

УДК 691.542
ББК 38.32
К-65

Несветаев Григорий Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ТСП Ростовского государственного строительного университета, e-mail: nesgrin@yandex.ru;

Кардумян Галина Суреновна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (НИИЖБ), e-mail: niizb2011@mail.ru, kardumyan@mail.ru;

Та Ван Фан, аспирант Ростовского государственного строительного университета, e-mail: tavanphan@gmail.com;

Хомич Леонид Анатольевич, аспирант Ростовского государственного строительного университета, e-mail: leo.khomich@gmail.com;

Блягоз Алик Моссович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин Майкопского государственного технологического университета, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

КОНТРАКЦИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В ПРИСУТСТВИИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ (рецензирована)

Гидратация портландцемента сопровождается изменением объема – контракцией. Контракционная пористость и контракционная усадка оказывают влияние на формирование структуры и свойств цементного камня. Показано влияние некоторых суперпластификаторов и минеральных модификаторов на контракцию портландцемента.

Ключевые слова: портландцемент, суперпластификаторы, минеральные модификаторы, контракция, деформация.

Nesvetaev Grigory Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of TCP RSUCE, Rostov-on-Don, e-mail: nesgrin@yandex.ru;

Kardumyan Galina Surenovna, Candidate Technical Sciences, senior researcher of SRIRC, e-mail: niizb2011@mail.ru, kardumyan@mail.ru;

Ta Van Fan, post graduate student, RSUCE, Rostov-on-Don, e-mail: tavanphan@gmail.com;

Khomich Leonid Anatolievich, post graduate student of RSUCE, Rostov-on-Don, e-mail: leo.khomich@gmail.com;

Blyagoz Alec Mossovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the department of Construction and General Professional Disciplines of Maikop State Technological University, tel.: 89184205021, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru.

CONTRACTION OF PORTLAND CEMENT IN THE PRESENCE OF SUPER PLASTICIZERS AND MINERAL MODIFIERS (Reviewed)

Hydration of Portland cement is accompanied by changes in its volume - contraction. Contraction porosity and contraction shrinkage influence the structure and properties of cement. The influence of some super plasticizers and mineral modifiers on Portland cement contraction has been shown.

Keywords: Portland cement, super plasticizers, mineral modifiers contraction, deformation.

В связи с ростом применения высокопрочных бетонов из высокоподвижных, в т.ч. самоуплотняющихся бетонных смесей, в последнее десятилетие в их составах широко применяются суперпластификаторы (СП) в сочетании с минеральными модификаторами (ММ): золой-уноса, микрокремнеземом, метакаолином (МК) и др. Взаимодействие ММ с продуктами гидратации портландцемента и возможное влияние СП на процессы гидратации в ранний период, оказывают влияние на собственные деформации цементного камня и его пористость, что в результате влияет на формирование структуры и свойства высокопрочного цементного камня и бетона. В современных отечественных нормах по проектированию железобетонных конструкций согласно СП 52-102-2004 деформации усадки бетона принимаются в зависимости от класса бетона равными от 0,2 (В 35 и ниже) до 0,3 мм/м (В 45 и выше). Такое нормативное обеспечение в принципе исключает возможность оценки усадочной трещиностойкости, в т.ч. в ранний период, железобетонных конструкций на стадии проектирования, поскольку не определяет вид усадки, ее кинетику, зависимость усадки от условий окружающей среды и геометрии сечения. Учитывая рост вероятности трещинообразования железобетонных конструкций в ранний период в связи с повышением классов применяемых бетонов и тонкости помола цементов [1], такое нормативное обеспечение не способствует формированию качества железобетонных конструкций на стадии

проектирования. В зарубежных нормах контракционная усадка бетона нормируется в зависимости от его класса. Развивается контракционная усадка в первые несколько суток твердения бетона, причем с повышением класса бетона по прочности контракционная усадка возрастает, что приводит к проблеме раннего трещинообразования высокопрочных бетонов.

