



УДК 691.328:620.193

В.С. Изотов

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОНОВ НА СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ

Долговечность цементных бетонов является важнейшей эксплуатационной характеристикой, определяющей экономическую эффективность применения бетонных изделий и железобетонных конструкций в различных отраслях народного хозяйства. Действию агрессивных сред подвергаются более 20% строительных конструкций зданий и сооружений. Поэтому важнейшей задачей является использование резервов повышения коррозионной стойкости строительных материалов и изделий. Использование смешанных вяжущих, полученных на основе цеолитсодержащих пород (ЦСП) и зол гидроудаления [1], открывает новые возможности и в этой области.

Наряду с воздействием агрессивных сред, бетон на смешанных вяжущих может подвергаться воздействию и других эксплуатационных факторов, например, переменному увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию. Кроме того, при использовании бетонов на смешанных вяжущих могут применяться различного рода химические добавки, оказывающие активное влияние на микро- и макроструктуру цементного камня. Поэтому для получения гарантированной долговечности бетонов на смешанных вяжущих необходимо проведение комплекса исследований поведения бетонов на этом виде вяжущего при воздействии на него перечисленных выше эксплуатационных факторов.

Результаты ранее выполненных исследований влияния состава смешанного вяжущего на сульфато- и щелочестойкость, усадку и набухание, трещиностойкость и морозостойкость, стойкость против высолообразования растворов и бетонов на этих видах вяжущих, а также их защитные свойства по отношению к стальной арматуре позволили установить, что указанные выше свойства находятся в тесной взаимосвязи с составом смешанного вяжущего и с микро- и макроструктурой бетона [1,8].

Особенностью структуры бетона является ее высокая неоднородность, определяемая тремя факторами: пористостью цементного камня, значительным различием составляющих бетона по упругим и прочностным характеристикам, наконец, дефектностью структуры бетона на всех ее уровнях.

В зависимости от размеров, в цементном камне выделяют три группы пор: поры геля, капиллярные поры и макропоры. Поры геля имеют средний размер $15-30 \times 10^{-4}$ мкм и составляют, по Пауэрсу, около 28% от его объема [5-7].

Капиллярная составляющая пор характеризуется спектром пор от сотых долей до несколько микрон и изменяется в пределах от 10 до 40 % и более. Меньшее значение пористости соответствует цементному камню нормального твердения в возрасте 28 суток при В/Ц около 0,2, большее значение - при В/Ц около 0,8. В этом интервале В/Ц прочность цементного камня изменяется в пределах одного порядка: на сжатие приблизительно от 100 до 15 МПа.

Макропоры в цементном камне - это поры с размерами до 10^{-4} мкм. Несмотря на незначительное содержание их в цементном камне и бетоне (всего несколько %), они отрицательно влияют на прочность бетона.

На рис. приведены дифференциальные кривые распределения пор в растворной части пропаренного бетона на смешанных вяжущих, содержащих в своем составе 30% АМД. Анализ полученных данных показывает, что поровая структура растворной части бетона на смешанном вяжущем более однородна, отличается меньшим объемом макро- и большим объемом микропор, чем структура раствора на портландцементе.

Дифференциальные кривые распределения пор в растворной части пропаренного бетона

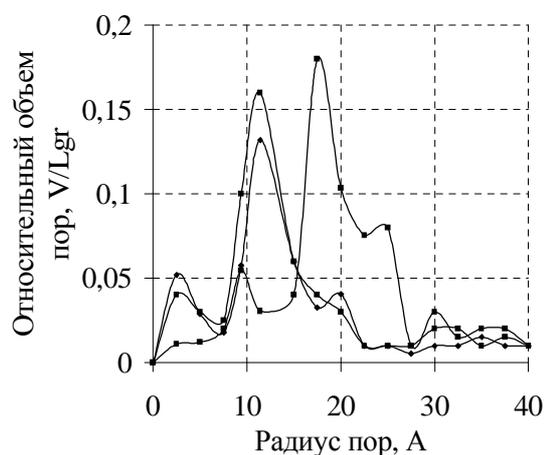


Рис.

1-исходный портландцемент; 2-смешанное вяжущее, содержащее 30% золы; 3- то же, 30% ЦСП



Значительное различие цементного камня и заполнителя в бетоне по прочностным и упругим характеристикам определяется тем обстоятельством, что плотные заполнители, в том числе и кварцевый песок, не обладают идеальной совместимостью с цементным камнем, имеющим модуль упругости $0,8-2,0 \times 10^{-4}$ МПа, в силу своей высокой жесткости (модуль упругости до 10^5 МПа), приводящей к значительным усадочным напряжениям при твердении.

