

ВЛИЯНИЕ МАКРОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ДЕФОРМАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНОВ

Дорофеев А. В., Выровой В. Н. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*)

Показано, что зарождение и развития технологических трещин в макроструктуре бетонов является объективным процессом. Предложено отнести технологические трещины к основным элементам макроструктуры, от распределения которых зависят деформативные характеристики бетонов на плотных и пористых заполнителях.

Макроструктура бетонов, как грубогетерогенных материалов, представлена структурной неоднородностью типа «матричный материал – заполнители» [1]. Под заполнителями понимают дискретные частицы произвольных формы, поверхностной активности и агрегатного состояния, размер которых вызывает появление полей деформаций и напряжений в окружающем матричном материале [2]. Введение заполнителей создает в матричном материале (растворной части, цементном тесте) развитую внутреннюю поверхность раздела (ВПР), на которой проявляются спонтанные объемные деформации твердеющей и затвердевшей матрицы. Это позволяет заключить, что ВПР является структурным параметром макроструктуры бетонов, который образуется в момент получения бетонной смеси с последующей трансформацией за счет проявления комплекса физико-химических и физико-механических явлений и процессов, связанных с гидратацией и твердением вяжущих. В зависимости от характера взаимодействия твердеющего матричного материала с заполнителями в значительной степени будут определяться условия распределения деформаций и напряжений, связанных с эксплуатационными нагрузками (силовые стационарные и динамические нагрузки, нагрузками, связанными с температурно-градиентами). Поэтому была определена задача – изучение и анализ распределения деформаций твердеющего матричного материала на границе раздела с заполнителями

с учетом количества, способов укладки и состояния поверхности заполнителей и их влияние на деформативные свойства бетонов.

Анализ проводили на моделях структурных ячеек бетонов, которые представляют собой группу заполнителей в виде цилиндров или дисков, распределенных определенным образом в матричном материале. В качестве матричного материала применяли цементное тесто ($B/C = 0,32$) для изучения влияния заполнителей на величину деформаций ВПР и характера трещинообразования матричного материала и эпоксидную смолу типа ЭД-16 с отвердителем ПЭПА для изучения величины деформаций на ВПР. Величина деформаций изучалась с применением специальных заполнителей – датчиков радиусом $R = 0,015$ м и высотой $H = 0,04$ м. Расстояние между заполнителями при кубической и гексагональной укладке h составляло $h = 0,2R$ и $h = 0,4R$.

Результаты опытов показали, что независимо от природы матричного материала, количества и способов укладки заполнителей, наблюдается общая закономерность увеличения ВПР за счет деформаций уменьшения объема твердеющих неорганических и органических вяжущих, рис. 1.

