Н.И.Чепурных, К.В.Полянский

Применение микрокремнезема Братского алюминиевого завода в производстве цемента

Общим компонентом, придающим добавкам активность как природного, так и техногенного происхождения, является аморфный кремнезем. В физическом смысле аморфный микрокремнезем является пылью, которую образуют микроскопические шарики (микросферы) размером 0,1-0,3мкм. Известен, например, вторичный продукт ферросплавного производства – микрокремнезем конденсированный, содержащий 80-90% тонкодисперсного аморфного кремнезема. В настоящее время существуют добавки для бетонных смесей на основе конденсированного микрокремнезема. В бетонных смесях микрокремнезем действует двояко. Сферическая форма частиц содействует усилению подвижности смеси, наличие миллионов микросфер облегчает перемещение компонентов бетонной смеси по отношению друг к другу, способствуя равномерному распределению компонентов, повышению удобоукладываемости смеси. Введение же в бетонную смесь микрокремнезема, проявляющего пуццолановую активность, создает условия для превращения нестабильной гидроокиси кальция в кристаллический гидрат силиката кальция, в результате возрастает прочность и химическая стойкость цементного камня и бетона.

Как потенциальная активная добавка к цементу большой интерес представляет микрокремнезем братского алюминиевого завода, являющийся отходом кремниевого производства. Микрокремнезем БрАЗа представляет собой тонкодисперсный порошок с содержанием аморфного оксида кремния до 85%.

В 2003 году на ОАО «Ангарскцемент» были проведены опытно-промышленные испытания по технологии использования микрокремнезема БрАЗа в качестве активной минеральной добавки при помоле клинкера. Полученные результаты позволили наметить технологию ввода микрокремнезема в производство цемента.

В этом же году в ОИМК АУС (отдел испытаний материалов и конструкций ангарского управления строительства) были проведены опытные испытания цемента с добавкой микрокремнезема, с добавкой микрокремнезема + зола ТЭС (введенного непосредственно в процессе приготовления цемента по заводской технологии). Целью испытания цемента было определение влияния добавки микрокремнезема(далее МК) в цемент на рост прочностных показателей при приготовлении тяжелого бетона. Из общего числа партий, поставленных ОАО «Ангарскцемент» для проведения опытных работ, было выбрано три партии с содержанием добавки МК 4,5%, с содержанием добавки МК + зола 15% и с содержанием добавки золы 16%. Далее из этих партий были изготовлены контрольные образцы тяжелого бетона класса В 22,5 для проверки набора прочности после пропаривания и через 7,14,28 суток, результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние добавок на активность цемента

Номер партии	Содержание добавки в цементе, %	Прочность образцов $R_{сж}$, МПа, через			
		сутки	7 суток	14 суток	28 суток
2	Микрокремнезем 4,5%	22,8	23,1	29,6	35,7
8	МК+зола ТЭС 15%	16,6	13,5	21,4	25,7
9	зола ТЭС 16%	21,6	18,6	23,3	29,2

По общим показателям проверенных партий было сделано заключение, что добавка микрокремнезема в цемент повышает прочностные характеристики тяжелого бетона как при пропаривании, так и при естественном твердении. Лучшие показатели оказались у цемента, содержащего только добавку микрокремнезема (без золы ТЭС), но у последнего оказались недопустимые сроки схватывания (начало схватывания 13 минут).

Данные испытания были проведены как прикидочные для определения положительного или отрицательного результата. Более детальные выводы специалисты ОИМК АУС затруднились сделать, так как данные по количеству введенной добавки микрокремнезема в цемент, представленные ОАО «Ангарскцемент», приблизительные из-за заводских трудностей обеспечения точности дозировки.

Для уточнения влияния микрокремнезема БрАЗа на характеристики бетона были проведены испытания на ЖБК ДСТ ВСЖД.

Работа проводилась в две стадии:

- лабораторная, цель - определить оптимальную дозировку МК в цемент;

- опытно-промышленная, цель – определить технологичность нового материала (цемент с добавкой МК) и

физико-механические характеристики полученных изделий.

При проведении испытаний использовались материалы, обычно потребляемые ЖБК, а именно:

- портландцемент марки 500 Ангарского цементного завода; нормальная густота цементного теста 24,5%; сроки схватывания: начало 2 ч. 25 мин., конец 4 ч. 05 мин; активность 51,5 МПа.

- песчано-гравийная смесь карьера Джида; содержание песка 70%; модуль крупности 2,85; содержание пылевидных и глинистых частиц 3%.

