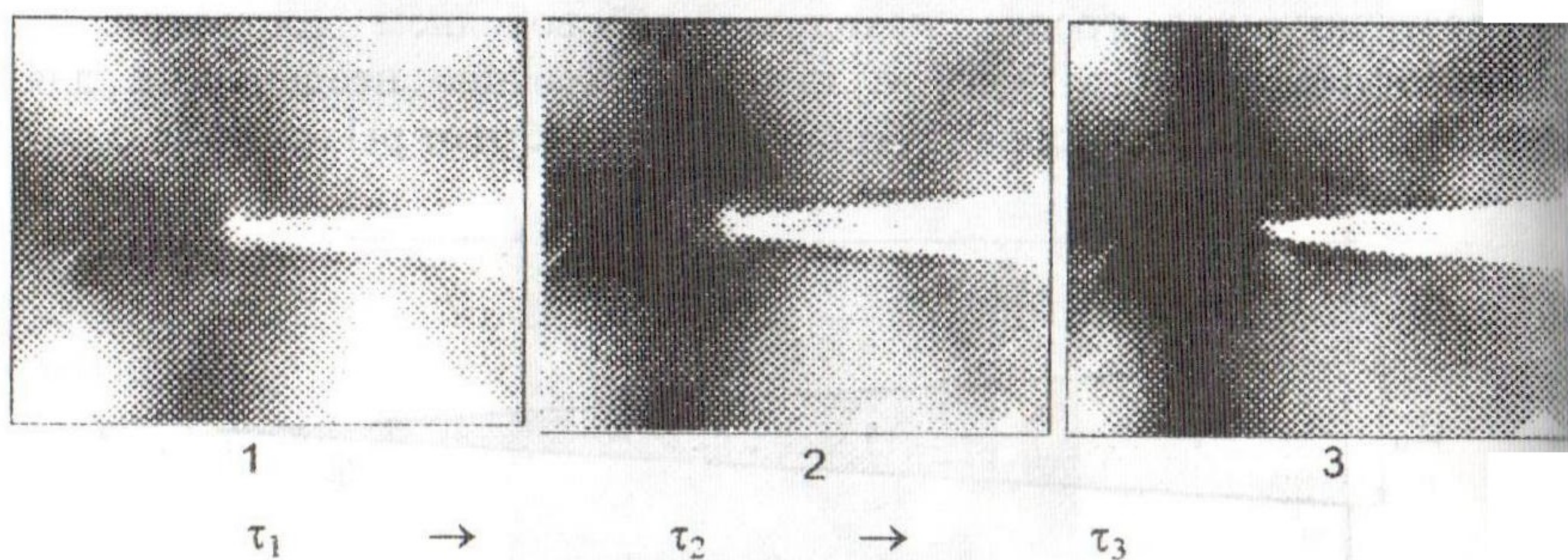


Рис. 3. Распределение напряжений при поэтапном изменении агрегатного состояния воды.

Как показали наши исследования, характер распределения деформаций зависит от геометрии начальной трещины и от наличия на

ее берегах других трещин. При этом может наблюдаться увеличение объема трещин без ее подрастания. В этом случае давление льда вызывает возникновение напряжений в объеме матричного материала вдоль берегов трещин и льда. Опыты показали, что такое изменение агрегатного состояния на границах раздела реализуется в достаточно короткий промежуток времени, что вызывает резкий «сброс» напряжений. Происходит своеобразное ударное нагружение, направленное к устью трещины, сопровождаемое характерным кратковременным звуком и изменением распределения деформаций в исследуемом образце. Такие изменения до и после «сброса» напряжения отчетливо видны на рис. 4. По нашему мнению, это может быть одной из возможных причин подрастания существующей трещины в момент начала процесса оттаивания.