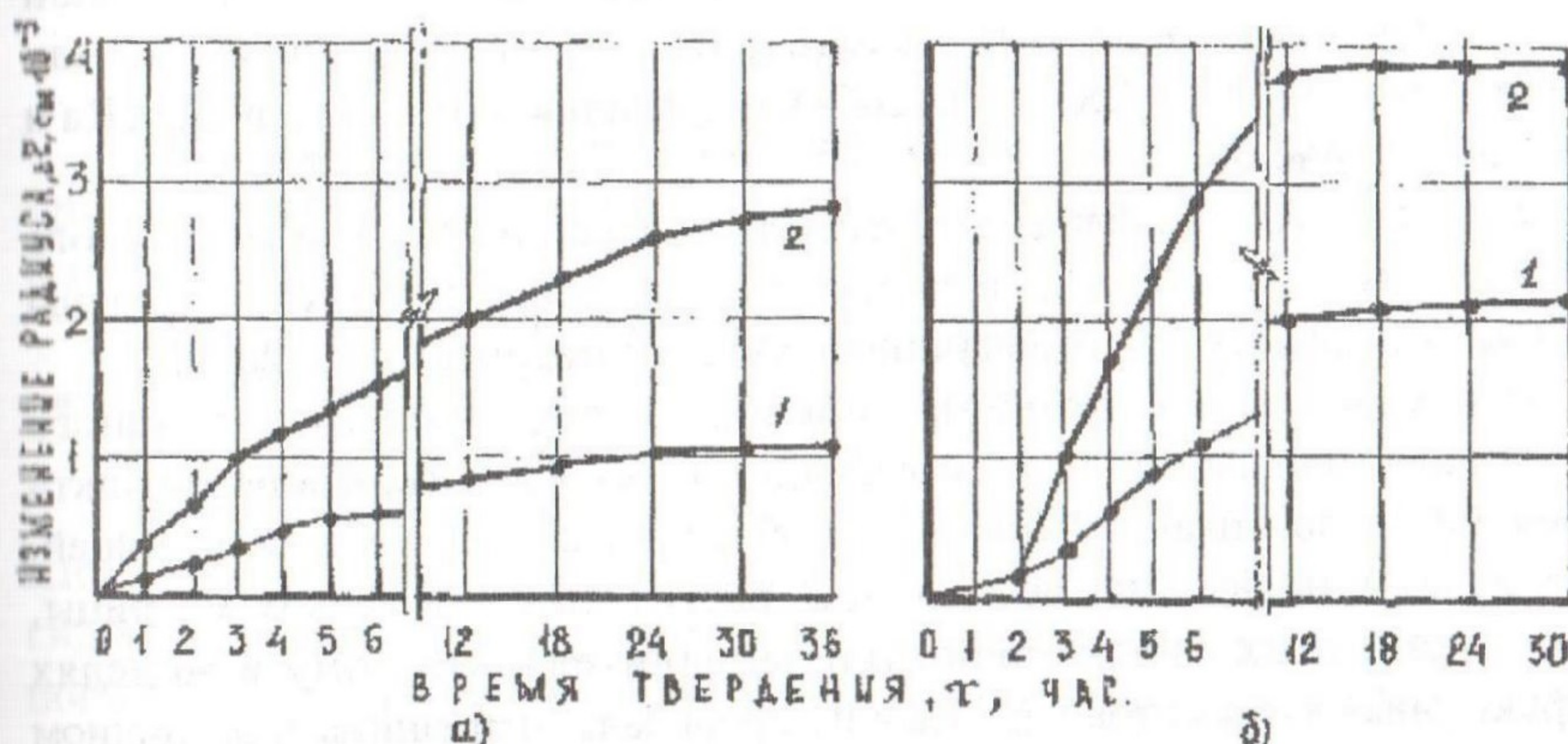


Рис. 1. Влияние количества включений на изменение радиуса заполнителя-датчика при твердении минерального (а) и полимерного (б) вяжущих 1 – $h = 0,2R$, 2 – $h = 0,4R$.

Анализ результатов показал, что в зависимости от расстояния между заполнителями (количества матричного материала) происходит увеличение ВПР (для одного заполнителя), при $h = 0,2R$ в среднем на $\Delta S = 0,025$ см^2 для цементной матрицы, $\Delta S' = 0,075$ см^2 – для полимерной матрицы; при $h = 0,4R$ – $\Delta S = 0,05$ см^2 и $\Delta S' = 0,1$ см^2 соответственно. Приращение

площади ВПР показывает, что объемные изменения твердеющих вяжущих вызывают отслоение матричного материала от поверхности заполнителей, что согласуется с данными, приведенными в [3, 4]. Кроме того, принятая методика проведения экспериментов позволяет оценить интегральную величину S без оценки локальных ее изменений, и применима для случая, когда адгезионная прочность матричного материала к поверхности заполнителей R_a меньше ее когезионной прочности R_k , $R_a < R_k$.

