

«Реламикс Торкрет»: механизм действия и особенности набора прочности торкрет-бетоном



ПОЛИПЛАСТ

А.И. ВОВК, доктор техн. наук, директор НТЦ ОАО «Полипласт»

Многие специалисты придерживаются точки зрения, что только после появления нового типа пластифицирующих добавок (суперпластификаторов на нафталинсульфонатной и меламинсульфонатной основах) стало возможным широкомасштабное применение в технологии бетона высокоподвижных и литых бетонных смесей. Абсолютно бесспорно, что и новейшая разработка в этом направлении (самоуплотняющиеся бетоны) была бы просто невозможна без высокоэффективных синтетических суперпластификаторов.

Во многом аналогичная ситуация сложилась и с технологией торкретирования. Сам способ нанесения бетона (или раствора) набрызгом известен давно (с 1910 г.) [1]. И ускорители схватывания являются одними из первых вспомогательных веществ, которые начали целенаправленно применять в технологии бетона как химические добавки. Но побочные эффекты (в первую очередь отрицательное влияние на долговечность) таких классических ускорителей, как хлорид кальция, жидкое стекло, алюминат натрия оказались настолько существенны, что жестко ограничили величину допустимой дозировки. Соответственно, это означало и ограничение по основному эффекту.

Ситуация кардинальным образом поменялась после создания нового типа ускорителей: бесхлоридных нещелочных ускорителей схватывания.

Основой добавок такого типа является сульфат алюминия. Формально сульфат алюминия является легкорастворимым соединением: растворимость безводной соли составляет при 0°С 31,2 г на 100 г воды [2], что соответствует ~24% раствору. Однако если рассматривать данное вещество как химическую добавку, то такой раствор будет слишком разбавленным. Действительно, дозировки ускорителя при торкретировании составляют несколько процентов, и при такой концентрации это будет означать введение значительного количества избыточной воды. Кроме того, для сульфата алюминия характерно образование высокогидратированных форм: кристаллогидрата с 18 молекулами воды при 20°С и с 27 молекулами воды при низких положительных температурах, т.е. концентрированные

растворы сульфата алюминия весьма склонны к выпадению осадка вплоть до полного схватывания всего объема.

Поэтому при создании бесхлоридного нещелочного ускорителя для технологии торкретирования необходимо решать 2 проблемы: стабилизации концентрированных растворов сульфата алюминия и усиления эффекта схватывания за счет надлежащего выбора вспомогательных компонентов.

Компания «Полипласт» стала первой отечественной компанией, разработавшей оригинальный состав подобной добавки под названием «Реламикс Торкрет» (ТУ

5745-028-5804865-2008). Сопоставление физико-химических характеристик «Реламикс Торкрет» и наиболее известных зарубежных аналогов (табл. 1) показывает неидентичность составов, а значит, и способности стабилизации, выбранные каждой компанией, отличаются.

Механизм моментальной потери подвижности бетонных смесей при введении нещелочных ускорителей основан на создании мгновенного пересыщения жидкой фазы по Al^{3+} и SO_4^{2-} , что с учетом щелочной среды жидкой фазы и наличия в ней значительных количеств Ca^{2+} приводит к бы-

Таблица 1. Физико-химические свойства нещелочных ускорителей схватывания (НЩУС)

	Реламикс Торкрет	Коммерчески доступные ускорители	
		тип 1	тип 2
Внешний вид	серовато-бежевая жидкость с кисловатым запахом	непрозрачная белая жидкость со сладковатым запахом	светло-бежевая жидкость с кисловатым запахом
Плотность, г/см ³	1,42	1,45	1,47
Концентрация, %	51	57	55
pH	3,6	3,7	4,1

Таблица 2. Влияние НЩУС на состав новообразований

Срок гидратации, час	Содержание фаз, %, в образце					
	референтный		7% НЩУС		18% НЩУС	
	СН	ГСАК	СН	ГСАК	СН	ГСАК
1	1,9	2,3	1,6	4,2	0,9	14,4
2	2,0	2,3	1,6	9,0	1,2	15,0
4	2,7	2,4	2,0	9,0	1,2	18,7

