

удк

Т.М. ПЕТРОВА, д-р техн. наук, А.Ф. СЕРЕНКО, канд. техн. наук,
 Петербургский государственный университет путей сообщения;
 М.И. МИЛАЧЕВ, директор, Д.М. МИЛАЧЕВ, технолог, ООО «ФОРТ»
 (г. Новозыбков, Брянская обл.)

Механизм повышения прочности цементных систем комплексными добавками на ранней стадии твердения

Одним из наиболее перспективных путей совершенствования технологии производства бетонных и железобетонных изделий является внедрение беспрогревной или малопроегревной технологии, так как это требует меньших инвестиций и быстро дает эффект за счет экономии энергетических и материальных ресурсов.

Прочность цементных систем определяется их структурой, определяющую роль в которой играет пористость. В механике используется несколько математических выражений для описания зависимости прочности от пористости. Однако авторы [1] на основании анализа литературных и собственных данных пришли к выводу об ошибочности попыток увязать прочность цементных систем только с общей или капиллярной пористостью. Такая связь в многофазных композиционных материалах, каким является цементный камень, будет существовать лишь в пределах одного водоцементного отношения или при близких значениях В/Ц.

Однако именно учет дифференциальных характеристик распределения пор по размерам является необходимым звеном оценки прочности цементных систем. При одинаковом объеме пор уменьшение их среднего размера будет приводить к повышению однородности и прочности цементного камня.

В этой связи представляет интерес исследование влияния, которое оказывают комплексные добавки на структуру порового пространства цементных систем на ранней стадии твердения.

Согласно модели Пауэрса–Брунауэра [2] формирующийся тоберморитовый гель имеет слоистую структуру и развитую удельную поверхность около $180 \times 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$. Поры между частичками геля называются гелевыми, имеют размер от 2 до 4 нм и минимальный объем 28%, не зависящий от водоцементного отношения и изменяющийся в относительно узких пределах. Пространство, не занятое цементным гелем, называется капиллярными порами, которые оказывают определяющее влияние на физико-механические свойства цементного камня. К третьей группе относятся воздушные поры с размерами от 100 до 2000 мкм, пронизывающие цементный гель и уменьшающие его прочность.

Вопрос о виде и распределении пор цементного камня по размерам дискуссионный. Это связано со сложностью и многообразием полиминеральной полидисперсной структуры цементного камня, его способностью эволюционировать в зависимости от времени, влажности и условий твердения, с точностью и обоснованностью применяемых экспериментальных методов определения пористости.

Остается открытым вопрос о размерах гелевых пор, особенно в ранний период твердения цемента. Из того факта, что первыми в цементном тесте кристаллизуются этрингит и гидроксид кальция, можно предположить, что начальный период формирования структуры цементного камня поры геля имеют больший размер, чем

свойственные зрелому гелю, описанному Пауэрсом. По мере образования гидросиликатов кальция кристаллогидратный сросток уплотняется и средний размер пор геля уменьшается, а пик максимума гелевых пор на дифференциальной кривой распределения пор по размерам сдвигается в сторону меньших размеров.

Из сформулированной гипотезы следует, что через один и тот же период начального твердения, например через 12 ч, прочность одной и той же цементной системы будет тем выше, чем меньше средний размер пор геля, а все факторы, приводящие к уменьшению среднего размера пор геля, будут способствовать увеличению ранней прочности цементного камня.

Для экспериментальной проверки выдвинутой гипотезы при исследовании пористости цементного камня применялся метод протонного магнитного резонанса (ПМР) [3]. Для выявления взаимосвязи прочности и гелевой пористости цементного камня на ранней стадии твердения были использованы три состава равноподвижного цементного теста (нормальная плотность) на

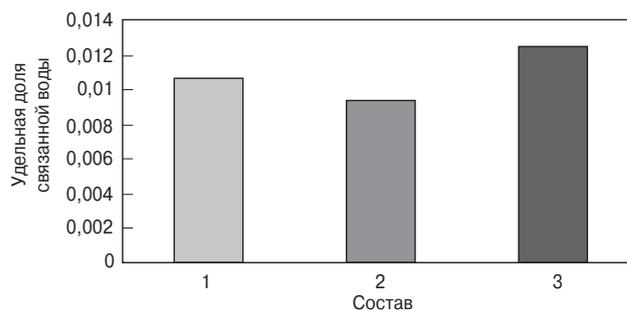


Рис. 1. Удельная массовая доля связанной воды в возрасте 12 ч, определенная методом ПМР: 1 – контрольный В/Ц 0,28; 2 – С-3 0,5% В/Ц 0,24; 3 – Петролафс 1% В/Ц 0,24