В работах [2, 3] показано, что при нарушении симметрии взаимодействия отдельных точек, лежащих на противоположных границах раздел матричного материала с заполнителями, возникают градиенты деформаций ВПР по величине и направлению, что может быть причиной зарождения трещин в макроструктуре. При этом градиенты деформации зависят от количества и способов укладки заполнителей и определяют формоизменения ВПР для случая $R_a < R_k$. При $R_a > R_k$ изменяется общая картина распределения объемных деформаций твердеющего матричного материала на ВПР, что должно оказать влияние на характер трещинообразования. Опыты, проведенные на плоских моделях структурных ячеек бетонов показали, что характер трещинообразования твердеющей матрицы из цементного теста зависит, при постоянном расстоянии между заполнителями ($h = 0,2R$) от способов их укладки и от соотношения R_a и R_k на ВПР, рис. 2.

При $R_a < R_k$ преобладают трещины на границе раздела матричного материала с заполнителями и радиальные трещины, которые направлены от границы раздела в периферийные участки матрицы, рис. 2а, в.

В случае, если когезионная прочность твердеющего матричного материала меньше его адгезии к заполнителю, $R_a > R_k$, в зоне контакта трещины не возникают. Заполнители обжимаются твердеющей матрицей, что ведет к появлению деформаций растяжения в участках матрицы, равноудаленных от поверхностей заполнителя. Поэтому в моделях структурных ячеек бетона при $R_a > R_k$ преобладают трещины в матричном материале, которые расположены между заполнителями, рис. 2б, г.

Проведенный анализ показал, что одним из параметров макроструктуры бетона является трещина. При этом общая «картина» распределения трещин в макроструктуре зависит от ее геометрических параметров (расстояния и способов укладки заполнителей) и от соотношения величин R_a и R_k . Различный характер трещинообразования должен оказать влияние на условия распределения деформаций между компонентами бетона и, в итоге, на его механические и деформативные характеристики.

