

Эффективность добавок – ускорителей схватывания и твердения для торкрет-бетона

Инженер А.С. Васильев,

ООО «Эм-Си Баухеми»;

д.т.н., доцент Ю.Г. Барабанщиков,*

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: торкрет-бетон; добавки ускорителей схватывания и твердения; сроки схватывания; прочность; тепловыделение

В условиях высоких темпов проведения строительных работ большой интерес среди регуляторов кинетики гидратации цемента вызывают ускорители схватывания и твердения бетона, применение которых является зачастую необходимым, но в ряде случаев может иметь негативные последствия для бетона. В случае применения хлоридов это коррозия стальной арматуры, при использовании солей калия и натрия – щелочная коррозия. Существуют ускорители на основе органических веществ, такие как ди-, триэаноламины, кальциевые соли муравьиной и уксусной кислот, различные карбоновые кислоты [1-2]. Недостатком подобных ускорителей является их относительно высокая стоимость и избирательное действие в зависимости от выбранных дозировок и типов цемента.

Уникальными по своим свойствам являются ускорители схватывания и твердения для торкрет-бетонов. При торкретировании бетонная смесь с помощью специального устройства (торкрет-машины) подается на обрабатываемую поверхность под давлением и уплотняется за счет энергии удара [3]. В обеспечении качественного торкретирования важнейшую роль играют ускорители схватывания и твердения, вводимые в состав торкрет-бетонных смесей. В отличие от обычного бетона, в торкрет-бетонах добавки-ускорители являются практически неотъемлемой составляющей. Расход ускорителя в торкрет-бетонах выше, чем при обычном бетонировании, и составляет 3-6 % от массы цемента, а иногда и более. Особенностью добавок ускорителей схватывания и твердения для торкрет бетона является моментальное схватывание «flash setting», которое исключает оползание смеси и позволяет увеличить толщину наносимого слоя. В настоящее время используются преимущественно бесщелочные, не содержащие хлоридов добавки, обладающие высокой эффективностью [4-6]. Термин «бесщелочные» означает, что выполняется требование к добавке по содержанию $\text{Na}_2\text{O} \leq 1,0\%$ по массе, установленное стандартом EN 480-12. Данные ускорители получают на основе неорганических соединений алюминия.

Крупнейшими производителями добавок-ускорителей являются фирмы BASF, Sika, Mapei, MC-Bauchemie. Существуют целые линейки добавок ускорителей схватывания и твердения для торкрет-бетона: MEYCO SA, Delvo Crete (BASF); Sigunit (Sika); Mapequick (Mapei); Centrament Rapid (MC-Bauchemie). В РФ производство добавок – ускорителей схватывания и твердения для торкрет-бетона осуществляют компании Полипласт (Реламикс Торкрет) и Эм-Си Баухеми (Центрамент Рапид 640 R и 650R).

Целью данной работы является исследование кинетики схватывания и твердения цементных паст в присутствии бесщелочных ускорителей для торкрет-бетона.

Моделирование и прогнозирование процессов, протекающих в торкретбетоне, является сложной задачей. Это связано с тем, что лабораторные условия сильно отличаются от условий на месте торкретирования, которые также могут различаться. Поэтому для оценки эффективности добавок по физико-механическим показателям был использован модельный состав, включающий цемент, заполнитель и суперпластификатор. Для растворной смеси задавалась высокая подвижность (расплыв конуса Хегерманна 170-190 мм), эквивалентная марке П5 для бетонной смеси. Для имитации уплотнения торкрет-бетонной смеси применялась укладка раствора на вибростол.

Использовались следующие материалы.

1. Портландцемент СЕМІ 42.5 Н (ЗАО «Осколцемент»), имеющий фазовый состав, мас. %: алит ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) – 52–53, белит ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) – 18–20, промежуточная фаза ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 + 4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) – 20– 22, гипс ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – 3–4, ангидрит (CaSO_4) – 1, CaCO_3 – 2. По данным химического анализа, общее содержание Al_2O_3 в цементе – 4,9 мас. %.

2. Песок с модулем крупности $M_k=2,5$.

3. Ускорители схватывания: Centrament Rapid 650 (Эм-Си Баухеми), MEYCO SA 167 (BASF), Sigunite L-53 (Sika) и Реламикс Торкрет (Полипласт).

Испытания эффективности действия ускорителей на схватывание и твердение проводились на цементном растворе. Состав раствора – 1:3 (цемент:песок); В/Ц – 0,45; содержание добавок, % от массы цемента: суперпластификатора Muraplast FK 63 (ООО «Эм-Си Баухеми») – 0,4; ускорителя – 6.

