

УДК 666.974.

**М. В. Драпалюк**, к.т.н., доц., доцент  
кафедры строительных конструкций  
Одесская государственная академия  
строительства и архитектуры,  
г. Одесса, Украина

## **ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАНИЯ БЕТОНОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СБОРНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

При традиционной технологии формования сборных бетонных и железобетонных изделий из водозатворенных смесей используют химические добавки [1], а также предварительный разогрев смеси, позволяющие сократить индукционный период формирования структуры цементного геля, ускорить твердение бетона, снизить энергоемкость производства. При этом наибольший эффект достигается в бетонах с низким начальным водосодержанием. Реализация совокупного воздействия на бетон предварительного разогрева и введения ускорителей твердения при обычной технологии связана с большими трудностями, так как при этом резко снижается удобоукладываемость смеси, и, как следствие, возрастает пористость, а вместе с ней уменьшается прочность и долговечность бетона.

Целью исследований является повышение прочности и долговечности бетонных и железобетонных конструкций управляя структурой бетона.

При сухом формовании бетона фактор удобоукладываемости смеси в привычном понимании этого термина отсутствует, в связи с чем ускоренное схватывание цементного геля под воздействием повышенной температуры и химических добавок не оказывает отрицательного влияния на его формовочные свойства, оно благоприятствует развитию твердения и упрочнения цементного камня и бетона.

Основным механизмом, устанавливающим распространение трещин в бетоне на плотном заполнителе, является нарушение сцепления на поверхности раздела «цементный камень – заполнитель». Эти предположения подтвердились многочисленными исследованиями поверхности раздела. Эта область обычно слабее растворной части и является местом возникновения микротрещин в результате водоотделения и усадки. Поверхность раздела «цементный камень – заполнитель» способна блокировать развивающуюся трещину только в том случае, когда имеется достаточное сцепление заполнителя с цементным камнем. При низкой прочности сцепления, а также при нарушенном сцеплении указанная поверхность является зоной, где появляются и откуда развиваются трещины, нарушающие сцепление заполнителя с цементным камнем и определяющие характер общего разрушения бетона.

Слабость контактного слоя определяется седиментационными процессами в свежееуложенном бетоне и развитием в нем усадочных трещин при твердении. Сначала в результате внутреннего водоотделения вода скапливается под зернами заполнителя, в результате чего образуются пустоты, частично или полностью заполненные водой. В процессе твердения бетона дефектность контактного слоя усиливается за счет возникновения усадочных напряжений и, как следствие этого, образования и развития трещин усадочной природы, локализованных, в основном, на границах раздела фаз с различными жесткостями [2].

В тоже время дефекты в цементном камне и зернах заполнителя могут во-первых, служить причиной концентрации напряжений и способствовать возникновению трещин; во-вторых, могут приостанавливать их распространение. Было замечено, что при сжатии поры в бетоне препятствуют распространению трещин в большей степени, чем при растяжении.

Для изучения распределений внутренних напряжений усадочной природы в структуре бетона принята плоская (двумерная) модель (рис. 1). Круглые включения из затвердевшего чистого эпоксидного полимера расположены по квадратной сетке и помещены в матрицу из пластифицированной эпоксидной смолы. Модули упругости включения и матрицы выбраны таким образом, чтобы их

отношение приблизительно равнялось отношению модулей упругости заполнителя и цементной матрицы.

Растягивающие напряжения, развивающиеся на поверхности раздела между заполнителем и цементной матрицей, вызывают развитие микротрещин на этой поверхности еще до приложения внешней нагрузки (см. рис. 1).