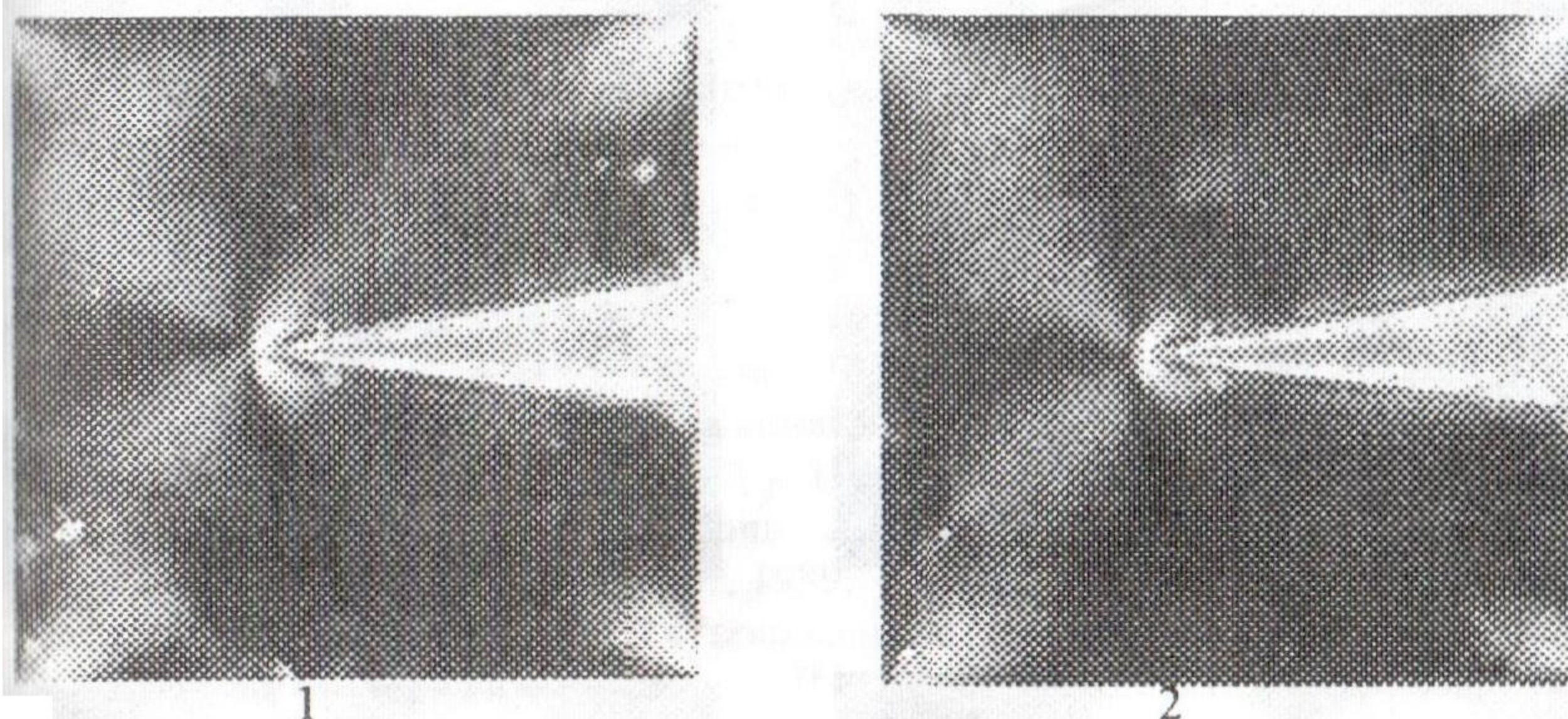


Рис. 4. Распределение напряжений до (1) и после (2) момента «сброса» напряжений

В зависимости от геометрии начальной трещины цикл замораживания сопровождается скачкообразным подрастанием трещины. Вода, заполняя образовавшийся свободный объем, вследствие роста трещины и раскрытия ее ширины переходит в свободное состояние и изменяет свое агрегатное состояние. Это вновь приводит к перераспределению напряжений вызывающих объемные деформации, что является причиной последующего этапа роста трещины. При этом возможна трансформация технологической трещины в трещину эксплуатации. Представляет интерес изучение процесса роста трещины при многократном замораживании и оттаивании. Исследования проводили на модели из эпоксидной смолы с инициированной трещиной неправильной формы. За основу была

принята геометрическая форма реальной эксплуатационной трещины выявленной на бетонном образце. Процесс роста трещины нами был разделен условно на четыре этапа, моделирующие циклы замораживания и оттаивания. При заполнении такой трещины водой и последующем ее замерзании производили фотофиксацию возникающих напряжений (рис.5.). Последующее увеличение и формирование трещины производили посредством распила модели. Как показал анализ распределения напряжений в образце со сложной формой трещин (рис. 5), при замерзании воды, на всех без исключения этапах, напряжения концентрируются у устья трещины без заметных деформаций материала вдоль ее берегов.

