

УДК 691.327.3

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ
КЕРАМЗИТОБЕТОНА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

И. И. МЕЛЬЯНЦОВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

При воздействии кратковременных сжимающих напряжений разрушение бетона представляет собой стадийный процесс накопления микродефектов структуры. Физико-механические свойства керамзитобетонов определяют качественные отличия порогов их трещинообразования от аналогичных параметров для бетонов нормального веса.

В механике разрушения конгломератных строительных материалов, основы которой заложены в трудах О. Я. Берга, выделяют два базовых параметрических уровня напряжений, разграничивающих стадии изменения структуры под нагрузкой: нижняя граница микротрещинообразования, соответствующая началу накопления локальных дефектов, и верхняя граница микротрещинообразования, являющаяся границей разрушения структуры бетона, при которой микротрещины объединяются в магистральные сколы.

Для бетонов нормального веса нижний предел микротрещинообразования наступает уже при уровне нагружения $\eta^0_{сгс} = 0,35...0,5$. Это обусловлено различием в значениях модулей упругости цементной матрицы и заполнителя. Согласно теории упругости неоднородных сред, распределение локальных напряжений вблизи жесткого включения порождает высокие касательные напряжения на границе раздела фаз. Как показано в классических работах Ю. М. Баженова, именно эти локальные пики напряжений провоцируют ранний сдвиг структуры в закритическую стадию.

В керамзитобетоне модули деформации компонентов сближены, что обеспечивает упругую изотропность конгломерата. Силовое поле распределяется без пиковых градиентов. Благодаря этому нижняя граница микротрещинообразования наступает при уровне нагружения $\eta^0_{сгс} = 0,55...0,7$. Современные экспериментальные исследования с помощью прецизионного тензометрирования [1] подтверждают, что до этого момента керамзитобетон ведет себя практически как сплошное однородное тело.

Верхняя критическая граница микротрещинообразования керамзитобетона наступает при уровне нагружения $\eta^{\gamma}_{сгс} = 0,8...0,9$. Область закритического деформирования у керамзитобетона предельно сжата, что обуславливает взрывной, хрупкий характер разрушения.

Исходное напряженное состояние бетона формируется еще на этапе гидратации цемента и высыхания. Собственные усадочные деформации в бетоне нормального веса вызывают растягивающие напряжения в матрице, поскольку жесткий гранитный каркас препятствует свободной линейной усадке твердеющего геля. В керамзитобетоне механизм усадки протекает по иному сценарию. Пористые гранулы керамзита обладают высокой начальной

влажностью. При высыхании капиллярных пор цементного камня возникает менисковое разрежение, перекачивающее воду из крупных пор заполнителя в матрицу. В результате минимизируется хемогенная и контракционная усадка раствора на ранних сроках, а сжимаемый пористый заполнитель упруго деформируется синхронно с матрицей, не создавая жесткого отпора. Как следствие, начальные растягивающие макронапряжения в структуре керамзитобетона практически отсутствуют, что отодвигает порог раскрытия силовых трещин при кратковременном сжатии [2].

Главное микроструктурное отличие заключается в физико-химическом строении переходной зоны (ITZ – interfacial transition zone). В бетоне нормального веса на границе с гладким плотным щебнем образуется так называемая «зона отжатия влаги» (водяная пленка), где концентрация гидроксида кальция максимальна, а плотность минимальна. Трещина всегда выбирает путь наименьшего сопротивления, поэтому траектория ее движения огибает зерна щебня, развиваясь исключительно по дефектной контактной зоне.

Керамзитовый гравий обладает шероховатой коркой с открытыми порами. Как было установлено еще Г. А. Бужевичем, цементное тесто частично проникает в открытые поры заполнителя на глубину до нескольких сотен микрометров, создавая механическую анкеровку. По мере гидратации в зоне ITZ формируется плотный сросток гидросиликатов кальция, превосходящий по прочности сам керамзит.

Исследования, выполненные методом акустической эмиссии [3], доказали, что благодаря такой адгезии датчики фиксируют первые микроразрушения структуры значительно позже. Когда внешнее сжимающее напряжение переходит верхнюю границу микротрещинообразования, прочностной ресурс пористого ядра заполнителя исчерпывается. Трещина рассекает зерно керамзита насквозь по кратчайшей траектории. Кинетическая энергия разрушения высвобождается мгновенно, минуя стадию длительного пластического перераспределения усилий. Это визуально подтверждается зеркально гладким сколом керамзитобетонных образцов после испытаний и описывается современными концепциями дисперсного армирования и управления деформативностью [4].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терёхин, А. С.** Анализ прочностных характеристик и границ микротрещинообразования керамзитобетона при сжатии / А. С. Терёхин, Д. В. Кононов // Вестник гражданских инженеров. – 2026. – № 3 (114). – С. 78–86.
2. **Bentz, D. P.** Internal curing with lightweight aggregate: Requesting mechanism and efficiency / D. P. Bentz, W. J. Weiss // NIST Interagency Report. – 2011. – Vol. 7821. – P. 45–52.
3. **Zhang, L.** Experimental study on the interfacial transition zone (ITZ) and acoustic emission characteristics of lightweight aggregate concrete under compression / L. Zhang, Y. Wang, X. Liu // Construction and Building Materials. – 2024. – Vol. 411. – Art. 134211.
4. **Пухаренко, Ю. В.** Деформативность дисперсно-армированного керамзитобетона под нагрузкой / Ю. В. Пухаренко, Д. А. Пантелеев, М. И. Жаворонков // Строительство и реконструкция. – 2025. – № 3 (119). – С. 120–128.