

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ЦЕМЕНТА И МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ БЕТОНА

ФЕДОРОВИЧ П.Л., ТАБОЛИЧ А.В., БАТЯНОВСКИЙ Э.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития и совершенствования технологии приготовления бетонных (растворных) смесей высокого качества для монолитного строительства, улучшения физико-технических свойств бетонов (растворов) и повышения качества сборных бетонных и железобетонных изделий является использование активационных технологий.

Под этим термином понимают эффект дополнительного воздействия на вяжущее и (или) заполнители и воду затворения, результатом которого является более интенсивное, чем это имеет место в традиционных вариантах технологии бетона, развитие реакций взаимодействия вяжущего с водой и взаимодействие цементного камня с поверхностью заполнителей. Следствием являются рост плотности, прочности и других свойств бетона (раствора). Разнообразны направления развития активационных технологий: механическая активация (П.А. Ребиндер, И.А. Хинт, А.К. Бут, В.И. Соломатов, Л.Б. Гезенцвей и др.), акустическая активация (Б.А. Плющ, В.М. Глушенко и др.), ультразвуковая (кавитационная) активация (И.Н. Ахвердов, М.А. Шалимо и др.), “химическая” активация (И.Н. Ахвердов, М.А. Шалимо, Н.И. Довнар и др.), виброактивация (А.Е. Десов, Ю.Я. Штаерман и др.), электро-термоактивация (А.С. Артемьев, С.А. Миронов и др.), “вакуумная” активация (Н.П. Блещик, В.В. Бабицкий, А.А. Дрозд и др.), аэроактивация (В.Д. Якимович, А.К. Далевский и др.), “трибоактивация” (Я.Н. Ковалев, С.Е. Кравченко и др.) и иные направления [1-9]. Сложность их реализации по преимуществу связана с отсутствием или недостаточной эффективностью соответствующего оборудования, что усложняет, а иногда делает невозможным применение этих разработок на практике.

Анализ показывает, что наиболее простым в реализации является прием механоактивации песка (мелкого заполнителя для бетона) и цемента, особенно с учетом того, что в Беларуси на УП «НПО «Центр» создано соответствующее оборудование.

В материалах статьи приведены результаты исследований механоактивации цемента и песка с их использованием. Активацию цемента осуществляли обработкой в центробежно-ударной мельнице производства УП «НПО «Центр» до удельной поверхности $\sim 4000 \text{ см}^2/\text{г}$ (при исходной $S_{\text{уд}} \sim 3600 \text{ см}^2/\text{г}$ по прибору ПСХ-11); активацию мелкого заполнителя (песка) осуществляли обработкой в специальной “оттирочной” машине УП «НПО «Центр». В обоих случаях воздействие на материал осуществлялось в высокоскоростном воздушном потоке, характерном для данного типа установок. Влияние механической активации оценивали путем оценки изменений свойств цемента и прочностных характеристик цементно-песчаного раствора и бетона на крупном заполнителе.

Результаты активации цемента.

В экспериментах оценивали влияние активации цемента по основным свойствам (табл. 1) и прочностные характеристики (прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе) цементно-песчаного раствора в возрасте 7, 14, 28 суток нормально-влажностного твердения (табл. 2).

Таблица 1

Основные свойства цемента

Вид цемента	Удельная поверхность, $S_{\text{уд}}, \text{ см}^2/\text{г}$	Коэффициент нормальной густоты, Кнг, доли ед.	Сроки схватывания, час-мин	
			Начало	Конец
Исходный М500 Д0	3601	0,26	2-25	4-00
Активированный (через 1 час)	3961	0,28	2-10	3-30
Активированный (через 24 часа)	3945	0,28	2-15	3-40

Состав раствора для испытаний принимали: Ц:П 1:3 ($V/C=0,4$), согласно ГОСТ 310.4-81[10] для определения активности цемента. Затворение водой осуществляли через 1 час после обработки и через 24 часа, чтобы установить возможное снижение активационного воздействия во времени.

Таблица 2

Характеристики образцов цементно-песчаного раствора

№ состава		Составляющие		Прочность при изгибе, МПа в возрасте и прирост в %			Прочность на сжатие, МПа в возрасте и прирост в %		
				7 сут.	14 сут.	28 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.
		Песок	Цемент						
1	Контрольный	исходный	исходный	6,16	6,22	6,59	37,9	42,3	45,7
2	Затворение после обработки через 1 час	исходный	активированный	6,90 +12%	6,94 +11,8%	7,28 +10,5%	43,4 +14,5%	47,6 +12,5%	51,3 +12,3%
3	Затворение после обработки через 24 часа	исходный	активированный	6,57 +6,7%	6,60 +6,1%	6,99 +6,0%	40,9 +7,9%	44,8 +6,0%	48,0 +5,0%