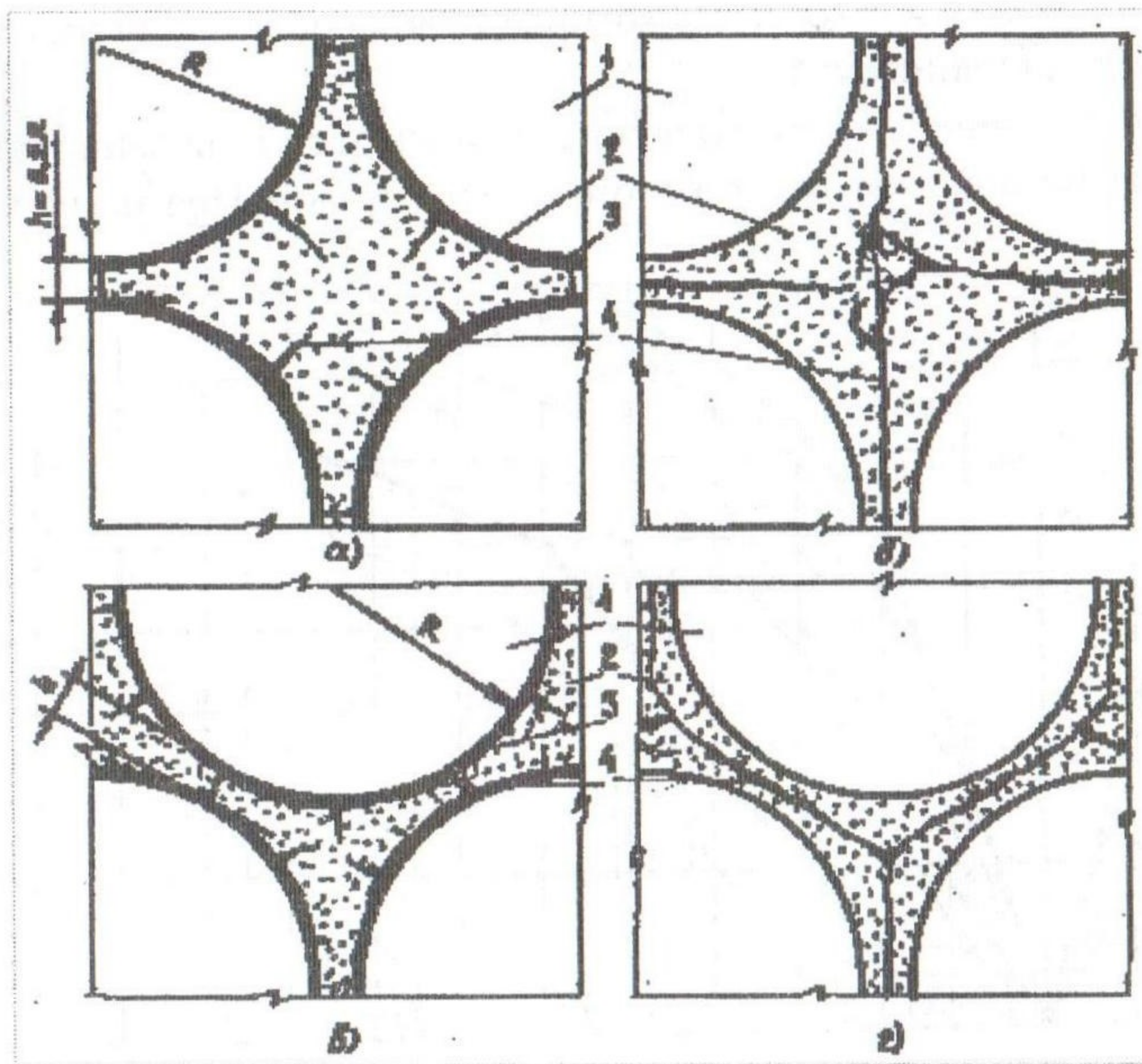


Рис. 2. Характер трещинообразования матричного материала при применении гидрофобизированных (а, в) и обычных (б, г) заполнителей в зависимости от способов их укладки.

1 — заполнители; 2 — матричный материал; 3 — трещины на границе раздела; 4 — трещины в матричном материале.

Одним из эффективных способов изменения гидрофильных свойств минеральных заполнителей является обработка их поверхности гидрофобными ПАВ [5]. При этом снижается смачиваемость, водопоглощение и адгезия растворной части к поверхности заполнителей. Это должно привести к изменению характера трещинообразования макроструктуры и изменению тем самым деформативных характеристик бетонов по сравнению с бетонами на обычном заполнителе.

Для подтверждения этого были приготовлены по шесть образцов-призм размером $10 \times 10 \times 40$ см из тяжелого бетона и керамзитобетона на промытых и высушенных заполнителях и на заполнителях, предварительно обработанных кремнийорганической эмульсией типа ГКЖ-95 5%-й концентрации. Подвижность бетонных смесей была различной, что связано с особенностями поведения гидрофобизированных заполнителей в бетонных смесях. При постоянном коэффициенте уплотнения были

получены бетоны одного состава, которые отличались между собой типом поверхности заполнителей.

На рис. 3. приведены графические зависимости поведения образцов из тяжелого бетона и керамзитобетона под нагрузкой. Прямыми линиями

