

ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА НА РАСХОД ШПЦ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

Гаркави М.С., Якубов В.И., Трубкин И.С.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

В последнее время возрастает интерес к проблеме снижения расхода цемента в бетоне и, следовательно, его себестоимости. Одним из путей снижения расхода цемента в бетоне является модификация его микрокремнеземом. Нами определена эффективность добавки микрокремнезема в бетонах классов В15...В25 с маркой по удобоукладываемости П1, полученных на основе шлакопортландцемента (ШПЦ).

В работе использовали ШПЦ М400 Магнитогорского цементно-огнеупорного завода, характеризующийся содержанием в клинкере C_3S , C_2S , C_3A и C_4AF – 62,5, 9,4, 8,2 и 13,2 %; щебень горно-обогатительного производства ОАО ММК фракции 10...20 мм с пустотностью 50,5 % и маркой по прочности 1000; песок речной фракции 0...5 мм с модулем крупности 3,0 и водопотребностью 12,1%. В качестве добавок применяли микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината с содержанием SiO_2 65...83 % и суперпластификатор С-3 порошкообразный, снижающий водопотребность бетонной смеси на 17,5 %.

Исходные составы бетонных смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные составы бетонных смесей

Класс бетона по прочности на сжатие	Удобоукладываемость, см	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Ц/В	Плотность бетонной смеси, кг/м ³
		Ц	С-3	В	П	Щ		
В15	3 – 5	286	-	209	848	1207	1,37	2550
		236	1,18	173	942	1188		2540
В25	3 – 5	407	-	209	734	1200	1,95	2550
		338	1,68	173	806	1223		2540

В бетонные смеси исходных составов вводили микрокремнезем в количестве 0; 5; 10; 15 % от массы цемента. Бетонную смесь готовили вручную. Микрокремнезем и цемент предварительно перемешивали в круглодонной чаше до видимой однородности. Суперпластификатор предварительно растворяли в воде затворения. Из бетонной смеси каждого состава формовали шесть образцов-кубов с ребром 10 мм, уплотнение производили на стандартной лабораторной виброплощадке в течение 15...20 с. в зависимости от удобоукладываемости смеси. Три образца пропаривали в камере при температуре 75 – 80 °С по режиму 3 + 6 + 3 ч, оставшиеся три образца каждого состава помещали в камеру с нормальными условиями для определения прочности на сжатие в возрасте 28 сут.

Расчет прогнозируемого расхода (экономии) цемента в равнопрочных бетонах производили в следующей последовательности:

- сначала определяли удельную величину фактического расхода цемента (C_{ϕ}) на единицу фактической прочности (R_{ϕ});
- затем путем умножения C_{ϕ}/R_{ϕ} на требуемую прочность (фактическую прочность бетона без добавки микрокремнезема) определяли прогнозируемый расход цемента;

— прогнозируемую экономию цемента определяли как разность между фактическим расходом цемента в бетоне без добавки микрокремнезема и прогнозируемый расход цемента в модифицированном бетоне.

Фактические составы бетонных смесей с добавкой микрокремнезема, их удобоукладываемость, средняя плотность и прочность бетонов приведены в табл. 2.

Таблица 2
Влияние микрокремнезема на свойства бетонных смесей и бетонов

Класс бетона	Добавка микрокремнезема, % от Ц	Расход материалов на 1 м ³ смеси, кг					Осадка конуса, см	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	
		Ц	МК	В	П	Щ			пропаривание	норм. условия
В15	0	286	-	209	848	1207	5	2550	9,1	20,0
	5	280	14,1	205	835	1186	3	2520	12,5	24,2
	10	276	27,7	202	819	1165	1	2490	15,6	27,1
	15	272	40,1	199	810	1154	0	2475	17,0	28,8
В25	0	407	-	209	734	1200	5	2550	16,5	32,0
	5	398	19,9	204	711	1177	2	2510	23,0	34,9
	10	390	39,0	200	687	1164	0	2480	27,0	38,8
	15	384	57,6	197	677	1154	0	2470	31,0	42,1

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что введение в бетонную смесь микрокремнезема сопровождается:

— снижением ее плотности на 30...80 кг/м³, что объясняется, по-видимому, высокой пористостью частиц микрокремнезема с размером частиц 0,01...1 мкм, состоящих в основном из аморфного диоксида кремния [1];

— частичной потерей удобоукладываемости, что связано также с увеличением содержания в смеси супертонких высокопористых частиц микрокремнезема;

— ростом прочности бетона пропаренного на 38...89 %, а твердеющего в нормальных условиях на 9...44 %.

Возрастание прочности бетонов с добавкой микрокремнезема обеспечивается [2,3] взаимодействием аморфного диоксида кремния с продуктами гидролиза C_3S и C_2S с образованием гидросиликатов кальция $CSH(I)$, обладающих высокой прочностью и увеличивающих сцепление цементной матрицы с зернами заполнителя (улучшается качество контактной зоны). Более высокий рост прочности модифицированных бетонов при пропаривании обусловлен, вероятнее всего, температурным фактором.

Для исследования влияния микрокремнезема на составы равноподвижных и равнопрочных смесей и бетонов исходные составы (см. табл. 1) корректировали при сохранении на постоянном уровне Ц/В (1,37 и 1,95) и удобоукладываемость ($OK = 3...5$ см), изготовили и испытали образцы бетона. По результатам этих испытаний были определены прогнозируемые расходы и экономия цемента в непластифицированных и пластифицированных равноподвижных и равнопрочных бетонах табл. 3.

