

УДК: 666.97.035:69.022:691.327.-412

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБОНИЗОВАННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА

Гара А.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Разработаны параметры технологии керамзитобетонных изделий с применением карбонизационного твердения, позволяющие максимально интенсифицировать процесс карбонизации путем снижения общего водосодержания системы, применения бетонных смесей оптимальной структуры и рецептуры, обработки изделий в среде углекислого газа по оптимальным режимам.

При разработке ресурсосберегающих технологий бетонных изделий, а также создании предпосылок комплексной автоматизации, особое значение приобретают вопросы ускорения упрочнения бетона.

Повышение начальной прочности бетона связано с форсированием процесса твердения цемента в сверхранний период. В силу того, что в основе карбонизационного твердения лежит реакция связывания гидроксидов кальция углекислым газом в практически нерастворимый карбонат кальция, которая протекает с выделением одного моля воды, в процессе твердения меняется влажностное состояние материала. Это блокирует дальнейшее продвижение реакции и замедляет процесс карбонизации. В связи с этим необходимо разработать технологические приемы, снижающие водосодержание бетонной смеси на стадии ее приготовления, что может быть достигнуто введением в состав бетонной смеси пластифицирующих добавок в оптимальных дозировках. С другой стороны применение легких пористых заполнителей должно обеспечить отвод водной фазы из цементного теста в результате процессов самовакуумирования. Кроме этого для эффективного непрерывного протекания реакции карбонизации необходимо создать оптимально развитую структуру уплотненной бетонной смеси. Такая структура обеспечивает объемную диффузию углекислого газа в изделие и связанное с этим объемное изменение новообразований с одной стороны, и кольматацию пор структуры новообразованиями, ввиду локального увеличения объема твердой фазы в результате реакции карбонизации с другой стороны.

Эти мероприятия, а также оптимизация рецептуры вяжущего и режимов обработки должны обеспечить эффективность процесса карбонизации изделий, позволяющей при резком сокращении производственного цикла получать материал с заданными физико-механическими и теплотехническими свойствами.

На стадии оптимизации рецептурно-технологических условий получения карбонизованного керамзитобетона решались следующие задачи: отработка экономичных составов бетона; исследование возможности интенсификации процесса карбонизации введением в состав вяжущего молотой известняковой породы (МИП) и снижением общего водосодержания бетонной смеси; отработка оптимальных режимов карбонизации изделий.

Согласно теории тепло- и массообмена значительное ускорение процесса карбонизации может быть достигнуто путем интенсивной подачи газообразного реагента в зону реакции. С этой точки зрения предварительное вакуумирование свежесформованного бетона позволяет создать пористую капиллярную систему, находящуюся под разрежением. Последующие перепады давления в начальный период твердения, обусловленные снятием вакуума и созданием избыточного давления при подаче углекислого газа, вызывают в капиллярной структуре бетона релаксацию напряжений, что приводит к эффективному самопоглощению CO_2 и интенсификации твердения.

Процесс «карбонатного» растворения исходных минералов цемента ускоряется пропорционально давлению углекислого газа [1]. При этом применение режимов с избыточным давлением CO_2 позволяет управлять процессами структурообразования цементных композиций. Вместе с тем карбонизация изделий при высоких давлениях приводит к созданию в системе высоких пересыщений и локальному увеличению объема твердой фазы. Это влечет за собой возникновение значительных внутренних напряжений и развитие деструктивных процессов в структуре бетона. Применение в этих условиях ступенчатого подъема давления CO_2 до требуемой величины позволяет исключить деструктивные процессы, происходящие при одноступенчатой карбонизации. Экспериментально установлено, что применение ступенчатого подъема давления CO_2 позволяет повысить распалубочную прочность керамзитобетона на 10...30% [2].

С целью оптимизации рецептурно-технологических параметров получения карбонизованного керамзитобетона был получен ряд математических моделей распалубочной, 28-дневной и 180-дневной прочности бетона в зависимости от изменяемых факторов: расхода вяжущего ($400 \pm 100 \text{ кг/м}^3$); содержания добавки ЛСТМ ($0,2 \pm 0,2\%$ от расхода вя-

жущего); содержания МИП ($15 \pm 15\%$ от расхода вяжущего); давления CO_2 ($0,9 \pm 0,3$ МПа); длительности режима обработки (45 ± 15 мин).

Как показал анализ полученных моделей, при оптимальном сочетании факторов возможна эффективная замена 20...30% расхода цемента молотой известняковой породой без изменения уровня показателей физико-механических свойств материала. Основным компонентом кристаллической структуры при карбонизационном твердении является кальцит. Это подтверждается результатами рентгеноструктурного и дифференциально-термического анализов проб цементного камня. В связи с этим, очевидно, характерна преимущественная кристаллизация новообразований на поверхности зерен карбонатов, в результате чего последние обрастают сросшимися между собой хорошо развитыми кристаллами новой фазы. Электронно-микроскопический анализ подтвердил, что благодаря близости кристаллографических решеток наблюдается прочный эпитаксический характер срастания между карбонатной породой, выступающей в роли подложки, и кальцитом вторичной генерации, что ведет к упрочнению структуры.