Из экспериментальных данных табл. 1 следует, во-первых, что при активационной обработке возрастает удельная поверхность цемента, очевидно, благодаря дроблению агрегатированных частиц вяжущего (флокул), т.к. от ударного воздействия в воздушном потоке недостаточно силы для разрушения высокопрочных зерен клинкера. Во-вторых, следствием является несколько возросшая водопотребность (Кнг) цемента и сокращение сроков схватывания. Последний эффект не критичен, т.к. составляет, примерно 8%, а начало схватывания находится в пределах требований действующих нормативов. Изменение характеристик активированного вяжущего, установленных через 1 час после обработки и через 24 часа, имеет место, но незначительно. Более важным является оценка этих изменений применительно к результату использования активированного вяжущего в бетоне (растворе).

Из экспериментальных данных приведенных в таблице 2, следует, что активация цемента способствует росту прочностных характеристик цементно-песчаного раствора. Так при использовании активированного цемента с приготовлением раствора через 1 час после его активации прочность образцов на сжатие и изгиб повышает-

ся до 10-15%, по сравнению с контрольными образцами. Также очевидно снижение прироста прочности образцов до 5-8% при использовании активированного цемента через 24 часа после активации, что свидетельствует о снижении эффекта активации вяжущего со временем.

Результаты активации песка.

Основной целью работ данного этапа исследований было определение возможности повышения прочности бетона при использовании песка, подвергнувшегося механической активации поверхности с помощью ее “оттирки”, осуществляемой без заметного измельчения зерен, но с удалением из его состава глинистых и других пылевидных примесей, а так же определения оптимальных режимов работы активирующей (оттирочной) машины, для обработки мелкого заполнителя “активированных” бетонов.

Таблица 3

Характеристики цементно-песчаного раствора
на активированном песке

№ состава		Составляющие		Прочность при изгибе, МПа в возрасте и прирост в %			Прочность на сжатие, МПа в возрасте и прирост в %		
				7 сут.	14 сут.	28 сут.	7 сут.	14 сут.	28 сут.
		Песок	Цемент						
1	Контрольный	исходный	исходный	6,16	6,22	6,59	37,9	42,3	45,7
2	Затворение после обработки через 1 час	активированный	исходный	7,22 +17,2%	7,42 +19,3%	8,34 +26,6%	41,5 +9,5%	47,9 +13,2%	50,4 +10,3%
3	Затворение после обработки через 24 часа	активированный	исходный	6,97 +13,1%	7,25 +16,6%	7,65 +16,1%	40,8 +7,7%	46,3 +9,4%	46,7 +2,2%

При проведении экспериментов использовали “исходные” цемент и песок (природный, насыпной плотностью ~ 1545 кг/м³, плотностью зерен ~ 2650 кг/м³, модуль поверхности Мк= 2,1), а

также активированный песок с приготовлением цементно-песчаного раствора (по предыдущему разделу) через 1 и 24 часа после его активации.

Из результатов таблицы 3 следует, что применение активированного песка значительно повышает прочность образцов цементно-песчаного раствора при изгибе (до 27%) и сохраняется тенденция прироста прочности на сжатие (до 13%). Очевидно, что эта разница связана с увеличением сил сцепления поверхности активированного песка с цементным камнем в бетоне (растворе), от которых в большей степени зависит их прочность на растяжение, чем на сжатие. Общий эффект от активации песка очевиден, также как и его снижение при хранении материала после активации. То есть, как и в случае с активацией цемента более рационально включение технологического передела активации материалов для бетона (раствора) непосредственно перед его приготовлением.

Эффективность активации материалов в сочетании с использованием добавки суперпластификатора.

Определяли прочностные характеристики цементно-песчаного раствора и бетона с применением добавки суперпластификатора (на примере “ТензитПласт NS”) в возрасте 28 суток твердения в нормально-влажностных условиях и непосредственно после тепло-влажностной обработки по режиму 2+3+2 ($t \sim 50^{\circ}\text{C}$)+2 ч (и более).

Состав раствора, как и в предыдущих исследованиях, принимали в соответствии с ГОСТ 310.4-81 [10]. Для получения одинаковой подвижности растворной смеси с учетом введения добавки суперпластификатора, а также влияния активации цемента (влияние возросшей удельной поверхности цемента на нормальную плотность цементного теста) была сделана корректировка составов по расходу воды при сохранении постоянной консистенции раствора.

Состав бетона с крупным заполнителем для испытаний определен с учетом положений ГОСТ 30459-96 для оценки эффективности добавок для бетона [11]. Составы бетона также корректировали по постоянной подвижности смеси марки П1 (1-4 см). Составы раствора и бетона приведены в таблице 4, а прочностные характеристики в таблицах 5 и 6. Во всех случаях изготовления образцов производили через 1 часа после активации компонентов.