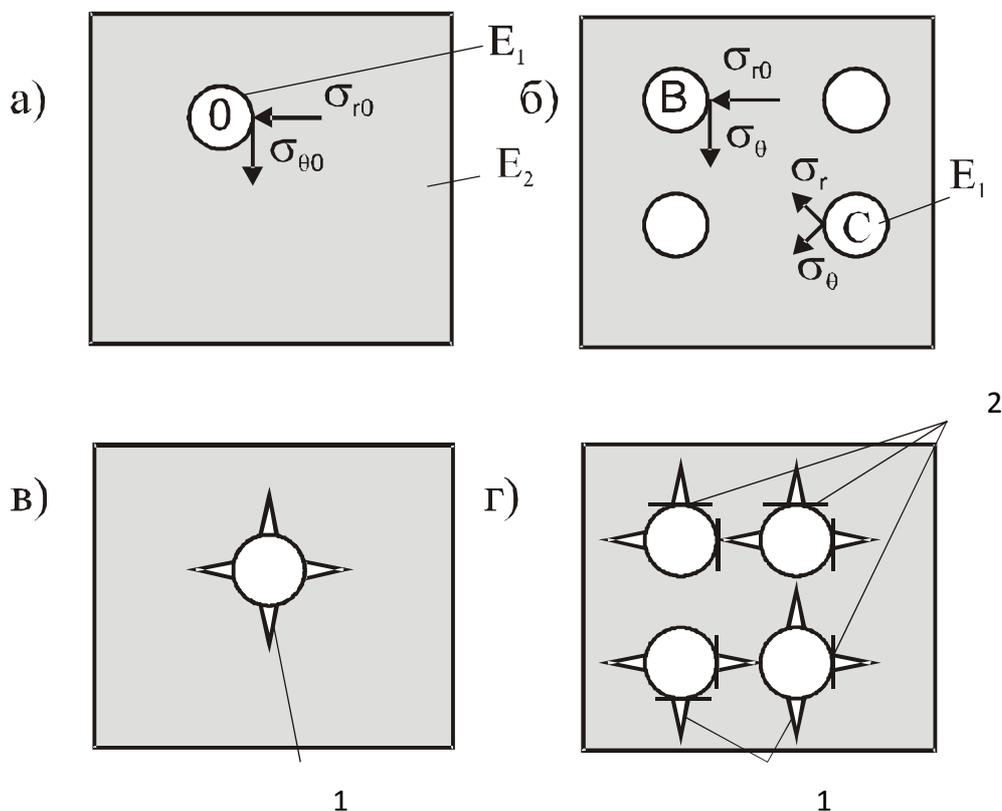


Рис. 1. Характер напряженного состояния, возникающего вследствие усадки матрицы в точках О, В, С структурных ячеек, содержащих одиночное включение (а) и поле взаимодействующих включений (б); картины трещин от усадочных напряжений в соответствующих структурных ячейках (в, г):

1- радиальные трещины в цементной матрице; 2- трещины отрыва.

Максимальные же растягивающие напряжения на поверхности раздела действуют по диагональной межцентровой линии, распространяются по всей этой поверхности и определяют появление здесь связанных трещин сцепления вдоль всей поверхности раздела.

При действии на бетон внешней нагрузки равномерно распределенные в нем воздушные поры и включения с низкой жесткостью способны тормозить развитие трещин и перераспределять локальные напряжения в структуре бе-

тона среди ее элементов с различной упругостью, что показано П.Г. Комоховым [3] с использованием энергетического механизма разрушения. Характерно, что для бетонов с высоким насыщением маложесткими компонентами прочность контактной зоны довольно велика, а начальные дефекты контактной зоны практически отсутствуют. Поэтому, по мнению [3], основную роль в процессе разрушения такого бетона играют начальные трещины в песчано-цементной матрице и в крупном заполнителе. Дальнейшее развитие начальных трещин будет проходить по-разному. Как известно, трещины имеют тенденцию легко проникать из более жесткого материала в менее жесткий, а обратное явление затруднено. Поэтому трещины, развивающиеся в менее жестком материале, будут остановлены на границе с матрицей и не сыграют решающей роли в разрушении бетона. Наоборот, трещины, развивающиеся в более жесткой матрице, будут сравнительно легко проникать в заполнитель, т.е. они будут играть основную роль в разрушении бетона. Отсюда, если жесткость (модуль упругости) включения будет больше или равна жесткости цементной матрицы, то начальные трещины будут развиваться по цементной матрице, поскольку включение в этом случае воспринимает часть внешней нагрузки. В случае, когда модуль упругости включения будет меньше, чем у цементной матрицы, рост трещин будет происходить в направлении слабонапряженной области, т.е. в направлении маложесткого включения. И чем "слабее" включение, тем интенсивнее протекает этот процесс.

При одноосном и трехосном сжатии обычного бетона начальные трещины образуются преимущественно под зернами крупного заполнителя еще до нагружения. Это ослабляет контактный слой, нарушает монолитность, снижает однородность и прочность бетона в целом.

