

ОБ УЧЕТЕ ПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЙ ЧЕРЕЗ ТРЕЩИНЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Ашрабов А. А., Мирмухаммедов М.М. (ТИПСЭАД), Сагатов Б.У. (ТАСИ)

Качественное изменение напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов после образования трещин связано со значительной анизотропией свойств материала, проявлением нелинейных деформаций, а также влиянием целого ряда малоизученных особенностей совместной работы бетона и арматуры. Наибольшую неопределенность эти факторы вносят при расчетах железобетонных конструкций, имеющих сложный физический механизм разрушения, как, например, это имеет место при сдвиге или поперечном изгибе. Для учета нелинейных свойств железобетона, помимо более точной оценки его фундаментальных свойств, необходимо уделить внимание созданию моделей и методов расчета железобетона, отражающих действительный характер их поведения под нагрузкой и физическую суть возникающих при этом проблем.

Высказанные соображения указывают на чрезвычайную важность исследований механизма передачи напряжений через трещины в железобетонных элементах. Такие исследования требуют изучения различных механических и геометрических параметров, в связи с чем разработка соответствующих математических моделей должна опираться на адекватные экспериментальные данные. В первую очередь это касается исследования механизма и особенностей передачи сдвиговых напряжений через трещину в процессе контактного взаимодействия ее берегов. Важным шагом вперед в этом направлении явилась теория деформирования железобетона с трещинами, разработанная в [1]. В ней железобетон рассматривается как физически нелинейный анизотропный материал, а полученные на ее основе зависимости и программы расчета на ЭВМ подтверждены экспериментально и распространены в практике проектирования. Если при сжатии и растяжении механизм передачи напряжений через трещины нашел достаточное экспериментально-теоретическое обоснование, то при срезе он исследован явно недостаточно. Здесь речь идет о новых факторах, проявляющихся в трещинах при взаимном сдвиге их берегов: касательных сил зацепления и нагельного действия арматурных стержней. Трещины в бетоне, развиваясь, проходят сквозь цементный камень, зерна заполнителя и контактную зону, образуя две взаимодействующие шероховатые поверхности сложной геометрии (рис 1а). Они и обеспечивают передачу сдвигающих напряжений через трещины путем механического зацепления и трения. Исследования показали [2], что предположение о полном сдерживании касательных смещений в трещинах при таком зацеплении не соответствует действительности. Более того, касательные смещения могут служить более точным показателем наличия сдвиговых напряжений в трещинах, чем ширина раскрытия трещины. Нагельное действие арматуры проявляется в местном изгибе, срезе и перегибе стержней, пересекающих трещину (рис 1б).

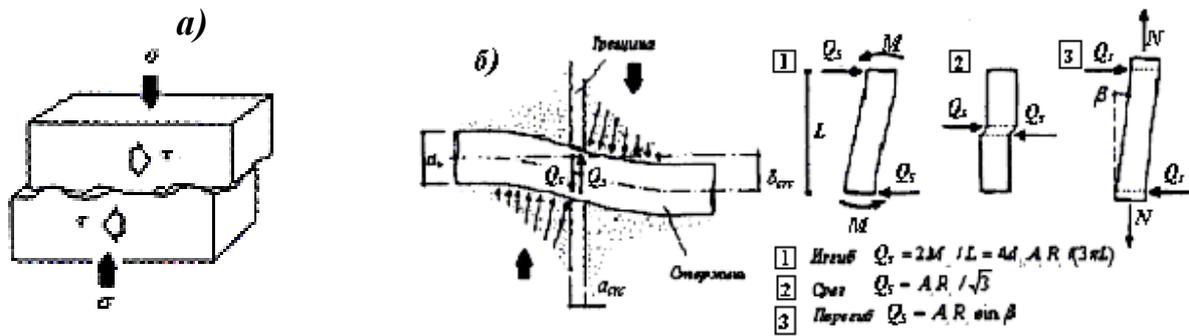


Рис. 1. Механизмы зацепления берегов в трещине (а) и нагельного действия арматуры (б)

Некоторая недооценка роли касательных сил зацепления в трещинах при проектировании железобетонных конструкций с относительно дисперсным армированием, характерным для оболочек, коробчатых балок и плит, подпорных стен, балок-стенок, сосудов давления и т.д., базируется на распространенном мнении, что трение в трещине является величиной переменной и им можно пренебречь в запас прочности. Однако последние исследования [1,2] выявили ошибочность такого аргумента. Дело в том, что при взаимном тангенциальном смещении δ_{crc} берегов трещины происходит её нормальное раскрытие a_{crc} (дилатансию) вследствие взаимного зацепления шероховатостей на поверхностях трещины (рис. 2а). Поэтому ширина её раскрытия в стадии эксплуатации может оказаться значительно большей, чем предполагается расчетом по действующим нормам. Типичные результаты испытаний армированных образцов-дисков на сдвиг (рис. 2б) показали, что в арматурных стержнях.