Таблица 3

**Прогнозируемые расходы и экономия цемента
в равноподвижных и равнопрочных бетонах**

Класс бетона (условия твердения)	Добавка микрокремнезема, % от Ц	Фактический расход цемента, кг/м ³	Фактическая прочность бетона, МПа	Ц _ф /R _ф , кг/МПа	Прогнозируемый расход цемента, кг/м ³	Прогнозируемая экономия цемента, кг/м ³
В15 (пропаривание)	0	286 (236)	9,1 (9,4)	31,4 (25,1)	286 (236)	- (-)
	5	290 (240)	13,1 (13,5)	22,1 (17,8)	201 (168)	85 (68)
	10	296 (244)	16,1 (16,1)	18,4 (15,2)	168 (143)	118 (93)
	15	304 (251)	17,8 (18,1)	17,1 (13,9)	156 (131)	130 (105)
В15 (нормальные условия)	0	286 (236)	20,0 (20,2)	14,3 (11,7)	286 (236)	- (-)
	5	290 (240)	23,9 (25,6)	12,1 (9,4)	243 (189)	43 (47)
	10	296 (244)	26,4 (28,6)	11,2 (8,5)	224 (172)	62 (64)
	15	304 (251)	29,4 (28,4)	10,3 (8,8)	207 (179)	79 (57)
В25 (пропаривание)	0	407 (338)	16,5 (16,9)	24,6 (20,0)	407 (338)	- (-)
	5	419 (345)	24,0 (25,6)	17,5 (13,5)	288 (228)	119 (110)
	10	427 (353)	28,0 (28,0)	15,2 (12,6)	251 (213)	156 (125)
	15	433 (357)	32,0 (32,4)	13,6 (11,0)	224 (186)	183 (152)
В25 (нормальные условия)	0	407 (338)	32,8 (32,0)	12,4 (10,6)	407 (338)	- (-)
	5	419 (345)	37,5 (35,5)	11,2 (9,7)	366 (310)	41 (28)
	10	427 (353)	40,6 (40,2)	10,5 (8,8)	345 (281)	62 (57)
	15	433 (357)	45,0 (43,5)	9,6 (8,2)	316 (263)	91 (75)

Примечание: В скобках приведены результаты для пластифицированного бетона.

Анализ результатов, приведенных в табл. 3, показывает, что прогнозируемые расходы в бетонах классов В15...В25 при пропаривании колеблются в пределах 131...338 кг/м³, а при твердении в нормальных условиях — в пределах 179...366 кг/м³. Экономия цемента в равноподвижных и равнопрочных бетонах составляет соответственно 85 — 198 и 28 — 91 кг/м³. Из этого следует, что добавка микрокремнезема более эффективна для бетонов, твердеющих при повышенных температурах.

Прогнозируемая экономия цемента в пластифицированных бетонах несколько ниже, чем в бетонах, твердевших в нормальных условиях, вследствие влияния на этот показатель и пластификатора.

Для определения оптимальной величины добавки микрокремнезема в бетон и оценки экономической эффективности ее применения необходимо было установить затраты на материал по всем исследованным составам. В качестве критерия оптимальности состава модифицированного бетона принимали минимум затрат на материалы. При расчете затрат на материалы исходили из стоимости их применительно к заводу ЖБИ ОАО «Магнитострой»: ШПЦ М400 — 1050 руб./т; щебень — 174 руб./м³; песок — 165 руб./м³; суперпластификатор С-3 — 22600 руб./т; микрокремнезем — 5040 руб./т. Результаты этих расчетов сведены в табл.4.

Таблица 4

Показатели эффективности модифицированных бетонов

Условия твердения	Показатели	Бетон В 15		Бетон В 25	
		обычный	Пластифицированный	обычный	Пластифицированный
Пропаривание	Оптимальный расход микрокремнезема, % от Ц	5	5	5	5
	Экономия цемента, кг/м ³	85	68	119	110
	Снижение затрат на материал, руб./м ³	40	17	52	69
	Минимальный расход цемента, кг/м ³	201	168	288	228
Нормальные условия	Оптимальный расход микрокремнезема, % от Ц	5...15	5	5...15	5...15
	Экономия цемента, кг/м ³	43..79	47	41..91	28..75
	Снижение затрат на материал, руб./м ³	-(5..30)	16	-(28...75)	-(16...46)
	Минимальный расход цемента, кг/м ³	207	189	316	263

Таким образом, установлено:

1. Введение в бетонную смесь микрокремнезема в количестве 5% от массы цемента экономически оправдано при условии твердения бетона в пропарочных камерах. Расход цемента в бетонах класса В15...В25 снижается на 68...119 кг/м³. Затраты на материалы снижаются на 17...69 руб./м³. Область применения этих бетонов определяется с учетом требований ГОСТ 26633–91 по минимальному содержанию цемента в них.

2. Введение микрокремнезема в аналогичные бетонные смеси, твердеющие в нормальных условиях, несмотря на снижение расхода цемента (на 28...91 кг/м³) экономически нецелесообразно, поскольку затраты на материалы возрастают в большей степени (на 5...75 руб./м³).

Исключение составляют низкомарочные пластифицированные бетоны с добавкой 5 % микрокремнезема. Но ввиду низкого содержания цемента в этих бетонах область применения их ограничивается изготовлением железобетонных изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях атмосферных воздействий.

Библиографический список

1. Структура цементного камня с добавками суперпластификатора и микрокремнезема / О. В. Кунцевич, Б. В. Махинин, Н. Н. Шангина. // Цемент.- 1992.- №6.- С. 30 – 36.
2. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов / С. С. Каприелов //Бетон и железобетон.- 1995.- №4. — С. 16 – 20.
3. Влияние физической структуры цемента на его прочность / В.В. Тимашев // Цемент.- 1978.- №2.- С. 6 – 8.