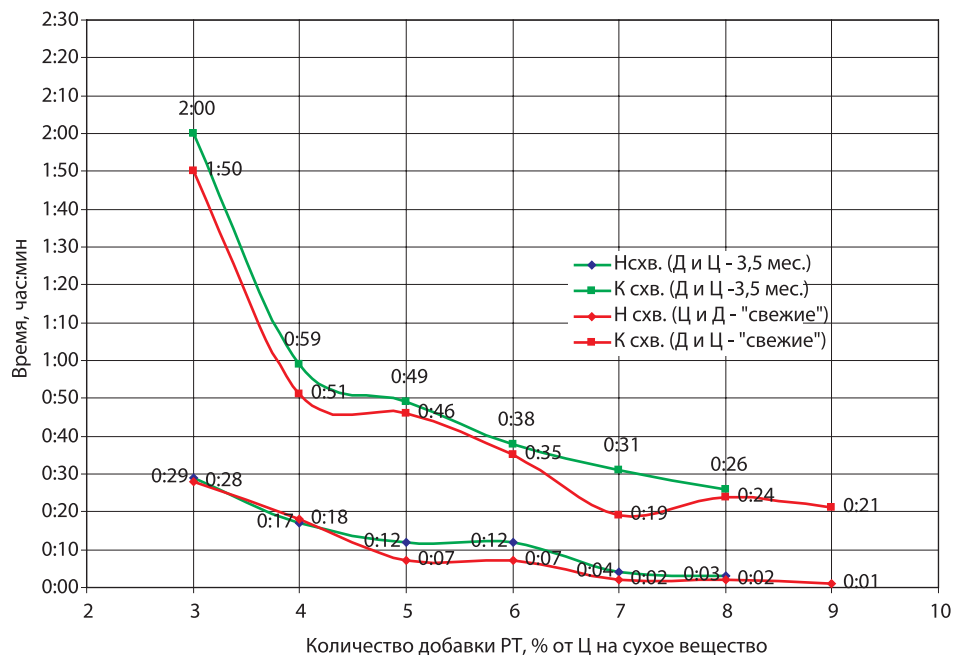


Рисунок 1. Влияние времени хранения цемента на сроки схватывания цементного теста с В/Ц = 0,3 с добавкой «Реламикс Торкрет»

торму образованию и осаждению этtringита, кристаллы которого, по сообщению ряда исследователей, уже через 1 час могут достигать размеров 1 мкм [3].

Согласно классическим положениям гидратации портландцемента, массовое образование CSH-фазы вследствие гидратации алита обычно начинается лишь через несколько часов после затворения цемента водой [4]. Таким образом, на самых ранних этапах твердение цементных систем с «Реламикс Торкрет» будет обусловлено образованием этtringита, и в этом смысле механизм набора прочности портландцемента с нещелочными ускорителями данного типа во многом аналогичен сульфоалюминатному цементу. По данным [3], при использовании нещелочного ускорителя уже через час количество AF_4 -фазы возрастает в 2-3,5 раза при среднем уровне дозировок ускорителя и в 6-7 раз при повышенной дозировке (табл. 2). В последующие часы твердения наблюдается дальнейший рост содержания гидросульфоалюминатов кальция, т.е. введенный в избытке ускоритель продолжает взаимодействовать с вновь образующимися продуктами гидратации портландцемента, обеспечивая дальнейший рост прочности.

Изложенный механизм ускоряющего действия предполагает (при прочих равных условиях), что при использовании различных цементов скорость схватывания и первоначального набора прочности будет определяться в первую очередь дозировкой «Реламикс Торкрет». Для проверки данной гипотезы нами была сопоставлена кинетика твердения бетонов одного состава (Ц:П:Щ = 1:2:1,5), приготовленных на портландцементе различных заводов. Переменными в данном случае служили заявленная активность цемента (М400-М600), наличие или отсутствие минеральной добавки (Д0-Д20) и, конечно, реальные отличия в минералогии клинкера различных заводов. Как следует из данных, представленных в табл. 3, водопотребность большинства цементов оказалась идентичной (В/Ц=0,38), исключение составил лишь мордовский цемент, содержащий минеральную добавку с высокой водопотребностью.