Дефектность структуры бетона складывается из дефектности цементного камня, определяемой размерностью кристаллов и контактов в кристаллогидратном сростке, микротрещинами термической и усадочной природы, а также несовершенством контактного слоя между цементным камнем и заполнителем. Кристаллогидратный сросток представляет собой хаотически ориентированную, статически неопределимую структуру, состоящую из неравнопрочных и разномерных кристаллов, сросшихся в местах контактов, в которых уже на стадии гидратационного твердения возможны деструктивные процессы, обусловленные усадочными напряжениями. Как показали результаты ранее выполненных исследований [1,8,10], в процессе гидратации смешанных вяжущих оптимальных составов образуется повышенное количество низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, кристаллизующихся в высокодисперсном виде. В результате образуется специфическая структура, отличающаяся тем, что низкоосновные гидросиликаты кристаллизуются не только в порах цементного камня, но и на поверхности заполнителя, способствуя образованию плотного и более однородного контактного слоя на границе раздела цементный камень - заполнитель.

При твердении бетонов на портландцементе возникающие внутренние напряжения снижают предельную растяжимость цементного камня и приводят к образованию трещин при меньших уровнях и меньшем количестве циклов знакопеременных нагрузок. Это обусловлено слабостью контактного слоя в результате проявления седиментационных процессов в свежееуложенной бетонной смеси и развитием в бетоне усадочных трещин при последующем твердении. При использовании в бетонах смешанных вяжущих оптимального состава, ввиду наличия высокоразвитой поверхности активных минеральных добавок, седиментационные явления в свежееуложенной бетонной смеси сводятся к минимуму, что приводит к повышению прочности и однородности контактного слоя.

По данным [5-7], микротрещины в бетоне на портландцементе существуют и до приложения механических нагрузок. В зависимости от локализации различают три разновидности начальных трещин: в контактном слое (трещины сцепления, составляющие 60-70% общего количества трещин в бетоне), в

цементном камне и в заполнителе. Инициаторами трещинообразования в бетоне, по мнению этих авторов, являются трещины, сконцентрированные на поверхности раздела "крупный заполнитель – цементнопесчаный раствор". При этом начальные трещины под действием как одноосного, так и трехосного сжатия образуются, преимущественно, под частицами крупного заполнителя еще до нагружения. Все это ослабляет контактный слой, нарушает монолитность, снижает однородность и прочность бетона, а в конечном итоге – его долговечность.

Таким образом, следует, что причины, определяющие неоднородность и дефектность самого цементного камня и его контакта с заполнителями, одни и те же. Это наличие в цементном камне и контактном слое пор, пустот и начальных трещин усадочной природы. Все перечисленные причины оказывают влияние не только на прочность бетона, но и на его долговечность.

Установлено [7], основным механизмом, останавливающим распространение трещин в бетоне на плотных заполнителях, является нарушение сцепления на поверхности раздела "цементный камень – заполнитель". Эта область, как правило, слабее растворной части и является местом возникновения микротрещин в результате водоотделения и усадки. Кроме того, в зоне контакта обнаружено наличие мест с высокой концентрацией напряжений, обуславливающих развитие начальных микротрещин в магистральные трещины отрыва. Из этого следует, что поверхность раздела "цементный камень – заполнитель" способна блокировать развивающую трещину только в том случае, когда имеется достаточное сцепление заполнителя с цементным камнем. При низком, а также при нарушенном сцеплении поверхность раздела является зоной, где появляются и откуда развиваются трещины, нарушающие дальнейшее сцепление заполнителя с цементным камнем и определяющие характер общего разрушения бетона. Оптический и электронно-микроскопический анализ микрофотографий среза зерен заполнителя в цементном камне показывает, что зерна заполнителя в камне на смешанном вяжущем имеют плотный контакт с цементным камнем, гелевидная гидросиликатная оболочка однородная, какие-либо трещины отсутствуют.