Приготовление раствора осуществляли следующим образом. Суперпластификатор Muraplast FK 63 смешивали с водой затворения. Добавляли остальные компоненты в указанной ниже последовательности, после чего перемешивали по режиму: цемент – 30 с, песок – 60 с, остановка – 90 с, окончательное перемешивание – 30 с. Затем определяли подвижность раствора по расплыву стандартного конуса после 30 встряхиваний (ГОСТ 310.4). Следили за тем, чтобы расплыв конуса составлял 170-190 мм. После этого вводили ускоритель схватывания и твердения и перемешивали смесь в течение 10 с. Сразу после перемешивания растворную смесь помещали в кольцо прибора Вика и уплотняли на вибрационном столе в течение 10 с. Затем определяли сроки схватывания (ГОСТ 310.3) и из оставшейся смеси готовили образцы-балочки размерами 40x40x160 мм для определения прочностных характеристик. Образцы хранили в камере нормального твердения (при 100%-ой отн. влажности и $t=20$ °С) и испытывали на сжатие в возрасте 6 ч, 1 сут. и 28 сут.

Результаты испытаний приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Влияние бесщелочных добавок ускорителей схватывания и твердения на прочность цементного раствора

Образцы	Предел прочности при сжатии, МПа		
	6 часов	1 сутки	28 суток
Контрольный образец	0,40	12,6	45,3
Centrament Rapid 650	0,70	17,0	49,0
MEYCO SA 167	0,70	16,0	45,0
Sigunite L-53	0,60	13,7	40,9
Реламикс Торкрет	0,55	18,0	44,5

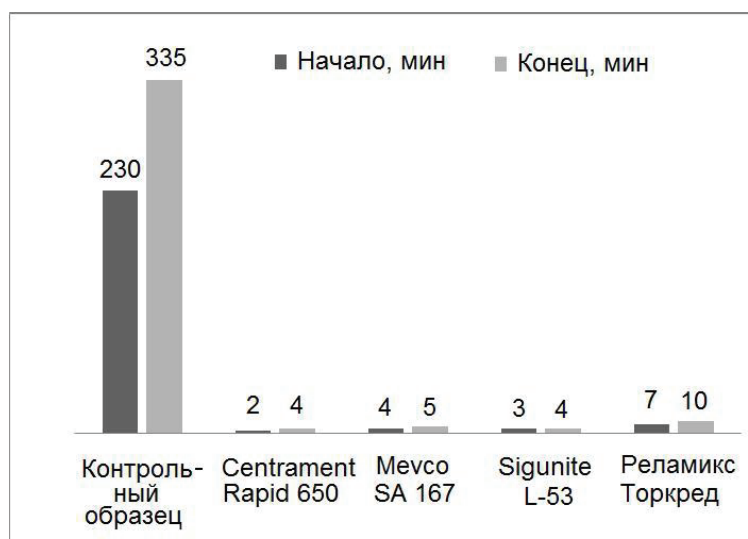


Рисунок 1. Влияние бесщелочных добавок-ускорителей на сроки схватывания цементного раствора

Из данных табл. 1 и рис. 1 следует, что все испытанные добавки обладают высокой способностью к ускорению схватывания и твердения. Сроки схватывания сокращаются в 30-100 раз. Наиболее эффективными ускорителями схватывания являются Centrament Rapid 650 и Sigunite L-53, наименее эффективным – Реламикс Торкрет. Прочностные показатели свидетельствуют о том, что, ускоряя твердение, добавки не влияют на конечную прочность бетона. Если в 6-часовом возрасте прирост прочности образцов с добавками ускорителей составил 140-175% от прочности контрольного состава, то в 28-суточном возрасте их прочность практически такая же, как и у контрольных образцов (разброс значений лежит в пределах обычной погрешности прочностных испытаний). Наиболее эффективными ускорителями твердения показали себя Centrament Rapid 650 и MEYCO SA 167.

Для более детального изучения кинетики гидратации цементного камня с добавками ускорителей были проведены калориметрические исследования цементных паст. Калориметр (рис. 2) состоит из теплоизолирующего корпуса 4, мешалки 3, алюминиевого стакана 1 с цементным тестом 2 и измерительной системы, включающей термопары 6 и регистрирующий прибор 7.

В процессе опыта регистрировали температуры образца t_1 и среды t_2 каждую минуту в течение 1 суток.