Через 3 часа прочность образцов бетона находилась в диапазоне 0,29-0,57 МПа, при этом не наблюдалось никакой корреляции между прочностью бетона, с одной стороны, и В/Ц, активностью цемента и наличием минеральной добавки – с другой. Эти данные подтверждают положение, что на самых ранних стадиях прочность бетона с нещелочными ускорителями определяется скоростью и степенью насыщения жидкой фазы продуктами гидратации клинкерных минералов и дозировкой самого ускорителя.

Таблица 3. Кинетика набора прочности на разных цементах

Цемент	Ускоритель, дозировка, %		Характеристики бетонной смеси		Прочность бетона на сжатие, МПа, в возрасте, час		
			В/Ц	ОК, см	3	5	24
Новороссийский 500Д0Н	Реламикс Торкрет	6	0,38	П4	0,38	0,95	26,1
Вольский 500 Д20	Реламикс Торкрет	6	0,38	П4	0,48	0,76	11,4
Мордовский 400 Д20	Реламикс Торкрет	6	0,44	П4	0,43	0,57	8,3
Белгородский 500 Д0	Реламикс Торкрет	6	0,38	П4	0,29	0,57	16,2
Себряковский 500 Д0	Реламикс Торкрет	6	0,38	П4	0,38	0,52	15,1
Новороссийский 500 Д0	Реламикс Торкрет	6	0,38	П4	0,57	0,95	40,0

Таблица 4. Влияние вида и соотношения добавок на набор ранней прочности

№	Цемент	Наименование образца добавки	Дозировка, %	В/Ц	ОК	Прочность бетона на сжатие, МПа, в возрасте, час		
						3	5	24
1	Новороссийский ПЦ 500 Д0	поликарбоксилат-замедлитель + Реламикс Торкрет	0,2+2,5	0,38	П4	0,67	1,43	19,7
		поликарбоксилат-замедлитель + Реламикс Торкрет	0,2+3,0	0,38	П4	0,86	2,04	20,0
2	Новороссийский ПЦ 500 Д0 Н	поликарбоксилат + Реламикс Торкрет	0,2+2,5	0,38	П4	1,05	2,09	22,6
		поликарбоксилат-замедлитель + Реламикс Торкрет	0,2+2,5	0,38	П4	0,62	1,14	18,8
3	Кавказцемент ПЦ500 Д0	СП-1 + Реламикс Торкрет	0,5+2,5	0,42	18	0,48	0,86	19,9
		Линамикс СП-180 + Реламикс Торкрет	0,8+3,0	0,42	18	0,29	0,57	19,6

Таблица 5. Прочность торкрет-бетона (по зернам) с различными суперпластификаторами

Суперпластификатор	Дозировка, %	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут				
		1	3	7	28	56
Коммерческий поликарбоксилат-1	0,8 тов.	13,9	30,2	32,6	39,8	-
Линамикс СП-180	0,5	17,0	31,9	37,4	42,0	-
Линамикс СП-180	0,5	-	31,2	36,6	40,1	42,1
Коммерческий поликарбоксилат-2	0,7 тов.	-	25,7	29,0	30,7	42,4
Линамикс ПК	0,3	-	27,1	30,3	33,7	39,8

В более поздние сроки влияние активности цемента, его минералогического и вещественного состава проявляется достаточно отчетливо. Через 24 часа гидратации, как и следовало ожидать, по прочностным показателям составы бетонов расположились в порядке:

ПЦ 600 Д0 >> ПЦ 500 Д0 >> ПЦ 500 Д20 > ПЦ 400 Д20.