Выявление моделей проявления сил зацепления в трещине при сдвиге для прогнозирования жесткости и предельного сопротивления механизма контактного взаимодействия в трещинах требует специальных исследований. Дело в том, что при взаимном тангенциальном смещении δ_{crc} берегов трещины происходит её нормальное раскрытие a_{crc} (дилатансию) вследствие взаимного зацепления шероховатостей на поверхностях трещины.

Типичные результаты испытаний армированных образцов-дисков на сдвиг показали, что в арматурных стержнях, пересекающих такую трещину, могут возникнуть значительные дополнительные напряжения. При практическом использовании моделей механизма зацепления необходимо знание зависимостей $\tau_{crc} = f(\delta_{crc}, a_{crc})$ и $\sigma_{crc} = f(\delta_{crc}, a_{crc})$ для четырех переменных: касательных и нормальных напряжений (τ_{crc} , σ_{crc}) и соответствующих им смещений (δ_{crc} , a_{crc}). Такая зависимость будет отражать одно из фундаментальных физико-механических свойств железобетона как трещиноватого материала, определяющих его поведение под нагрузкой. Это делает её наиболее удобным инструментом в реализации концепции «размазанных» трещин при расчетах железобетонных конструкций численными методами.

В проведенных исследованиях механизма передачи напряжений через трещины [2] опытные образцы-диски с инициированной трещиной

изготавливались из легкого, тяжелого и высокопрочного бетона и испытывались на сдвиг по схеме на рис. 2б. К первой серии относились образцы без поперечного армирования со свободным нормальным смещением берегов трещины. Вторая серия образцов испытывалась при фиксированных значениях начальной ширины трещины, которая регулировалась винтами на стальных тросах с контролируемым нормальным растягивающим напряжением. Третья серия образцов армировалась стержнями класса А-I, А-III и А-IV. По каждой серии образцов получено семейство опытных кривых $\tau_{crc} = f(\delta_{cgc}, a_{cgc})$ и $\sigma_{cgc} = f(\delta_{cgc}, a_{cgc})$ с учетом влияния вида и прочности бетона, ширины раскрытия трещины, величины σ_{crc} и процента поперечного армирования (рис. 2в).

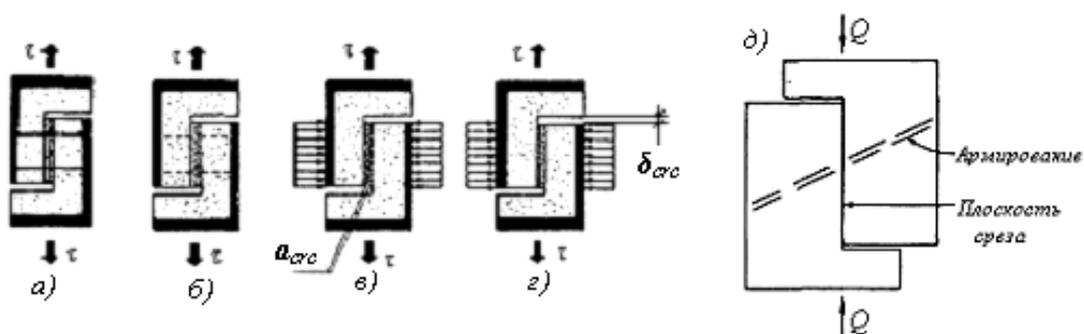


Рис. 3. Схемы испытаний при исследовании касательных сил зацепления (а-г)

Результаты испытаний показали, что вид бетона влияет как на предельное сопротивление сдвигу, так и на деформационное поведение образцов. Несмотря на различное поведение под нагрузкой, для каждого вида бетона характерен свой предел сдвиговой прочности, который у керамзитобетона оказался значительно ниже, чем у тяжёлого, даже при значительно меньшей ширине раскрытия трещины. При большом раскрытии трещин в образцах с большим количеством арматурных стержней в этих сечениях наблюдалась меньшая сдвиговая жёсткость. Средняя ширина раскрытия трещины в керамзитобетонных образцах второй серии оказалась почти одинаковой, но несмотря на то, что величина a имеет разброс в 55%, жёсткость образцов оказалась почти одинаковой.

Литература:

1. Ашрабов А. А. Лёгкий бетон и железобетон для индустриального строительства. Таш-кент. "Фан", 1988.
2. Ашрабов А. А. Оценка напряжений, передаваемых через трещины и стыки в железо-бетонных элементах. Научно-техн. журнал СамГАСИ «Проблемы архитектуры и строительства», №3, 2007.
3. Committee Euro-International du Beton. (1990). CEB – FIP Model Code 1990, CEB, Paris, Sept. 1990, Bulletin d'Information 195.