Теплота Q , выделяемая цементом при гидратации, идет на нагрев содержимого в термосе (Q_1) и потери в среду (Q_2): $Q=Q_1+Q_2$.

$$Q_1=C_T(t_1-t_0),$$

где C_T – аддитивная теплоемкость нагреваемой в термосе системы, Дж/°С; t_0 – начальная температура теплового равновесия элементов системы.

$$C_T=c_{ц}m_{ц}+c_{в}m_{в}+\sum c_i m_i,$$

где c и m – соответственно удельная теплоемкость и масса: цемента (индекс «ц»), воды (индекс «в») и прочих нагреваемых частей (индекс «i»), к которым относятся: внутренняя стенка термоса, металлический стаканчик, термопары. Величина $\sum c_i m_i$ определялась экспериментально и составила 178-179 Дж/°С. Было принято: $c_{ц}=1,04$ и $c_{в}=4,28$ кДж/(кг·°С).

$$Q_2 = Q_k \int_0^{\tau} (t_1 - t_2) d\tau,$$

где Q_k – константа теплоотдачи калориметра, определялась экспериментально по методике описанной в работе [7] (для используемого калориметра $Q_k=0,074$ Вт/°С); τ – время.

Интегрирование по времени заменяли суммированием по площади, заключенной между графиками $t_1=f(\tau)$ и $t_2=f(\tau)$.

Для проведения калориметрических испытаний из цементной пасты готовили 2 серии образцов:

- 1) 5 составов с ускорителями без пластифицирующей добавки;
- 2) те же составы, но с суперпластификатором Muraplast FK63.

В образцах первой серии водоцементное отношение (В/Ц) составляло 0,5, во второй серии при использовании суперпластификатора Muraplast FK63 в количестве 0,4% от массы цемента В/Ц было принято равным 0,4, что обеспечивало равноподвижность цементных смесей. Цемент (500 г) помещали в стакан 1, добавляли воду и перемешивали при скорости вращения мешалки 800 об/мин в течение 10 с. Оставляли в покое на 20 мин, производя измерения температур. Через 20 мин с помощью шприца впрыскивали добавку-ускоритель в количестве 30 г и снова перемешивали 10 с. После этого мешалку удаляли и смесь оставляли в покое для дальнейшего твердения.

Васильев А.С., Барабанщиков Ю.Г. Эффективность добавок – ускорителей схватывания и твердения для торкрет-бетона

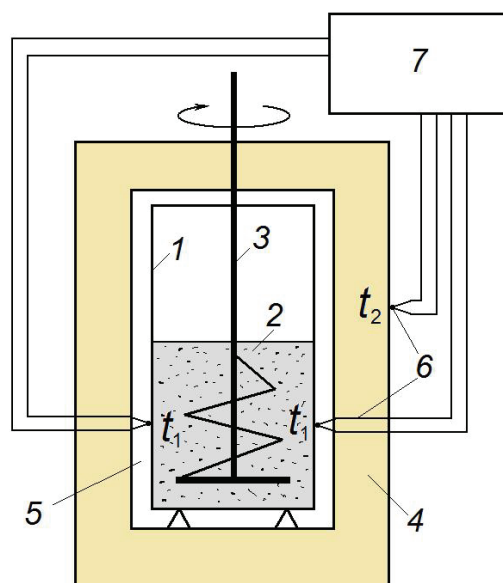


Рисунок 2. Схема калориметра

Результаты испытаний приведены ниже на рис. 3-6. Начальный скачок тепловыделения, сразу после затворения цемента водой, обусловлен в основном выделением теплоты смачивания цемента, что объясняется понижением поверхностной энергии на границе раздела фаз [8-9]. Дальнейший ход кривых тепловыделения может характеризовать кинетику гидратации цемента и позволяет оценить характер и скорость твердения, несмотря на то, что теплота выделяется и в результате других процессов в твердеющем цементном камне. Некоторые из них протекают с поглощением теплоты, например, растворение клинкерных минералов в воде. Однако по сравнению с теплотой химической реакции эти тепловые эффекты незначительны.