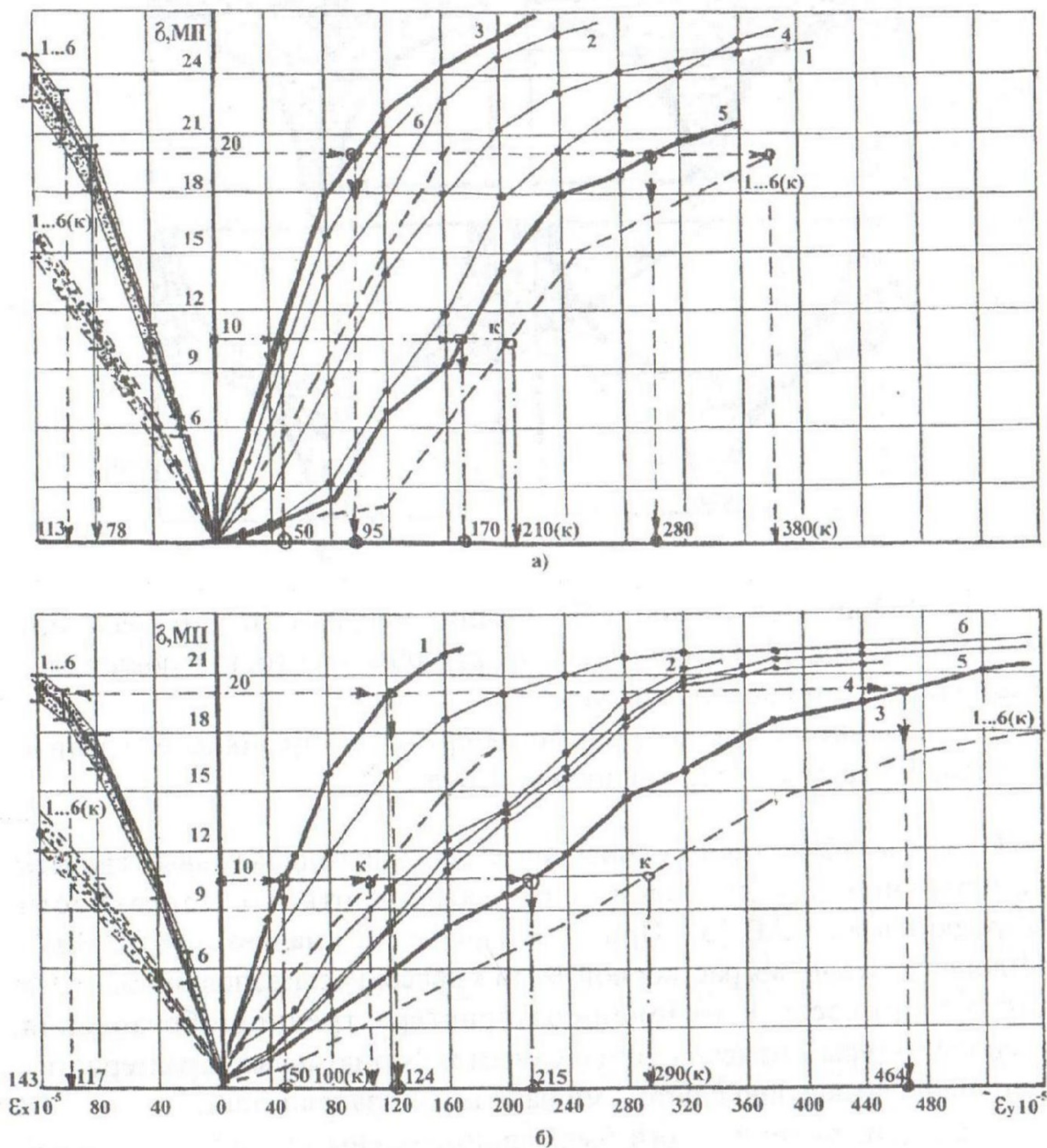


Рис. 3. Характер деформаций бетонов на гидрофобизированных (а) и обычных (б) заполнителях под нагрузкой.

— — тяжелый бетон; - - - - - керамзитобетон.

1...6 — номера образцов из тяжелого бетона; 1...6(к) — номера образцов из керамзитобетона.

показаны деформации всех 6-ти образцов из тяжелого бетона на гидрофобизированном (рис. 3а) и обычном (рис. 3б) заполнителях. Пунктирными линиями показан «коридор» значений деформаций образцов из керамзитобетона.

Различие характера трещинообразования в зависимости от взаимодействия растворной части с заполнителями привело, по нашему мнению, к различным значениям деформаций. При этом обращает на себя внимание значительный разброс деформаций при одной и той же нагрузке, особенно для бетонов на обычном заполнителе (рис. 3б). Применение гидрофобизированных тяжелого и пористого заполнителей, изменяя параметры макроструктуры, снижает разброс значений деформаций в среднем в два раза для тяжелого бетона и в 1,8 раза для керамзитобетона.