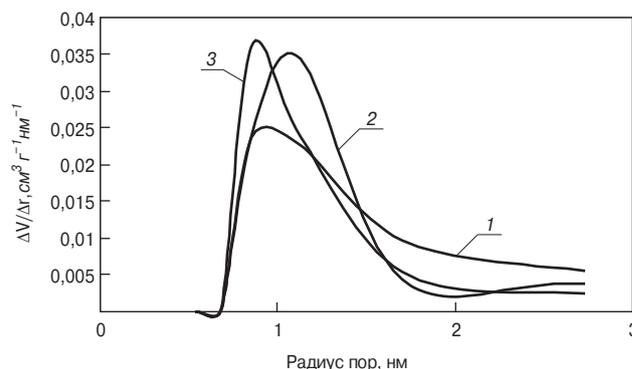


Рис. 2. Дифференциальное распределение пор в возрасте 12 ч: 1 – контрольный В/Ц 0,28; 2 – С-3 0,5% В/Ц 0,24; 3 – Петролафс 1% В/Ц 0,24

оскольском портландцементе ПЦ500Д0. Для снижения водоцементного отношения применялся суперпластификатор С-3. В качестве комплексной добавки использовалась добавка Петролафс пластифицирующе-ускоряющего действия согласно ГОСТ 24211–2003.

Для определения прочности готовились образцы-кубы цементного камня размером 2×2×2 см. Помимо этого, в целях контроля степени гидратации с помощью ПМР определяли удельное содержание связанной воды (г воды/г образца) в возрасте 12 ч (рис. 1).

На рис. 2 приведены результаты определения дифференциального размера гелевых пор различных составов цементного камня в возрасте 12 ч.

Применение суперпластификатора С-3 приводит к формированию более рыхлой структуры кристаллогидратного сростка в возрасте 12 ч вследствие блокирующего эффекта добавки на ранней стадии гидратации, что подтверждается результатами определения количества удельной доли связанной воды (рис. 1). Пик среднего размера гелевых пор смещается в сторону больших размеров и составляет 1,2 нм. В этом случае даже существенное снижение водоцементного отношения не приводит к значимому увеличению прочности цементного камня по сравнению с контрольным составом без добавки (рис. 3).

Применение добавки Петролафс компенсирует блокирующий эффект суперпластификатора на ранней стадии твердения, что подтверждается степенью гидратации цементного камня (рис. 1). Пик среднего размера гелевых пор, в этом случае, смещается влево до величины 0,85 нм (рис. 2), что свидетельствует об уплотнении кристаллогидратного сростка за счет формирования гидросиликатов кальция. В результате прочность цементного камня увеличилась на 42%. При использовании только С-3 (при одинаковых В/Ц) прочность возросла на 8% (рис. 3).

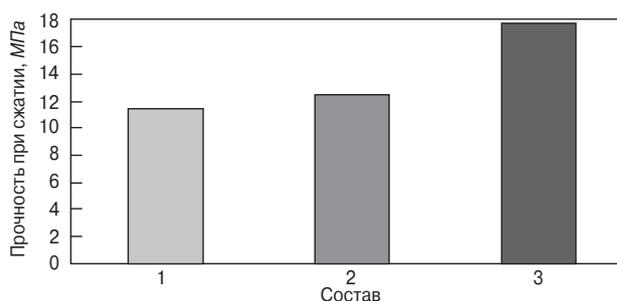


Рис. 3. Прочность цементного камня при сжатии в возрасте 12 ч: 1 – контрольный В/Ц 0,28; 2 – С-3 0,5% В/Ц 0,24; 3 – Петролафс 1% В/Ц 0,24

Экспериментальные данные, полученные на основе метода протонного магнитного резонанса, подтверждают гипотезу о зависимости размеров гелевых пор от времени твердения цементного камня. Механизм действия комплексных добавок ускоряюще-пластифицирующего действия на прочность цементных систем на ранней стадии твердения заключается в снижении капиллярной пористости и уплотнении кристаллогидратного сростка, о чем свидетельствует смещение пика гелевых пор в сторону меньших размеров.

Список литературы

1. *Бабков В.В. и др.* Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа: Уфимский полиграфкомбинат, 2002. 376 с.
2. *Пауэрс Т.К.* Физическая структура портландцементного теста: Химия цемента. Под ред. Х.Ф.У. Тейлора. М.: Мир, 1969. С. 300–319.
3. *Бетехтин В.И. и др.* Концентрация микропор в цементном камне и их распределение по размерам // Цемент. 1989. № 10. С. 8–10.



FORT™
FORTRIS®

Мы производим новые свойства бетона!

ООО «ФОРТ» – производитель эффективных модификаторов многоцелевого назначения для бетонов и строительных растворов

В ряду других производителей, в том числе зарубежных, добавки ООО «ФОРТ» выделяются сочетанием безопасности и технологичности применения с высокой эффективностью и доступной ценой

243020, г. Новозыбков Брянской обл., а/я 49

Тел./факс: (48343) 3-22-78, 3-24-17

E-mail: info@modifikator.ru www.modifikator.ru