Эксперимент выявил эффективность введения в состав бетонной смеси добавки ЛСТМ в количестве до 0,4% от расхода вяжущего. Применение ЛСТМ наиболее эффективно при одновременном введении в состав вяжущего МИП. В этом случае прочность керамзитобетона возрастает на 25...40% после карбонизации и на 25...45% в возрасте 28 суток.

Введение ЛСТМ в повышенных дозировках обеспечивает получение технологичных бетонных смесей с низким водосодержанием. После уплотнения бетонной смеси дальнейшее обезвоживание цементного теста осуществляется как результат процессов самовакуумирования керамзитобетона, вследствие чего капилляры освобождаются от влаги и становятся газопроницаемыми. В процессе связывания CO_2 продуктами гидролиза минералов цемента происходит увеличение объема твердой фазы, сопровождающееся коагуляцией поровой структуры, что приводит к росту прочности бетона. При введении в состав вяжущего МИП, скорость поглощения ЛСТМ минералами цемента резко понижается и увеличивается концентрация добавки в жидкой фазе цементного теста. Это обеспечивает эффект пластификации смеси и предотвращает чрезмерное замедление твердения системы.

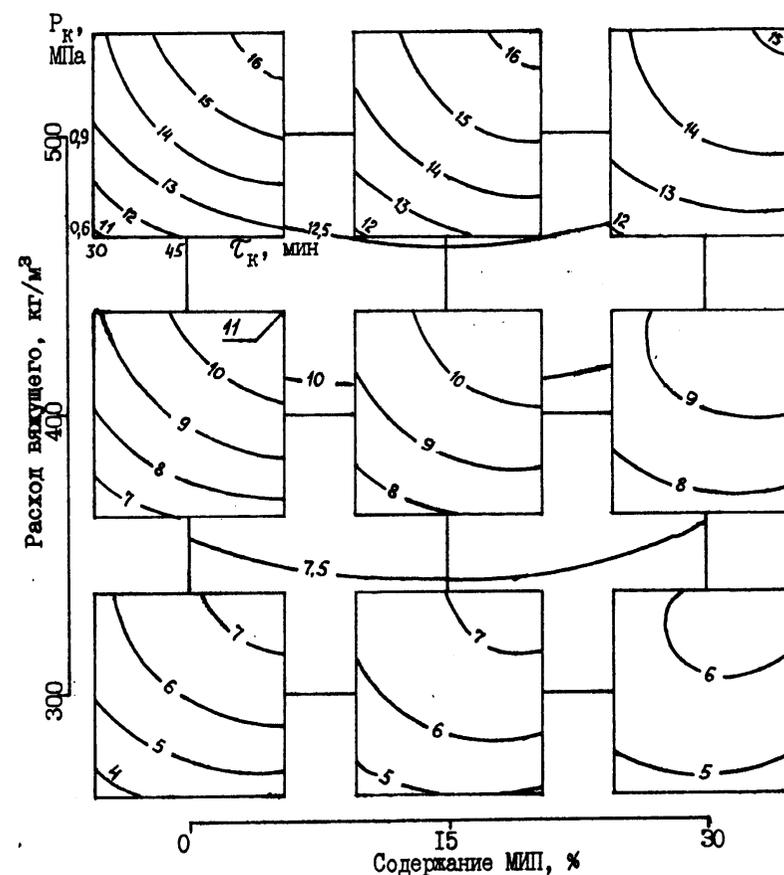


Рис. 1 Изолинии прочности керамзитобетона в возрасте одного часа после карбонизации (при содержании добавки ЛСТМ 0,4% от расхода вяжущего)

Изменение давления CO_2 и времени карбонизации в исследуемом диапазоне оказывает существенное влияние на начальную прочность бетона. Изменение давления CO_2 от 0,6 до 1,2 МПа приводит к увеличению прочности бетона через 1 час после карбонизации на 25...60%. Увеличение длительности обработки от 30 до 60 минут сопровождается ростом прочности бетона на 5...20%. С увеличением возраста бетона эффект влияния режимов карбонизации на прочность бетона нивелируется.