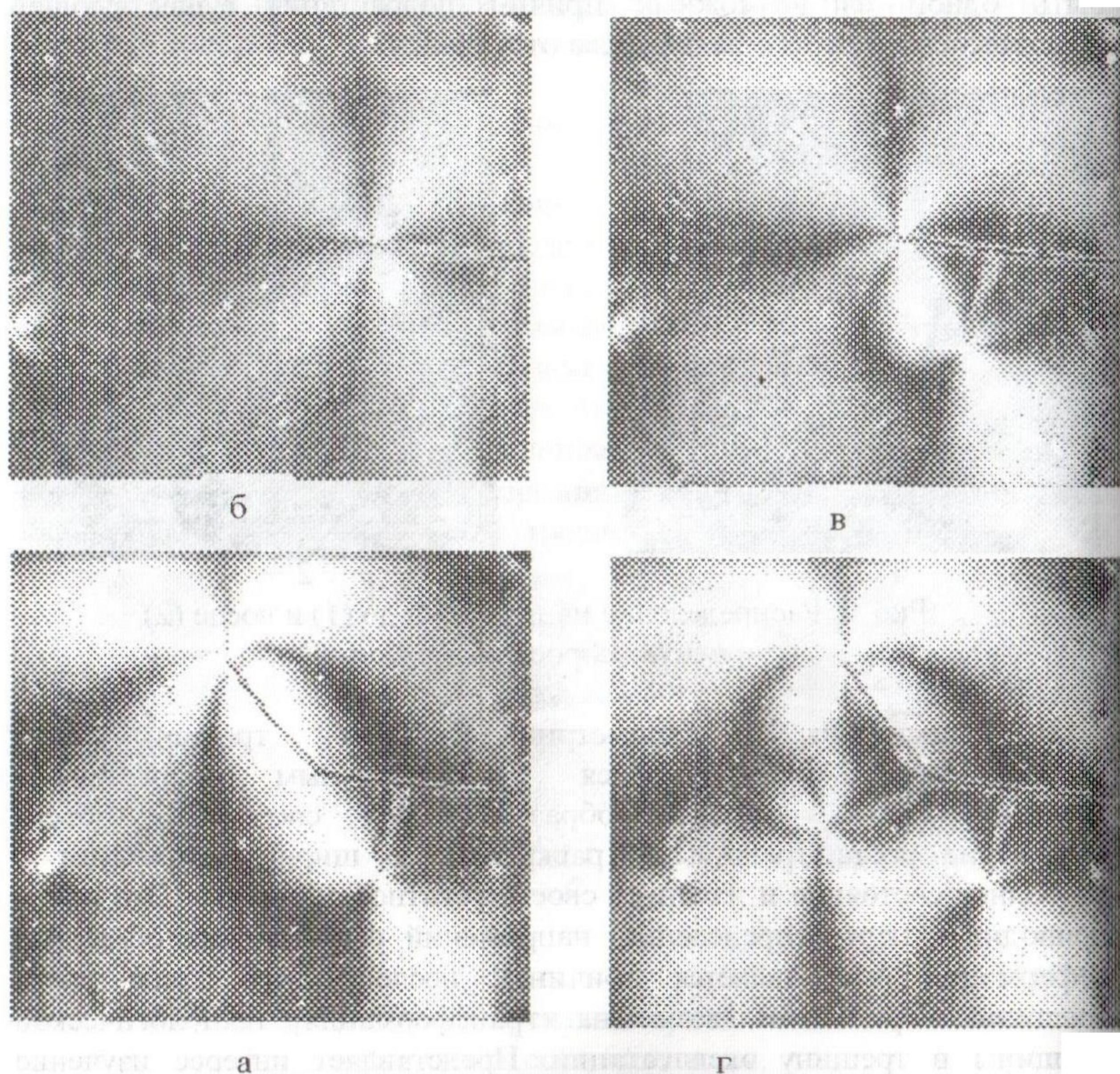


Рис. 5. Фотофиксация концентрации напряжений методом фотоупругости: а, б, в, г – этапы роста трещины

Заключение.

Проведенный анализ механизмов распределения деформаций в материале при замерзании воды в объеме трещин показал, что развитие деформаций зависит от геометрии начальных трещин и характера их распределения. Распределение воды в объеме трещины предполагает поэтапное изменение ее агрегатного состояния, и, как следствие, приводит к скачкообразному увеличению ширины раскрытия трещины и ее подрастанию. В процессе роста технологической трещины возможен ее переход в трещину эксплуатационную, что в дальнейшем может привести к началу разрушения материала. Характер распределения и вид технологических трещин зависит от качественного и количественного состава и технологических условий получения строительных композитов. При изменении этих технологических факторов можно управлять распределением технологических трещин с целью повышения сопротивляемости строительных композитов многократному замораживанию и оттаиванию.

Литература:

1. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965. – 195с.
2. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. – Л.: Стройиздат, 1989. – 128 с.
3. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И.Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В.Сиренко. – К.: Будівельник, 1991. – 144с.
4. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Місто майстрів, 1998. – 165 с.