- щебень карьера Ангосольский фракции 5-25мм; содержание отмучиваемых 1,0%.

Лабораторная стадия исследований

При лабораторных исследованиях в качестве исходного состава был принят заводской состав бетона класса В15 (М200). МК вводился в состав бетона в количестве 10,15,20% от массы цемента, предварительно смешанный с цементом, т.к. ввод МК в виде пульпы дал отрицательные результаты.

Из полученного бетона формовались образцы для испытаний. Формы с образцами ставились на теплообработку по параметрам, принятым в основном производстве, по режиму 3+3+6+2 (предварительная выдержка + подъем температуры до 80^0С + изотермический прогрев при температуре 80^0С + охлаждение), результаты испытаний приведены в табл. 2.

Количество МК составило во всех случаях 10% от массы цемента, количество С-3 0,5;0,7;1,0% от массы цемент+МК.

По результатам экспериментов использование МК БрА3а и С-3 привело к положительным результатам (табл. 3).

Начальная прочность образцов (через сутки после изготовления) практически не отличалась от прочности контрольного образца, а через 28 суток наблюдалось увеличение прочности с 37,7 МПа у контрольного образца до 48,5 МПа у образца с МК+ 1% С-3, что показывает принципиальную возможность использования МК БрА3а в производстве бетонных масс с повышенными характеристиками.

Особенно хорошо показали себя образцы с МК + 1% С-3 при испытании на морозостойкость и водонепроницаемость. Так, контрольные образцы (без МК) имели показатель водонепроницаемости (W) от 2 до 4, а образцы с 10% МК + 1% С-3 имели этот показатель не ниже 20. По морозостойкости (F) контрольные образцы имели показатель 50, а опытные имели этот показатель не ниже 200.

Таким образом, можно сделать предположение, что применение цемента с добавкой МК позволит на бетонных заводах получать не только более прочную продукцию, но и обладающую повышенными эксплуатационными свойствами.

Таблица 2

Зависимость прочности бетона от процентного содержания микрокремнезема

Показатели	Полученные значения			
№ состава	1	2	3	4
Цемент,кг	352	308	288	265
МК,кг	-	34 (10%)	50 (15%)	66 (20%)
Вода,л	180	197	213	228
ПГС,кг	1011	973	971	950
Щебень,кг	851	823	817	800
(Ц+МК)/вода	1,96	1,73	1,59	1,45
r	0,38	0,38	0,38	0,38
О.К. см.	6,5-6,0	6,1-5,7	5,7-5,0	5,7
$R_{сж.}$ через сутки, МПа	30,9	29,6	27,9	27,1
$R_{сж.}$ 28суток, МПа	43,0	37,0	30,6	32,6

Из полученных результатов (табл. 2) стало очевидно, что добавление МК к исходной массе приводит к некоторому снижению прочности пропорционально количеству введенного МК.

Из литературных источников известно, что МК ферросплавного производства применялся для изготовления бетонных смесей с добавкой суперпластификатора С-3. Поэтому была проведена вторая серия опытов по получению бетонов с использованием МК БрА3а и суперпластификатора С-3.

Опытно – промышленные испытания применения МК в технологии изготовления бетонных изделий

При ручном изготовлении образцов на лабораторной стадии было отмечено, что масса с МК очень тяжелая, трудно укладывается в формы и требует значительных усилий при работе с ней. Поэтому в процессе проведения опытно – промышленных испытаний большое внимание было обращено на визуальный контроль процесса смешения МК с цементом, вытекания смеси из бункера и легкости заполнения форм бетонной смесью.

Анализ требований к продукции комбината ЖБК показал, что наибольшие требования предъявляются к тротуарной плитке, работающей в условиях повышенной

Таблица 3

Влияние суперпластификатора и микрокремнезема на прочность бетона

Материал, показатели	Полученные значения			
№ состава	1	2	3	4
С-3,% (кг)	0,5 (1,71)	0,7 (2,34)	1,0 (3,24)	0,7 (2,46)
МК,кг	34	34	34	-
Цемент,кг	308	308	308	352
Вода,л	180	151	140	137
ПГС,кг	973	973	973	1011
Щебень,кг	823	823	823	851
(Ц+МК)/вода	1,9	2,26	2,44	2,60
r	0,38	0,38	0,38	0,38
О.К. см.	6-7,5	5,5-8,5	8,0-10,0	18,0
$\gamma_{бет.см.}$, кг/см^3	2360	2291	2281	2400
$\gamma_{теор.}$, кг/см^3	2320	2291	2281	2354
$R_{сж.}$ через сутки, МПа	29,3	34,3	33,7	33,5
$R_{сж.}$ через 28суток, МПа	44,0	47,8	48,5	37,7