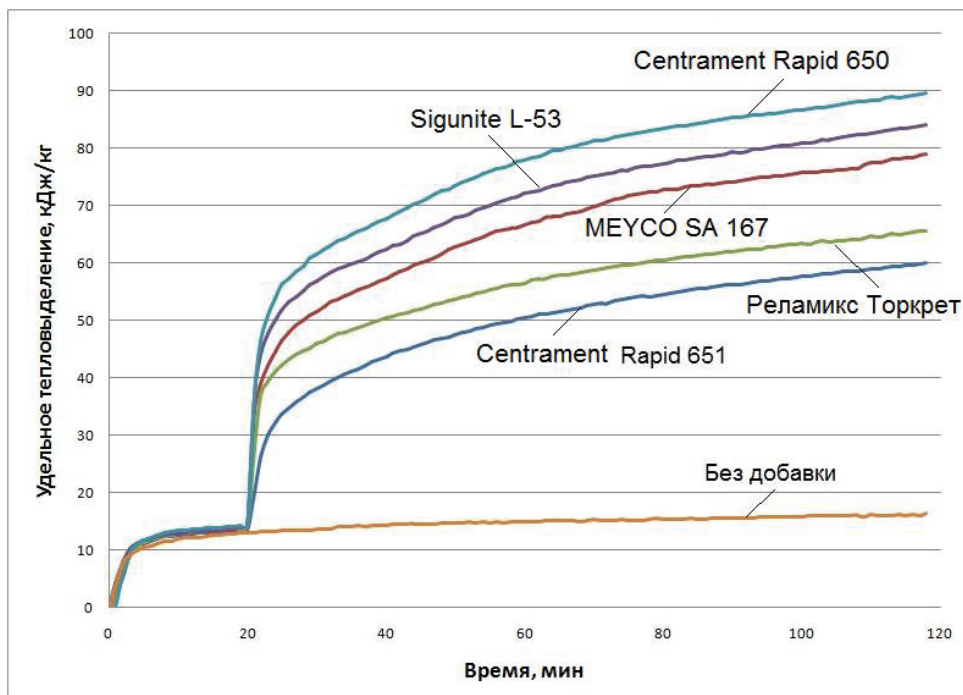


Рисунок 3. Тепловыделение образцов 1-й серии (без пластификатора) с добавками-ускорителями в первые 2 часа

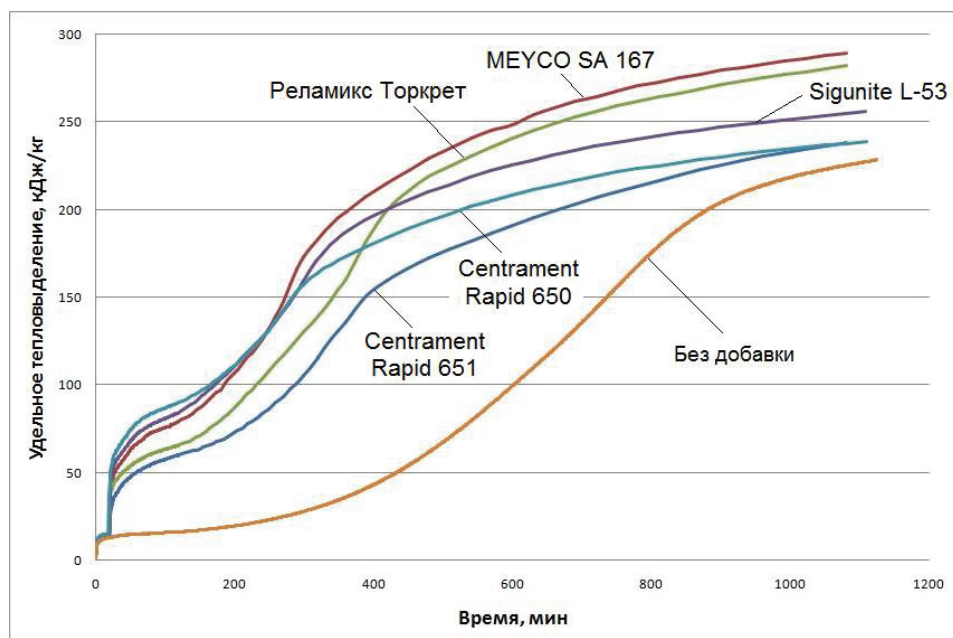


Рисунок 4. Тепловыделение образцов 1-й серии (без пластификатора) с добавками-ускорителями в первые 20 часов

В течение первых 20 минут кривые тепловыделения в пределах одной серии совпадают, так как образцы не имеют различий в составе. Введение ускоряющих добавок в тесто на 21-й минуте твердения вызывает в каждом случае резкий скачок кривой в течение 1-3 минут (см. рис. 3) и последующее замедление процесса, продолжающееся около 100-120 минут, после чего наблюдается новый подъем тепловыделения, однако более плавный (см. рис. 4). Дальнейший ход кривых показывает тенденцию к сближению экзотермии образцов с контрольным составом, не содержащим ускорителей. Это подтверждает данные по прочности и еще раз свидетельствует о том, что добавки оказывают незначительное влияние на конечные результаты твердения и тепловыделения, но существенно ускоряют эти процессы. В первой серии образцов наибольший скачок тепловыделения при введении дала добавка Centrament Rapid 650, на втором месте Sigunite L-53, затем следуют MEYCO SA 167 и Реламикс Торкрет (рис. 3). Эти данные согласуются с сокращением сроков схватывания цементных растворов, где имеет место такое же расположение ускорителей в ряду эффективности. Добавка Centrament Rapid 651, относящаяся к опытной партии, показала низкую эффективность и снята с производства.