Таблица 4

Характеристика составов раствора и бетона для испытаний

№ состава	Номинальный расход материалов, кг/м ³					
	Цемент	щебень фр. 5-20	Песок	Вода	Добавка*	В/Ц
А. Составы раствора						
1	500	-	1500	200	-	0,40
2	500	-	1500	218	-	0,44
3	500	-	1500	170	8,6 (0,6% от Мц)	0,34
4	500	-	1500	175	8,6 (0,6% от Мц)	0,35
Б. Составы бетона с крупным заполнителем						
5	350	1150	700	175	-	0,50
6	350	1150	700	175	-	0,50
7	350	1150	700	150	6 (0,6% от Мц)	0,43
8	350	1150	700	155	6 (0,6% от Мц)	0,44

Примечания: 1. расход добавки указан в жидком виде товарной концентрации (35%) 2. Удельная поверхность исходного цемента: $S_{уд}=3383,7 \text{ см}^2/\text{г}$, а после активации в центробежно-ударной мельнице: $S_{уд}=4088,4 \text{ см}^2/\text{г}$

Таблица 5

Прочность раствора твердевшего в нормально-влажностных условиях

№ состава	Составляющие			Прочность при изгибе, МПа, в возрасте 28 сут и прирост в %*	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте 28 сут и прирост в %**
	Песок	Цемент	Наличие хим. добавки		
1	исходный	исходный	нет	6,11	39,2
2	активированный	активированный	нет	8,29; +35,7%	48,8; +24,5%
3	исходный	исходный	да	6,18; +1,1%	44,7; +14,0%
4	активированный	активированный	да	8,90; +45,7%	54,4; +38,8%

*-среднее по серии из 3 образцов

** -среднее по серии из 6 образцов

Таблица 6

Прочность бетона с крупным заполнителем

№ состава	Составляющие			Прочность на сжатие, МПа, и прирост в %*
	Песок	Цемент	Наличие хим. добавки	
А. В возрасте 28 суток				
1	исходный	исходный	нет	41,8
2	активированный	активированный	нет	51,0; +22,0%
3	исходный	исходный	да	47,8; +14,4%
4	активированный	активированный	да	59,2; +41,6%
Б. После ТВО				
5	исходный	исходный	нет	26,4
6	активированный	активированный	нет	38,7; +46,6%
7	исходный	исходный	да	29,3; +11,0%
8	активированный	активированный	да	39,1; +48,1%

*-среднее по серии из 3 образцов

Из результатов экспериментов, представленных в таблицах 5 и 6, следует, что в целом активация цемента и песка обеспечивает существенный эффект роста прочности как мелкозернистого (цементно-песчаного), так и содержащего крупный заполнитель бетона, достигающий 20...25% на сжатие и 30...35% на растяжение при изгибе (для мелкозернистого бетона).

При одновременном сочетании эффекта от активации и от снижения водосодержания бетона (за счет использования добавки пластификатора I группы) выявлен рост прочностных характеристик бетона, соответственно до 30...40% и до 40...50%. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности развития исследований по данному направлению с использованием технических разработок УП «НПО «Центр».

Заключение

Результаты проведенных исследований подтвердили эффективность приема использования активации цемента и песка применительно к “рядовым” по прочностным характеристикам бетонам. Учитывая возрастающую техническую сложность процесса приготовления бетона с активацией его компонентов можно предположить, что наиболее целесообразно использование данного приема в технологии высокопрочного, особо плотного с повышенными эксплуатационными характеристиками бетона. К решению этой задачи относится развитие представленных в статье исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штаерман Ю.Я. Виброактивация цемента.—Тбилиси, 1957
2. Гезенцвей Л.Б. Активация песка для асфальтового бетона // Автомобильные дороги.—1961.
3. Ахвердов И.Н., Шалимо М.А. Ультразвуковое вибрирование в технологии бетона.—М, 1969.
4. Бут А.К. Основы электронной технологии строительных материалов.—М.: Стройиздат, 1973.—205 с.
5. Ахвердов И.Н. Каплан Э.Л., Плющ Б.А. Термоакустическая активация процесса упрочнения бетона., 1975
6. Ахвердов И.Н. Акустическая технология бетона.—М, 1976
7. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных материалов // Изв. вузов. Сер. стр-во и архитектура.—1980.
8. Якимович В.Д. Аэротермоактивация цемента и наполнителей в бетонах. Автореферат канд. дисс., Минск, 1990.—20 с.
9. Ковалев Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов (Научн.-практ. основы): Монография Я.Н. Ковалев.—Мн.:БелЭн, 2002.—336 с.
10. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
11. ГОСТ 30459-96 Добавки для бетонов. Методы определения эффективности.