Электронные спектры распределения основных элементов, полученных путем сканирования электронным лучом перпендикулярно плоскости среза, свидетельствуют, что гидросиликатная оболочка вокруг зерна заполнителя в камне на портландцементе существенно отличается как по размеру, так и по элементному составу по сравнению с гидросиликатной оболочкой вокруг аналогичного зерна в камне на смешанном вяжущем. Количественное распределение основных элементов в гидросиликатной оболочке, а также ее толщина показывают, что гидросиликатная



оболочка вокруг зерна заполнителя в портландцементном камне характеризуется большой неоднородностью распределения по толщине оболочки элементов натрия, алюминия, калия и кальция, следовательно, данная оболочка неоднородна и по составу слагающих ее минералов. Толщина этой оболочки в пропаренном образце в возрасте 30 суток последующего твердения во влажных условиях находится в пределах 0,7-1,15 мм. В результате развития диффузионных процессов в этой оболочке четко видны трещины на границе, отделяющей оболочку, как от зерна заполнителя, так и от цементного камня. Развитие диффузионного давления в оболочке приводит также и к образованию трещины в цементном камне. Распределение основных элементов в плоскости среза образца заполнителя в цементном камне на смешанном вяжущем свидетельствует, что гидросиликатная оболочка вокруг зерна заполнителя имеет четкую границу только с цементным камнем. Граница с заполнителем размыта и визуально прослеживается с трудом. По данным спектрального анализа, в гидросиликатной оболочке можно выделить зону, отличающуюся по составу элементов от основной массы оболочки. Толщина этой зоны в возрасте 180 суток нормального твердения находится в пределах 0,5-0,78 мм, что примерно в 1,5 раза меньше, чем в случае применения портландцемента.

Поскольку контактный слой наиболее слабое и дефектное место в структуре бетона, то следует предпринять меры для повышения его однородности, его усиления. Такой мерой, по нашим данным, может служить создание условий возникновения на границе раздела низкоосновных гидросиликатов, обладающих высокой степенью дисперсности, а следовательно, и большим числом контактов друг с другом. Это возможно за счет использования смешанного вяжущего, гидратация которого создает благоприятные условия для формирования низкоосновных гидросиликатов кальция в матрице - в цементном камне (растворе). С другой стороны, важно создать условия кристаллизации низкоосновных гидросиликатов на поверхности крупного заполнителя как на подложке. Для этого необходимо создать условия, в которых в начальный период гидратации поддерживается пониженное значение рН среды, как одно из необходимых условий кристаллизации низкоосновных гидросиликатов кальция. Это условие обеспечивается введением в состав вяжущего АМД, обладающих высокой адсорбционной и химической активностью по отношению к $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в результате на границе раздела фаз обеспечивается пониженное значение рН среды, в которой формируются низкоосновные гидросиликаты кальция [8], которые, как известно, отличаются повышенной прочностью

и стойкостью в агрессивных средах. Кроме того, П.Г. Комохов считает, что частицы АМД в составе смешанного вяжущего играют роль демпфера, понижая концентрацию напряжений на границе раздела фаз [9]. Исходя из этого представления, важно найти приемлемые технологические приемы, позволяющие гасить внутренние напряжения, прежде всего в контактном слое, то есть на границе раздела фаз. Одним из таких приемов, по нашему мнению, может служить слой на границе раздела с демпфирующими свойствами, т.е. более податливый, способный гасить внутренние напряжения и процесс образования трещин, а в целом – структуру бетона, способную активно сопротивляться различным внешним воздействиям, среди которых большое значение имеет воздействие знакопеременных температур. Такой слой должен состоять преимущественно из гелевидной-субмикроструктурной фазы, отличающейся от крупнокристаллических новообразований более высокой деформативностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изотов В.С. Формирование структуры и свойств бетонов на активированных смешанных вяжущих // Материалы академических чтений РААСН. Часть 1. Новые научные направления строительного материаловедения. Белгород, 2005. - С.185-196.
2. Сегалова Е.Е., Ребиндер П.А. Возникновение кристаллизационных структур твердения и условия развития их прочности. // Вкн.: Новое в химии и технологии цемента. М.: Госстройиздат, 1962. - С. 202-213.
3. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. М.: Стройиздат, 1972. - 351 с.
4. Торопов Н.А. Химия цементов. М.: Промстройиздат, 1956. - С. 24.
5. Десов А.Е., Красильников К.Г., Цилосани З.Н. Некоторые вопросы теории усадки бетона. // Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. - С. 25-255.
6. Александровский С.В. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. - 206 с.
7. Горчаков Г.И. Состав, структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1976. - С.97-113.
8. Изотов В.С., Морозова Н.Н. Коррозионная стойкость бетонов на смешанном вяжущем // Известия вузов. Строительство. -1997. - № 12. - С.50-52.
9. Комохов П.Г. Механо-технологические основы торможения процесса разрушения бетонов ускоренного твердения: Дисс. докт. техн. наук. - Л.: ЛИСИ, 1979. - 356 с.
10. Изотов В.С., Морозова Н.Н. Смешанное вяжущее для бетонов, твердеющих при пропаривании // Строительные материалы, № 12, 1998, с.19-20.