Последовательность расположения кривых тепловыделения для второй серии образцов (с добавкой суперпластификатора) отличается только тем, что MEYCO SA 167 и Sigunite L-53 показали примерно одинаковые значения начального скачка тепловыделения (рис. 5).

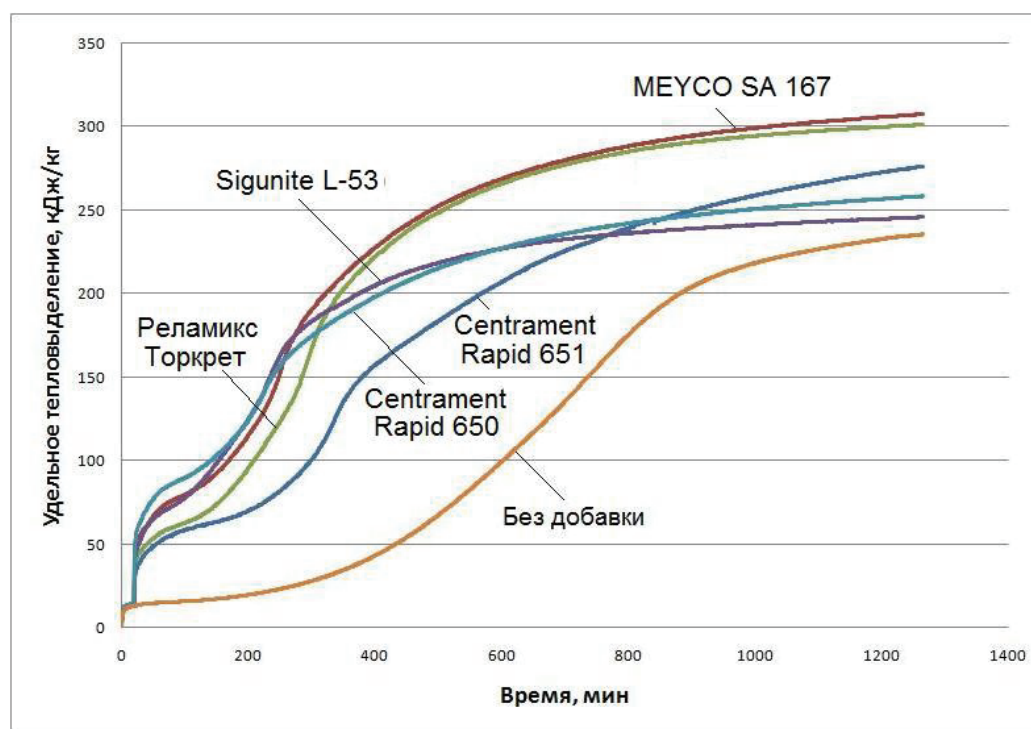


Рисунок 5. Тепловыделение образцов 2-й серии (с гиперпластификатором Muraplast FK63) с добавками-ускорителями в первые 20 часов

Пластифицирующая добавка Muraplast FK63, относящаяся к группе поликарбоксилатов, незначительно повышает тепловыделение цемента в присутствии добавок-ускорителей. Возможно, что это повышение экзотермии связано с более низким В/Ц в присутствии пластификатора. Сам же пластификатор не участвует в химических процессах гидратации цемента. На рис. 6 показано различие в тепловыделении цементного теста, содержащего ускоритель Centrament Rapid 650, в присутствии пластификатора и при его отсутствии. Это различие начинает быть заметным спустя, примерно, 80 минут с момента введения ускорителя. Аналогичная картина наблюдается в случае добавок РеламиксТоркрет и MEYCO SA 167. Вероятно, механизм ускорения схватывания и твердения испытанных добавок заключается в взаимодействии их с продуктами гидратации цемента и образовании гидросульфоалюминатов кальция [10-11]. Этот процесс сопровождается сокращением сроков схватывания цемента и повышением тепловыделения, наблюдаемого при калориметрических исследованиях.