Исследовано влияние некоторых СП на поликарбоксилатной основе и ММ (белой сажи (БС), МК, расширяющей составляющей органоминерального модификатора «Эмбэлит» (Э) [2]) на собственные деформации и процессы гидратации в ранний период твердения. Определялись такие параметры, как температура смеси, общая (О.К.) и внешняя (В.К.) контракция, контракционная пористость. Как известно, общая контракция (О.К.) – уменьшение объема твердеющей системы относительно суммарного объема вступающих в реакцию веществ (цемент+вода). О.К. состоит из внешней контракции В.К. – уменьшения внешнего объема твердеющей системы и контракционной пористости (К.П). [3]. О.К. цементов может быть определена согласно [4] как

$$O.K. = \Delta V = \Pi \left(\frac{1}{\rho_{\text{ц}}} + n\alpha - \frac{1+n\alpha}{\rho_{\text{гц}}} \right), \quad (1)$$

где α – степень гидратации; $\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{гц}}$ – соответственно, истинная плотность портландцемента и гидратированного цементного камня при степени гидратации α ; n – количество воды, химически связанное цементом при полной гидратации ($n = 0,23 - 0,25$).

Соотношение между изменением объема за счет образования К.П. и В.К. может быть весьма различным и зависит от свойств цемента, наличия добавок. Величина В.К./О.К. составляет примерно 0,23-0,4 в зависимости от вида цемента, но может изменяться и в более широком диапазоне, а при наличии суперпластификаторов доходить до 0,8 [4].

Контракционная усадка составляет примерно 0,6-4 % объема цементного теста. Объем К.П. составляет примерно 1-6,5 % объема цементного теста, что в пересчете на 1 м³ бетона составляет, в зависимости от состава бетона, примерно от 0,6 до 2,0 %. Величина К.П., помимо минералогического состава клинкера, определяется вещественным составом и тонкостью помола цемента, наличием добавок, температурными условиями, т.е., в конечном счете, зависит от момента начала формирования жесткого кристаллического каркаса, препятствующего пластическим деформациям цементного теста. К.П. является условно-замкнутой и играет важную роль в обеспечении морозостойкости бетона. В.К. фактически является усадкой твердеющей системы «цемент + вода + ММ + СП» в ранний период и последствия этой усадки для формирующейся структуры цементного камня (бетона), как уже отмечалось, могут быть весьма негативны. Контракционная усадка бетона может составлять 10 – 30% контракционной усадки цементного камня.

В ранний период твердения при степени гидратации в пределах 0,25-0,35 ф. (1) может быть представлена в упрощенном виде и величина О.К. может быть приблизительно описана линейной зависимостью

$$O.K. = 7,6\alpha$$

из которой следует, что изменение величины О.К. на 1% соответствует изменению степени гидратации примерно на 1%. В связи с этим, общая контракция является косвенным показателем степени гидратации цемента.

Для исследований использованы портландцементы (ПЦ) заводов «Пролетарий» и «Себряковский», СП «Glenium 51» (g51), «Melflux 2641» (m2641), «Melflux 2651» (m2651) и «Melflux 5581» (m5581). Количество ММ принято по результатам предварительных опытов: 10% от ПЦ – для БС и МК, 15% – для Э. Количество СП принято по результатам предварительных опытов в пределах 0,2-0,5 % от массы вяжущего. Результаты измерений О.К., В.К. и КП в возрасте 72 ч. представлены в табл. 1.

Таблица 1 - О.К., В.К. и КП (мл/100 г вяжущего) цементов с ММ и СП

Цемент+СП	Минеральные компоненты				
	-	БС	МК	БС+МК	Э
ПЦ	2,46/1,66/0,801 3,89/1,53/2,362	2,69/2,61/0,08 -	2,65/2,32/0,33 -	2,79/2,45/0,34 -	4,34/1,15/3,19
ПЦ+g51	3,60/2,40/1,20	-	-	2,25/2,10/0,15 -	4,41/2,50/1,91
ПЦ+m2641	2,87/2,64/0,23	-	-	-	4,31/2,93/1,38
ПЦ+m2651	-	-	-	2,33/1,82/0,51 -	-
ПЦ+m5581	-	-	-	2,30/2,10/0,20 -	-

Примечание: ОК/ВК/КП – соответственно, общая контракция, внешняя контракция, контракционная пористость; 1, 2 – вид цемента.