Для изучения влияния причин разброса значений деформаций бетонов были определены коэффициенты поврежденности бетона технологическими дефектами. Коэффициент поврежденности K_p определялся как отношение длины трещин L_t на поверхности образца к выделенной площади поверхности S_t на которой они проявились, $K_p = L_t/S_t$, см/см². Технологические трещины на поверхности образца фиксировались по методике, описанной в [2].

Технологические трещины фиксировались на трех гранях каждого из шести образцов серии на площади $S = 100$ см². При этом установлено, что из 18-ти определений K_t отклонения максимальных и минимальных значений не превышали 8,5%. Таким образом, при одинаковой поврежденности разброс результатов должен быть сведен к минимуму внутри серии. Анализ поверхности бетонных образцов, на которые были наклеены тензорезисторы показал, что, даже для образцов одной серии, технологические трещины, пересекающие базу тензодатчика, расположены индивидуально. Примеры ориентирования технологических трещин по отношению к тензодатчику показаны на рис. 4.

Изменение параметров макроструктуры за счет изменения условий взаимодействия твердеющего матричного материала с заполнителями позволяет снизить поврежденность затвердевших бетонов на плотных и пористых заполнителях в среднем в 1,2...1,4 раза, что ведет к повышению их механических и деформативных характеристик. Разброс значений при испытаниях образцов-близнецов может быть связан не столько с характеристиками бетонов в каждом образце, сколько с методикой определения деформаций при помощи тензорезисторов. При передаче нагрузки через поверхности раздела (противоположные берега трещин) и при условии произвольного ориентирования поверхностей раздела, не