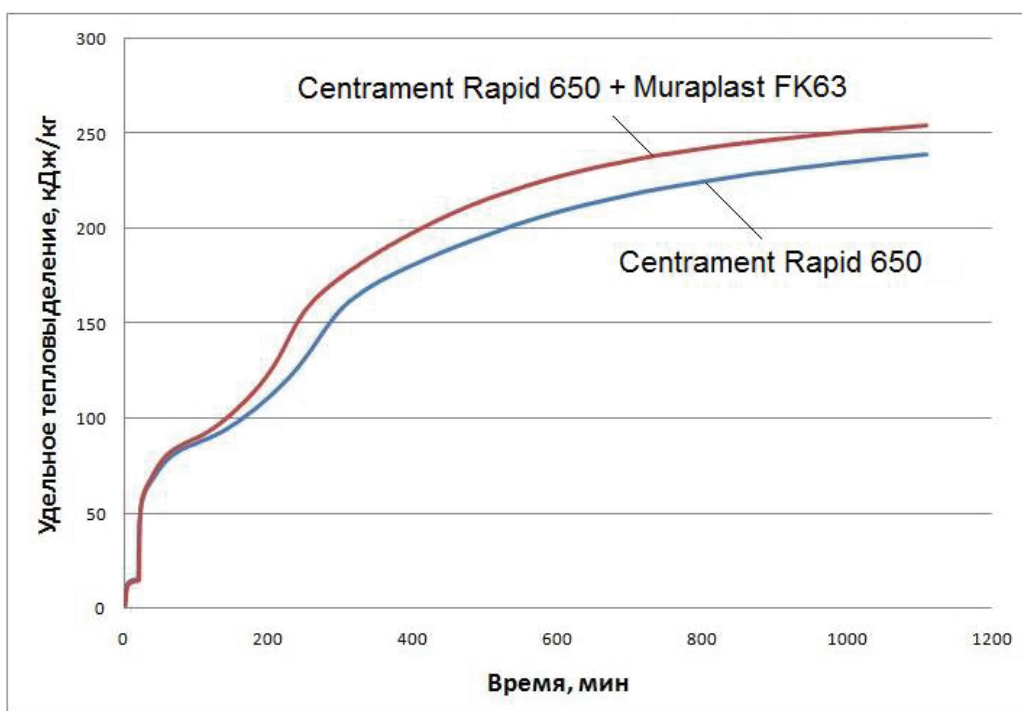
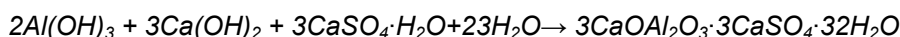


Рисунок 6. Влияние гиперпластификатора Muraplast FK63 на тепловыделение цемента с добавкой-ускорителем Centrament Rapid 650

Соединения алюминия, заявленные в составах бесщелочных ускорителей [12-15], представляют собой сульфаты и гидроксиды алюминия, которые оказывают сильный ускоряющий эффект на схватывание цементных композиций. При этом происходит образование высокосульфатного гидросульфоалюмината кальция $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (фаза AFt, или эттрингит), низкосульфатного гидросульфоалюмината кальция $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaSO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (фаза AFm, или моносульфоалюминат), а также гидроалюминатов кальция, например, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 19\text{H}_2\text{O}$, которые также относятся к фазам типа AFm, имеющим слоистую морфологию. Образование эттрингита происходит по реакциям [5, 16]:



При этом, возможно, гипс, активно взаимодействующий с некоторыми алюмосодержащими добавками, не выполняет функцию регулятора гидратации трехкальциевого алюмината (C_3A) или выполняет эту функцию менее активно [17-18]. В этих условиях гидратация C_3A протекает быстро, с образованием продуктов пластинчатой морфологии (AFm).

На основании проведенных исследований можно заключить, что бесщелочные добавки – ускорители схватывания и твердения на основе сульфатов и гидроксидов алюминия при введении их в цементное тесто через 20 минут после его приготовления вызывают резкий подъем тепловыделения и температуры, при этом значительно ускоряются процессы схватывания и твердения. По эффективности действия добавки можно расположить следующим образом: наиболее эффективной является добавка Centrament Rapid 650, на втором месте Sigunite L-53, затем следуют MEYCO SA 167 и РеламиксТоркрет. Действие этих добавок в присутствии суперпластификатора Muraplast FK63, относящегося к группе поликарбоксилатов, несколько усиливается. То есть суперпластифицирующая добавка повышает тепловыделение цемента. Анализ кривых тепловыделения показывает, что при совместном действии добавок-ускорителей с пластификатором имеет место взаимное влияние их друг на друга, которое следует учитывать при подборе составов бетона.