Анализ полученных данных показывает:

1. Минеральные компоненты БС и МК как при раздельном, так и при совместном введении несколько повышают (до 13%) величину О.К. (т.е. степень гидратации также до 13%), но при этом вызывают рост собственных деформаций в ранний период (до полутора раз) и значительное снижение К.П. Такой эффект следует рассматривать как негативный.

2. При введении БС существенно изменяется величина соотношения В.К./О.К., в нашем случае это соотношение составляет 0,97(!). Такое соотношение ранее в литературных данных не встречалось. Негативное влияние БС на собственные деформации и контракционную пористость цементного камня требует применения компенсирующих мер. Совместное введение БС + МК, в т.ч. с СП, несколько снижает величину соотношения В.К./О.К., но лучшее соотношение обеспечивается при введении расширяющей добавки Э.

3. Введение Э повышает О.К. до 11%, снижает уменьшение объема твердеющего цементного камня в ранний период до 25% и повышает величину контракционной пористости до 35%, что является благоприятным фактором для повышения морозостойкости. При введении Э совместно с СП негативное влияние последних на степень гидратации практически исчезает. В тоже время, введение больших дозировок СП может уменьшать величины деформаций расширения и самонапряжения. Такое негативное влияние некоторых СП на указанные свойства цементного камня и бетона фиксировалось и ранее в [2].

4. СП вызывает замедление гидратации к рассматриваемому сроку в ПЦ системе до 24%, а при введении совместно с БС и МК до 18%. Замедление процессов гидратации ПЦ в ранний период в присутствии некоторых СП является достаточно известным фактом, в частности, в [5] показано, что в присутствии СП степень гидратации ПЦ может снижаться на 10-21%. Наглядно влияние СП на гидратацию иллюстрируют данные об изменении температуры твердеющего цементного камня в теплоизолированном объеме (см. рис.). В частности, в суточном возрасте суммарное тепловыделение ПЦ и ПЦ с СП m2651 и m5581 практически одинаковы, а в случае ПЦ + g51 меньше на 22,5% в сравнении с эталоном (ПЦ), что свидетельствует о хорошей корреляции между оценкой степени гидратации по величине тепловыделения и О.К.

Снижение степени гидратации может привести к увеличению объема общей пористости, что может проявиться в снижении прочности. Уменьшение К.П. может негативно повлиять на морозостойкость бетона и потребовать создания резервной пористости посредством введения регуляторов пористости. Увеличение В.К. может вызвать раннее трещинообразование в формирующейся структуре цементного камня, что негативно отразится как на прочности, так и на жесткости и долговечности.

Таким образом, СП в сочетании с ММ и ПЦ могут оказывать значительное влияние на процессы гидратации и собственные деформации, а, следовательно, на формирование структуры высокопрочного цементного камня (бетона) в ранний период твердения, что, в конечном счете, проявляется в изменении свойств цементного камня (бетона) в проектном возрасте и в процессе эксплуатации. Поэтому совместное влияние ММ и СП на процесс гидратации и собственные деформации в ранний период формирования структуры цементного камня необходимо учитывать при выборе компонентов для высокопрочных бетонов, в т.ч. из высокоподвижных смесей. Это влияние индивидуально и требует экспериментальной проверки совместимости компонентов системы ПЦ+СП+ММ не только по показателям, характеризующим подвижность бетонной смеси или предел прочности бетона, но и по собственным деформациям и параметрам поровой структуры цементного камня (бетона).