интенсивности движения. В соответствии с ГОСТом 17608-91 « Плиты бетонные тротуарные» технические условия должны отвечать следующим требованиям:

- прочность бетона на сжатие В22,5;В22;В30;В35;
- прочность на растяжение при изгибе $В_{В/В}$ 3,2; $В_{В/В}$ 3,6; $В_{В/В}$ 4,0; $В_{В/В}$ 4,4;
- морозостойкость F300; F200; F150; F100;
- истираемость бетона по ГОСТ 13015: 0,7 г/см^2 - повышенная интенсивность движения; 0,8 г/см^2 – средняя интенсивность движения; 0,9 г/см^2 – малая интенсивность движения;

водопоглащение бетонных плит не должно превышать по массе,%:

5 - для плит из тяжелых бетонов;

6 – для плит из мелкозернистых бетонов.

Для испытаний было изготовлено более 500 шт. плит тротуарных из бетона, содержащего 5 и 15 % МК БрА-3а.

По результатам экспериментов использование МК БрА3а и С-3 привело к положительным результатам (табл. 4).

Прочность опытных образцов на сжатие через 28 суток составила 45,3 МПа и 39,3 МПа, что на 29,4% и 12,3% больше набора прочности контрольного образца. После проведения промышленных испытаний был составлен акт, в котором была отмечена высокая работоспособность механизмов (МК не залеживался в бункерах, хорошо истекал из течек, а полученный бетон обладал повышенной подвижностью при формовании).

Анализ полученных результатов за все время испытаний позволил сделать следующие выводы:

1. Цемент, полученный при совместном помоле

Таблица 4

Составы и результаты испытаний бетонов, полученных в заводских условиях

Наименование показателя	По ГОСТ 17608 - 91	Партия 1	Партия 2
Цемент,кг	-	530	481
МК,кг	-	25 (5%)	74,1 (15%)
Вода,л	-	176	176
ПГС,кг	-	965	965
Щебень,кг	-	661	661
С-3,%	-	1,0	1,0
О.К. см.	-	7,5-9,0	5-6
r	-	0,37	0,37
Плотность бетонной смеси, кг/м^3	-	2260	2260
$R_{сж.}$ через сутки после пропарки, МПа	-	36,2	22,2
$R_{сж.}$ через сутки, МПа	35	44,3	42,4
$R_{сж.}$ через 28суток, МПа	35	45,3	39,3
Истираемость, г/см^2	0,7	0,45	0,4
Водопоглощение,%	5	3,6	3,5
Морозостойкость	300	350	350

клинкера и МК имеет большую активность, чем цемент, полученный при помоле клинкера с золой-унос.

2. Тяжелый бетон, полученный из цемента с добавкой МК, непосредственно введенного в мельницу при помоле клинкера, имеет лучшие прочностные показатели, чем тяжелый бетон, полученный при совместном измельчении клинкера и золы-унос.

3. Бетон и бетонные изделия, полученные из цемента с добавкой МК смешанного непосредственно на ЖБК с добавлением суперпластификатора С-3, превосходит бетон без добавления МК по таким показателям, как прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, истираемость.

Использование МК БрАЗа в технологии получения железобетонных изделий на ЖБК ВСЖД возможно и представляет особый интерес для изготовления фундаментных блоков, тротуарных плит, бордюров, водоотводных труб и т. д.

Однако следует отметить следующее:

1. Цемент, полученный с добавкой МК, введенного непосредственно при помоле клинкера, имел недопустимые сроки схватывания 13-15 минут, тогда как согласно ГОСТ 10178-76 начало схватывания портландцемента должно наступать не ранее 45 минут от момента затворения.

2. Из-за трудностей обеспечения точной дозировки в цементную шихту, в 2003 году на заводе применялись пневмопитатели заводской конструкции, данные о количестве добавки МК в цементе приблизительные, что не позволило определить оптимальную добавку МК в цемент.

Для дальнейшего применения МК БрАЗа в заводской технологии получения цемента с активными минеральными добавками необходимо определить оптимальный процент ввода МК, при котором полученный цемент будет удовлетворять требованиям ГОСТа, в частности по срокам схватывания.

Одновременно необходимо выявить, как отразится на производительности мельниц совместный помол клинкера и МК БрАЗа.