Литература

1. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика : монография. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
2. Рамачандран В., Фельдмин Р., Бодуэн Р. Добавки в бетон : монография. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
3. Rixom R., Mailvaganam N. Chemical Admixtures for Concrete. E&FN Spon, London, 1999. 446 p.
4. Melbye T., Dimmock R., Garshol K.F. Sprayed concrete for rock support / MBT International Underground Construction Group, Division of MBT () Ltd. Switzerland, 2001. 247 p.
5. Myrdal R. Accelerating admixtures for concrete. State of the art// SINTEF report № SBF BK A07025, Trondheim, 2007. 35 p.
6. Илясов А. Г., Медведева И. Н., Корнеев В. И. Ускорители схватывания и твердения портландцемента на основе оксидов и гидроксидов алюминия // *Металлург*. 2008. №12. С. 73-77.
7. Барабанщиков Ю. Г. Тепловыделение при трении дисперсных систем // *Научно-технические ведомости*. 2004. № 1. С. 221-226.
8. Барабанщиков Ю. Г., Запорожец И. Д. О роли адсорбции воды в тепловыделении цемента // *Бетоны для водопропускных сооружений : Материалы конференций и совещаний по гидротехнике*. Л.: Энергия, 1980. С. 75-78.
9. Барабанщиков Ю. Г. К вопросу об особых свойствах граничных слоев воды // *Межвуз. сб. науч. тр. по гидротехническому и специальному строительству / МГСУ. М., 2002. С. 27-32.*
10. Paglia C., Wombacher F., Bohni H. The influence of alkali-free and alkaline shotcrete accelerators within cement systems. I. Characterization of the setting behavior // *Cem. Concr. Res.* 2001. Vol. 31. Pp. 913-918.
11. Maltese C., Pistolesi C., Bravo A., et al. Effects of setting regulators on the efficiency of an inorganic acid based alkali-free accelerator reacting with a Portland cement // *Cem. Concr. Res.* 2007. Vol. 37. Pp. 528-536.
12. Angelskaar T. Cement accelerator and method // Пат. US2006210716(США), МПК В05D 7/00. Оп. 21.09.2006.
13. Sommer M., Mader U., Wombacher F., Lindlar B. Solidification and hardening accelerator for hydraulic binding agents and method for the production thereof // Пат. US0080110375 (США), МПК С04В 24/00. Оп. 15.05.2008.
14. Lindlar B., Wombacher F., Schurch H., Mader U. Water-based setting and hardening accelerator for hydraulic binders and process for producing it // Пат. US20110017100 (США), МПК С04В 22/04. Оп. 27.01.2011.
15. Weibel M. Stable Sprayed Concrete Accelerator Dispersion Having A High Active Substance Content // Пат. US20100003412 (США), МПК В05D 3/10. Оп. 07.02.2010.
16. Илясов А. Г. Гидратация и твердение цементов в присутствии тонкодисперсных оксидов – гидроксидов алюминия : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11: защищена 2005 / А.Г. Илясов. СПб, 2005. 179 с.
17. Барабанщиков Ю. Г., Парийский А.А. К вопросу о кинетике взаимодействия добавок-электролитов с цементом // *Бетоны для водопропускных сооружений : Мат. Конф. и совещ. по гидротехнике*. Л.: Энергия, 1980. С. 79-82.
18. Барабанщиков Ю. Г., Парийский А. А. Влияние добавок на условия образования гидросульфатоалюмината кальция // *Совершенствование технологии строительного производства : Межвуз. тем. сб. / Томский ун-т. Томск, 1981. С. 131-137.*

* Юрий Германович Барабанщиков, Санкт-Петербург, Россия

Тел. раб.: +7(812)534-12-86; эл. почта: ugb@mail.ru

© Васильев А.С., Барабанщиков Ю.Г., 2012

doi: 10.5862/MCE.34.11

The effectiveness of setting and hardening accelerators for sprayed concrete

Yu.G. Barabanshchikov,
Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia;
A.S. Vasilyev,
MC-Bauchemie, Saint-Petersburg, Russia
 +7(812)534-12-86; e-mail: ugb@mail.ru

Key words

sprayed concrete; setting and hardening accelerators; period of setting; strength; heat generation

Abstract

For evaluating the effectiveness of the admixtures by their physical-mechanical properties a model composition, containing cement, filler and superplasticizer was used. For more detailed research of hydration kinetics of the cement stone with addition of accelerators a calorimetric study of cement pastes was carried out.

This study found that alkali-free setting and hardening accelerators for sprayed concrete, based on aluminum compounds, when added in cement paste after 20 minutes after preparation, provide a sharp rise in heat generation and temperature, and significantly accelerate the setting and hardening of cement paste.

Effectiveness of the admixtures can be arranged as follows: the most effective is the admixture Centrament Rapid 650, second place – Sigunite L-53, after that – MEYCO SA 167 and Relamiks Torkret.