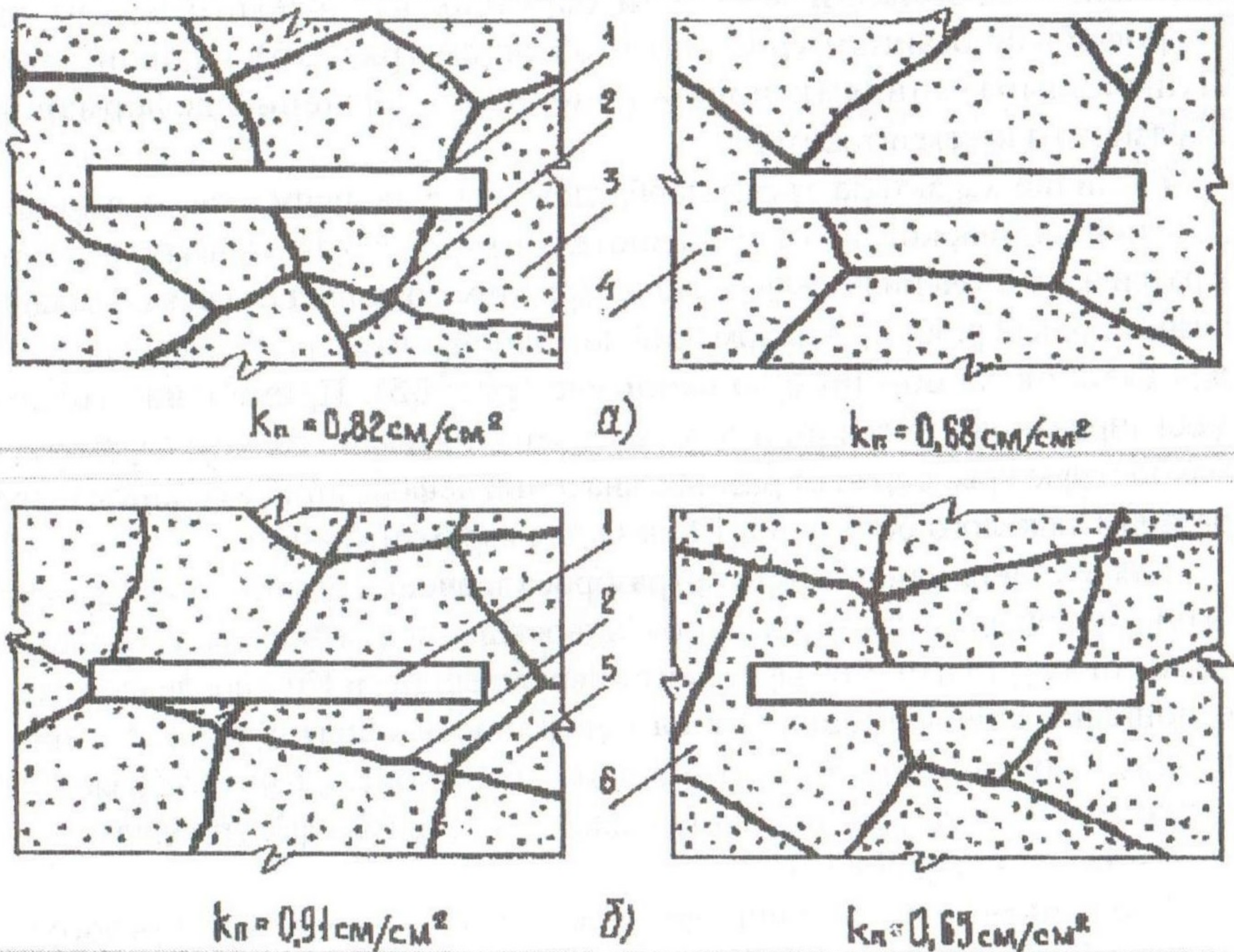


Рис. 4. Распределение технологических трещин в зоне наклейки тензорезисторов в тяжелом бетоне (а) и керамзитобетоне (б)

1 – тензодатчик; 2 – технологические трещины; 3 – образец на обычном заполнителе; 4 – образец на гидрофобизированном гранитном щебне; 5 – образец на обычном керамзитовом гравии; 6 – образец на гидрофобизированном керамзитовом гравии.

исключены ситуации взаимного сдвига или поворота блоков друг относительно друга без их деформирования. Так как эти явления происходят на базе датчика, то он фиксирует в первую очередь изменение ориентирования блоков, а не деформации самих блоков.

Проведенные исследования позволяют заключить, что формирование макроструктуры бетонов, представленной структурной неоднородностью матричный материал – заполнители, осуществляется через взаимодействие материала матрицы с поверхностью заполнителей и зависит от количества и способов укладки заполнителей. В результате такого взаимодействия формируется сеть трещин соизмеримых с размерами структурных неоднородностей. Характер трещинообразования в

значительной степени определяется когезионно-адгезионными силами связи на поверхностях раздела с заполнителями. Образовавшиеся технологические трещины следует считать элементами макроструктуры, от которой зависят деформативные характеристики бетонов на плотных и пористых заполнителях. Технологическую поврежденность следует учитывать при выборе методов определения деформаций бетона под нагрузкой.

Литература

1. Выровой В. Н., Соломатов В. И. Макроструктура бетона как композиционного материала // Сб. Повышение долговечности бетонов транспортных сооружений, выпуск 784, – М.: МИИТ, 1986, – С. 55 – 59.
2. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости // Соломатов В. И., Выровой В. Н., Дорофеев В. С., Сиренко А. В. – К.: Будівельник, 1991. – 144 с.
3. Булатов А. И., Видовский А. Л. Обжатице цементным камнем заполнителей в бетоне // Бетон и железобетон. – 1985. – №3. – С. 24 – 26.
4. Колокольников В. С. Технология бетонных и железобетонных изделий. – М.: Высш. шк., 1970. – 392 с.
5. Кучеренко А. А., Выровой В. Н. Набухание и усадка керамзита в структурообразовании бетона // Будівельні матеріали і конструкції, 1975. – №5. – С. 42 – 43.