При исследовании «Реламикс Торкрет» в НИЦ «Тоннели и метрополитены» в качестве несомненного достоинства добавки отметили факт, что ее эффективность никак не снизилась при использовании лежалого (3,5 мес.) цемента как по влиянию на сроки схватывания (рис. 1), так и по набору прочности. В образце с коммерчески доступным импортным ускорителем (тип 1 по табл. 1) от-

мечалось значительное снижение скорости набора прочности после 7 сут. твердения.

Как любая технология бетона, торкретирование имеет ряд особенностей. Помимо специфических требований к составу бетонной смеси, типу и granulometрии заполнителей качество укладываемого бетона сильно зависит от вида обрабатываемой поверхности (и ее подготовки), технических характеристик торкрет-установки и особенно от квалификации оператора установки.

Отдавая должное мастерству оператора, следует отметить, что не меньшее значение имеет также комплекс применяемых добавок. Обязательными (но не единственными) компонентами этого комплекса являются суперпластификатор и ускоритель схватывания.

Таблица 6. Влияние дозировки «Реламикс Торкрет» на кинетику твердения торкрет-бетона в ранние сроки

Суперпластификатор, дозировка, %	Реламикс Торкрет, %	Погружение конуса (мм) или прочность (МПа)								
		конус	конус	конус	конус/пресс	конус/пресс	конус/пресс	пресс	пресс	пресс
		5 мин.	15 мин.	30 мин.	1 час	1 ч 30 м	2 час.	3 час.	5 час.	1 сут.
Поликарбоксилат-замедлитель, 0,2%	2,5	39,5	30,2	19,6	14,5/0,38	11,3/0,48	9,8/0,57	0,86	1,81	16,7
	3,0	28,0	21,2	16,2	8,6/0,62	7,6/0,8	7,0/0,95	1,62	2,42	20,7
Поликарбоксилат, 0,2%	2,5	31,3	24,3	18,1	13,3/0,5	12,5/0,6	9/0,7	1,05	2,09	22,6
	3	30,1	22,4	16,2	9,5/0,6	9,5/0,62	8,6/0,76	1,14	2,28	21,9

Таблица 7. Кинетика изменения прочности в производственных испытаниях

Возраст, час : мин	Прочность, МПа, для комплекса добавок			
	Линамикс ПК + Реламикс Торкрет 1% + 5,2%	Линамикс СП-180 + Реламикс Торкрет 1,4% + 6,9%	Линамикс СП-180 + Реламикс Торкрет 1,4% + 7,5%	VC305AT + Реламикс Торкрет 0,7% + 7%
0:05	0,09	0,08	0,15	0,10
0:10	0,10	0,12	0,14	0,19
0:15	0,14	0,18	0,18	0,16
0:20	0,21	0,16	0,25	0,18
0:30	0,26	0,20	0,40	0,24
1:00	0,37	0,27	0,47	0,34

Задачей суперпластификатора является обеспечение: низких значений В/Ц (обычно 0,35-0,45), гарантирующих низкую проницаемость и, соответственно, высокую долговечность возводимых конструкций; высокой подвижности бетонных смесей (?П4) для нормальной подачи через сопло торкрет-установки; надежной сохраняемости подвижности во времени.

Если первые 2 характеристики могут быть обеспечены при использовании любого суперпластификатора, то проблема сохраняемости подвижности является более сложной. Как правило, возникают ситуации, когда бетонная смесь должна сохранять высокую подвижность в течение 3 часов и более. Поэтому предпочтительным является использование добавок-суперпластификаторов с эффектом замедления схватывания.

В качестве подобного суперпластификатора может быть использована комплексная добавка на нафталинсульфонатной основе (Линамикс СП-180) или суперпластификатор поликарбоксилатного типа Линамикс ПК. Достоинством «Реламикс Торкрет» является то, что добавка хорошо работает в комплексе с добавками обоих типов, в том числе с коммерчески доступными импортными поликарбоксилатами (табл. 4). При анализе данных табл. 4 отмечается четкая закономерность: чем сильнее выражен эффект замедления у суперпластификатора, тем ниже наблюдаемые значения прочности после введения «Реламикс Торкрет» (в диапазоне 3-5 час.). Это наблюдается и для добавок на основе нафталинсульфонатов (состав 3), и на основе поликарбоксилатов (состав 2). Такой эффект закономерен, поскольку замедлители схватывания влияют в первую очередь на гидратацию алита и C_3A

– самых активных клинкерных фаз, которые и обеспечивают насыщение жидкой фазы ионами Ca^{2+} и Al^{3+} , реагирующими далее с компонентами ускорителя. В известном диапазоне скорость набора прочности можно регулировать повышением дозировки ускорителя (табл. 4, состав 1, строки 1-2).