The effect of these admixtures in the presence of superplasticizer Muraplast FK63, that belongs to a group of polycarboxylates, slightly increased. The combined effect of accelerators and plasticizers can be connected with mutual influence on each other, this should be considered in design of the concrete mix.

References

1. Batrakov V. G. *Modifitsirovannyye betony. Teoriya i praktika : monografiya.* [The modified concretes. Theory and practice] Moscow: Stroyizdat, 1998. 768 p. (rus)
2. Ramachandran V., Feldmin R., Boduen R. *Dobavki v beton : monografiya.* [Concrete additives] Moscow: Stroyizdat, 1988. 575 p. (rus)
3. Rixom R., Mailvaganam N. *Chemical Admixtures for Concrete.* E&FN Spon, London, 1999. 446 p.
4. Melbye T., Dimmock R., Garshol K.F. *Sprayed concrete for rock support.* MBT International Underground Construction Group, Division of MBT Ltd. Switzerland, 2001. 247 p.
5. Myrdal R. Accelerating admixtures for concrete. State of the art. *SINTEF report No. SBF BK A07025,* Trondheim, 2007. 35 p.
6. Ilyasov A. G., Medvedeva I. N., Korneyev V. I. *Metallurg.* 2008. No.12. Pp. 73-77. (rus)
7. Barabanshchikov Yu. G. *Nauchno-tekhnicheskkiye vedomosti.* 2004. No.1. Pp. 221-226. (rus)
8. Barabanshchikov Yu. G., Zaporozhets I. D. *Betony dlya vodopropusknykh sooruzheniy : Materialy konferentsiy i soveshchaniy po gidrotekhnike.* [Concretes for culverts: proceedings of conferences and meeting on hydraulic engineering] Leningrad: Energiya, 1980. Pp. 75-78. (rus)
9. Barabanshchikov Yu. G. *Mezhvuz. sb. nauch. tr. po gidrotekhnicheskomu i spetsialnomu stroitelstvu.* [Interuniversity collection of papers on hydraulic and special construction] MGSU. Moscow, 2002. Pp. 27-32. (rus)
10. Paglia C., Wombacher F., Bohni H. The influence of alkali-free and alkaline shotcrete accelerators within cement systems. I. Characterization of the setting behavior. *Cem. Concr. Res.* 2001. Vol. 31. Pp. 913-918.
11. Maltese C., Pistolesi C., Bravo A., et al. Effects of setting regulators on the efficiency of an inorganic acid based alkali-free accelerator reacting with a Portland cement. *Cem. Concr. Res.* 2007. Vol. 37. Pp. 528–536.
12. Angelskaar T. *Cement accelerator and method.* Pat. US2006210716(USA), MPKB05D 7/00. Op. 21.09.2006.

Barabanshchikov Yu.G., Vasilyev A.S. The effectiveness of setting and hardening accelerators for sprayed concrete

13. Sommer Moscow, Mader U., Wombacher F., Lindlar B. *Solidification and hardening accelerator for hydraulic binding agents and method for the production thereof*. Pat. US0080110375 (USA), MPK C04B 24/00. Op. 15.05.2008.
14. Lindlar B., Wombacher F., Schurch H., Mader U. *Water-based setting and hardening accelerator for hydraulic binders and process for producing it*. Pat. US20110017100 (USA), MPK C04B 22/04. Op. 27.01.2011.
15. Weibel M. *Stable Sprayed Concrete Accelerator Dispersion Having A High Active Substance Content*. Pat. US20100003412 (USA), MPK B05D 3/10. Op. 07.02.2010.
16. Ilyasov A. G. *Gidratatsiya i tverdeniye tsementov v prisutstvii tonkodispersnykh oksidov – gidroksidov alyuminiya : dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Cement hydration and hardening in presence of fine-dispersed aluminum oxides and hydroxides: PhD theses] Saint-Petersburg, 2005. 179 p. (rus)
17. Barabanshchikov Yu. G., Pariyskiy A.A. *Betony dlya vodopropusknykh sooruzheniy : Mat. Konf. i soveshch. po gidrotekhnike*. [Concretes for culverts: proceedings of conferences and meeting on hydraulic engineering] Leningrad: Energiya, 1980. Pp. 79-82. (rus)
18. Barabanshchikov Yu. G., Pariyskiy A. A. *Sovershenstvovaniye tekhnologii stroitel'nogo proizvodstva : Mezhvuz. tem. sb.* [Technology improvement of construction industry: interuniversity theme collection of papers] Tomskiy un-t. Tomsk, 1981. Pp. 131-137. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 72-78