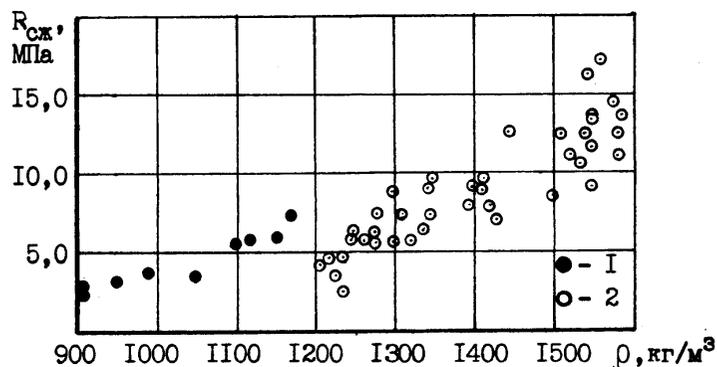


Рис.2 Зависимость между распалубочной прочностью и плотностью карбонизованного керамзитобетона

1 – бетон на керамзитовом гравии ($\rho_{нас.} = 450 \text{ кг/м}^3$);
 2 – бетон на керамзитовом гравии ($\rho_{нас.} = 720 \text{ кг/м}^3$).

Анализ кинетики изменения прочности керамзитобетона в возрасте 20 минут, 2 часа, 4 часа, 3 суток, 7 суток, 28 суток и 200 суток после карбонизации, показал, что рост прочности протекает неоднозначно в зависимости от применяемых режимов карбонизации. При этом максимальная распалубочная прочность керамзитобетона обеспечивается при применении режимов карбонизации, характеризующихся максимальной величиной давления. При величине давления CO_2 1,2 МПа и времени карбонизации 20...40 минут распалубочная прочность бетона составляет 70...75% от 28-дневной. Для обеспечения максимальных прочностных показателей бетона в период эксплуатации (в возрасте 7 суток и более) предпочтение следует отдавать режимам карбонизации с величиной давления на основной ступени – 0,6 МПа. Распалубочная прочность в этом случае составляет 50...60% от 28-дневной для бетонов классов В3,5 – В7,5 и 35...45% для бетонов классов В10 – В15.

Выводы

Проведенные испытания показали, что по своим физико-механическим свойствам: коэффициент призмной прочности – 0,67...0,80; модуль упругости – 6000...13000 МПа; коэффициент Пуассона – 0,18...0,25; предельная сжимаемость – 1,03...1,54 мм/м, керамзитобетон карбонизационного твердения соответствует требованиям, предъявляемым к материалам данного класса. Полученные характери-

стики хорошо согласуются с данными авторов, а также с литературными данными, полученными при исследовании физико-механических свойств бетонов традиционного твердения [3].

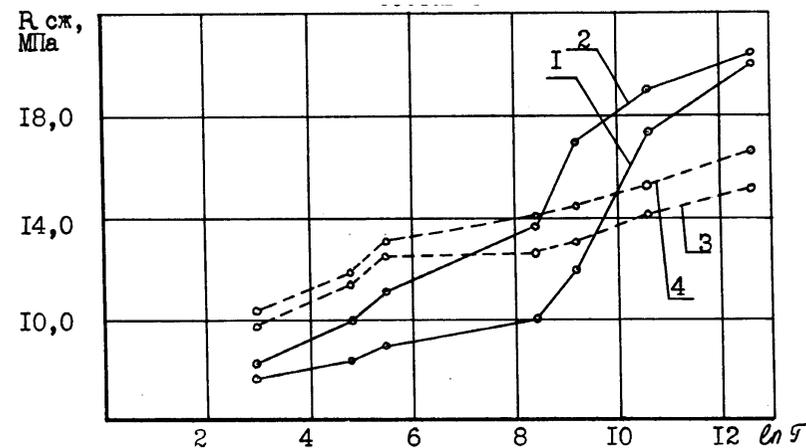


Рис.3 Кинетика роста прочности керамзитобетона после карбонизации

1 – карбонизация по режиму: $P_k = 0,6 \text{ МПа}$, $\tau_k = 20 \text{ мин}$;
 2 – карбонизация по режиму: $P_k = 0,6 \text{ МПа}$, $\tau_k = 40 \text{ мин}$;
 3 – карбонизация по режиму: $P_k = 1,2 \text{ МПа}$, $\tau_k = 20 \text{ мин}$;
 4 – карбонизация по режиму: $P_k = 1,2 \text{ МПа}$, $\tau_k = 40 \text{ мин}$;

Литература

1. Сорочкин М.А., Щуров А.Ф., Урьев Н.Б. Воздействие углекислого газа как метод интенсификации процессов гидратации цемента // ДАН СССР. 1970. т.194. №1. с.149-151.
2. А.с. 1320202 СССР, МКИ С 04 В 40/02. Способ изготовления бетонных изделий / Михайленко Г.В., Соломатов В.И., Гара А.А. – Опубл. в Б.И., 1987, №24 – 6 с.
3. Михайленко Г.В., Гара А.А. Физико-механические характеристики керамзитобетона твердеющего в условиях карбонизации // Новые эффективные материалы и конструкции в строительстве. – Ашхабад, 1986. – с.93-94.