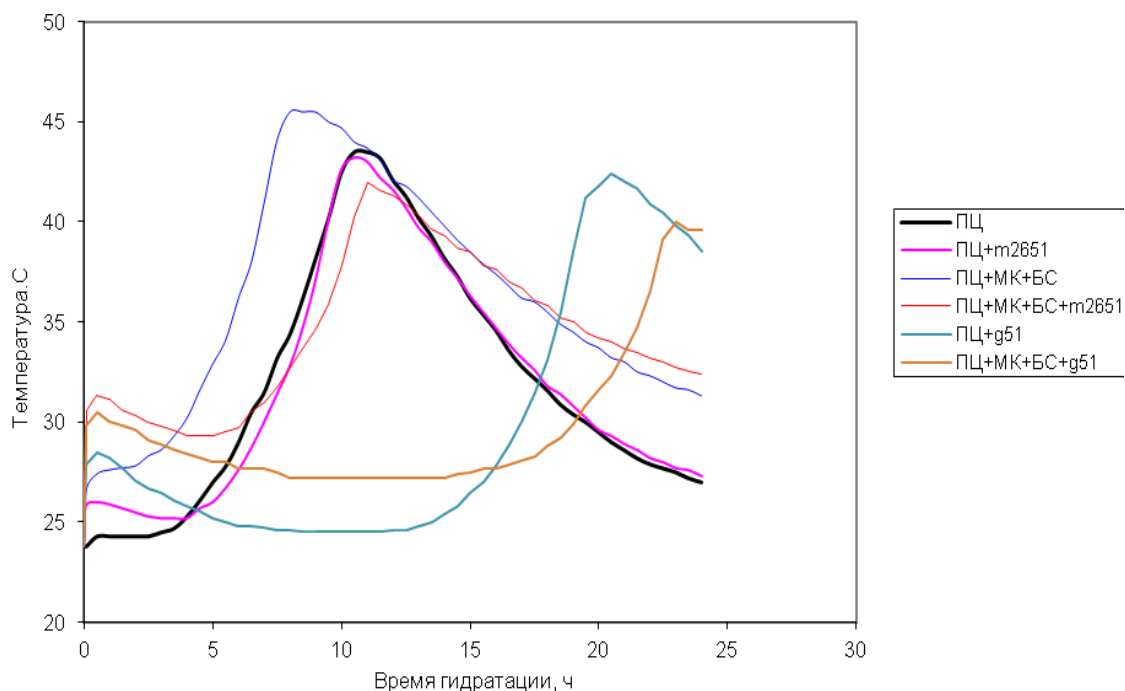


Рис. Изменение температуры цементного теста

Литература:

1. Несветаев Г.В., Тимонов С.А. О механизме раннего трещинообразования высокопрочных бетонов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы междунар. науч.- практ. конф. Ростов н/Д.: РГСУ, 2000. С. 266-270.
2. Кардумян Г.С., Каприелов С.С. Новый органоминеральный модификатор серии «МБ» - Эмбелит для производства высококачественных бетонов // Строительные материалы. 2005. №8. С. 12-15.
3. Несветаев Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2011. 381 с.
4. Некрасов В.В. Изменение объема системы при твердении гидравлических вяжущих // Известия АН СССР. 1945. №6. С. 162-175.
5. Несветаев Г.В. Оценка эффективности суперпластификаторов // Дни современного бетона: материалы 11 междунар. науч.-практ. конф. Запорожье: Будиндустрия ЛТД, 2012. С. 19-27.

References:

1. Nesvetaev G.V., Timonov S.A. On the mechanism of early cracking of high-strength concrete // Concrete and reinforced concrete in the third millennium: proceedings of the Int. Scientific Pract. Conf. Rostov-on-Don: RSUCE, 2000. P. 266-270.
2. Kardumyan G.S., Kapriyelov S.S. The new organic and mineral modifier of "MB" series-Embelit for high-quality concrete production // Building materials. 2005. № 8. P. 12-15.
3. Nesvetaev G.V. Concrete: academic handbook. Rostov-on-Don: Phoenix, 2011. 381 p.
4. Nekrasov V.V. The volume change of the system at hardening of hydraulic binders // Proceedings of the AS USSR. 1945. № 6. P. 162-175.
5. Nesvetaev G.V. Evaluating the effectiveness of super plasticizers // Days of modern concrete: materials of 11 Int. Scientific-practical conference. Zaporozhye: Budindustry Ltd. 2012. P. 19 -27.