Механизм торможения процессов разрушения бетона определяется присутствием в нем «слабых» упруго-вязких и слоистых включений, снижающих локальные напряжения и гасящих энергию роста трещин. К подобным слоистым включениям относятся гидросиликаты и гидроксид кальция, а также добавки полимеров и вспученного вермикулита, названные «демпфирующими». Кроме

того, вязкими катализаторами хрупкого разрушения бетона являются замкнутые воздушные поры, которые, с одной стороны, снижают эффективное сечение материала, с другой - способны перераспределить локальные напряжения в бетоне среди его компонентов с различной упругостью.

Отличительными признаками демпфирующих добавок являются их пониженные жесткостные характеристики, определяемые высокой пористостью материала. Введение в бетон таких добавок, снижающих концентрацию напряжений на границе раздела фаз с различными упругими характеристиками, существенно уменьшает размах колебаний и пределы изменений максимальной и минимальной деформации и напряжений в процессе разрушения бетона.

Механизм действия демпфирующих добавок состоит в том, что на пути растущей трещины возникает энергетический гаситель в виде микровключения. Такое включение не способно отдавать полученную энергию, затраченную на его деформирование. Тем самым уменьшается энергия роста трещины и релаксируются напряжения в ее вершине. Наличие в структуре бетона упруго-вязких включений - низко модульных добавок демпфирующего действия как релаксаторов внутренних напряжений и энергетических гасителей трещин - обеспечивает повышение прочности, трещиностойкости и морозостойкости бетона.

Подытожить сказанное можно словами А.А. Гвоздева [4], который отметил, что «неоднородность бетона, порождая возникновение микротрещин, задерживает их перерождение в опасные макротрещины, а наличие концентраторов напряжений в самой структуре материала делает его малочувствительным как к внешним концентраторам, так и ко вновь возникшим внутренним».

Таким образом, можно констатировать, что минеральные добавки различной природы независимо от степени гидравлической активности оптимизируют деформативные свойства цементного камня и бетона при практически постоянной прочности при сжатии. По-видимому, это происходит благодаря пониженной жесткости минеральных добавок.

Исследования добавки вспученного вермикулита фракции 0,3...0,6 мм в количестве до 4 % от массы цемента показали, что прочность бетона с такой до-

бавкой на 20...30% выше, предел выносливости на 35%, морозостойкость почти в 2 раза выше по сравнению с мелкозернистым бетоном без вермикулита. Эта добавка по своему назначению выполняет в бетоне роль замкнутых воздушных пор, эффективность действия которых обуславливается рассмотренными выше теоретическими положениями о способности «слабой» поверхности энергетически гасить рост хрупкой трещины.

Выводы. Исходя из общих принципов регулирования структурно-механической неоднородности цементной матрицы бетона, положительное влияние демпфирующих компонентов на структуру бетона и его физико-механические характеристики определяется тремя факторами: на стадии структурообразования - снижением усадочных напряжений, в т.ч. наиболее опасных напряжений отрыва на границе «заполнитель - цементная матрица» и растягивающих напряжений в цементной матрице; при нагружении, замораживании и оттаивании - выравниванием напряжений в структуре бетона и перераспределением их среди составляющих бетона с различным модулем упругости; торможением роста и гашением трещин. Установлено также, что снижение модуля упругости заполнителя должно находиться в рамках модуля упругости цементной матрицы, так как значительное снижение жесткости заполнителя приведет к перегрузке цементной составляющей и потере прочности при сжатии бетона.

#### Литература:

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. / Ахвердов И.Н. - М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Соломатов В.И. Интенсивная технология бетонов / Соломатов В.И., Тахиров М.К., Тахер Шах Мд. – М.: Стройиздат, 1989. – 264 с.
3. Комохов П.Г. Технологические свойства бетонной смеси с пластификатором Л-1 / Комохов П.Г., Сычев М.М., Курашев М.И. Современная технология производства работ в строительстве. Материалы семинара. - Л. - 1983. - С. 33-37.
4. А.А. Гвоздев Прочность, структурные изменения и деформации бетона / А.А. Гвоздев // НИИЖБ Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1987. - 299 с.