Как правило, в возрасте более 1 суток при прочих равных условиях (состав бетонной смеси, материалы, В/Ц, температура) прочность бетона с суперпластификатором нафталинсульфонатного типа не уступает – а как правило, превосходит – прочность бетона с поликарбоксилатными добавками (табл. 5). Однако непосредственно в момент торкретирования очень важно сцепление наносимого слоя с основанием, а эта характеристика пропорциональна прочности при сжатии [4]. Проведенные натурные испытания (табл. 7) подтвердили данные предварительных лабораторных исследований (табл. 6), что колебания прочностных показателей для добавок-замедлителей разной химической природы не слишком существенны и легко корректируются незначительным изменением расхода ускорителя. В обоих случаях увеличение дозировки «Реламикс Торкрет» на ~1% (по товарному продукту) позволило существенно повысить прочность бетона в период 5-60 мин. Согласно данным табл. 7, в производственных условиях «Реламикс Торкрет» обеспечил необходимую прочность на самых ранних этапах укладки торкрет-бетона со всеми изученными типами суперпластификаторов (Линамикс СП-180, Линамикс ПК, импортные поликарбоксилаты). Важно отметить, что оптимальная дозировка «Реламикс Торкрет» практически не отличалась от рабочих дозировок импортных нещелочных ускорителей.

По результатам собственных лабораторных исследований и производственных испытаний НИЦ «Тоннели и метрополитены» рекомендовал «Реламикс Торкрет» в комплексе с суперпластификаторами компании «Полипласт» для набрызг-бетонов, используемых при креплении выработок строящихся тоннелей. В настоящее время «Реламикс Торкрет» используется ведущими компаниями, участвующими в строительстве объектов транспортной инфраструктуры к Олимпиаде 2014 г.: Тоннельным отрядом 44, Тоннельдорстроем, ЮГСК.

Библиографический список

1. M. Collepardi. *The New Concrete*. Publ. by Grafiche Tintoretto-Vicolo Verdi 45/47 – Castrelle di Villorba TV, 2006, 421 p.
2. *Краткая химическая энциклопедия*. М., «Советская энциклопедия», 1961, т. 1, с. 158-159.
3. C. Maltese, C. Pistolesi, D. Salvioni et al. *Effects of High Accelerator Dosages on the Physical, Chemical and Morphological Properties of a Hydrating Portland Cement Paste*. Proc. Ninth ACI International Conference, Seville, Spain, October 2009, SP 262-15, p. 201-213.
4. X. Тејлор. *Химия цемента*. М., «Мир», 1996, 560 с.

ООО «Полипласт Новомосковск»
301653, Тульская обл.,
г. Новомосковск,
ул. Комсомольское шоссе, д. 72
Тел./факс: (48762) 2-11-04, 2-11-40
E-mail: sekretar@polyplast-nm.ru
www.polyplast-un.ru

ООО «Полипласт-УралСиб»
623104, Свердловская обл.,
г. Первоуральск, ул. Заводская, д. 3
Тел./факс: (3439) 27-35-00,
27-35-03, 27-35-06, 27-35-10
E-mail: info@ppus.org
www.polyplast-un.ru

ООО «Полипласт Северо-запад»
188480, Ленинградская обл.,
г. Кингисепп, промзона «Фосфорит»
Тел./факс: (81375) 2-69-98,
9-61-00, 9-61-01
E-mail: sekretar@polyplast-nw.ru
www.polyplast-un.ru