

Доклад подготовлен ко II-ому Тульскому экономическому форуму, проходившему 11-13 октября 2007 года в г. Туле.

В докладе рассмотрены наиболее перспективные способы повышения активности цемента на основе минерального сырья Тульской области с использованием стержневых дезинтеграторов ИТП «ТехПрибор» г. Тула

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЦЕМЕНТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

ЛИПИЛИН А.Б., гл. инженер ООО «СтройМеханика», руководитель ИТП «ТехПрибор»

КОРЕНЮГИНА Н.В., инженер-технолог ООО «СтройМеханика»

ВЕКСЛЕР М.В., инженер, ведущий специалист ИТП «ТехПрибор», г. Тула

Бетонные изделия и железобетонные конструкции являются в буквальном смысле основой современного строительства. Надежность и долговечность, стойкость к воздействию агрессивных сред, отработанная технология производства, возможность регулирования физико-механических характеристик, наконец, практически неисчерпаемая сырьевая база для производства вяжущих материалов и заполнителей объясняет широкое распространение этого материала и позволяет рассматривать бетон как основной элемент капитального строительства не только настоящего, но и будущего.

наш взгляд, работы по увеличению активности товарного цемента с целью более полного использования его потенциальной энергии представляются особенно важными.

Возникает вопрос: на базе каких исходных положений должны проводиться практические работы по увеличению активности и снижению расхода цемента? Мы полагаем, что такой базой является теория твердения цемента, разработанная академиком Петром Александровичем РЕБИНДЕРОМ, и дополненная работами В. Н. ЮНГА, Ю. М. БУТТА, М.И. СТРЕЛКОВА.

изменения дисперсности цементного порошка является обеспечение условий, когда интенсивность взаимодействия воды затворения с цементным зерном будет максимальной. Частицы осколочной формы с острыми углами и сильно развитой конфигурацией поверхности, полученные в результате ударного измельчения, по своим адсорбционным способностям значительно превосходят материалы, полученные в вибрационных мельницах истирающего помола. Учитывая, что активность цемента в основном определяется теми же факторами, что и его адсорбци-

Нехватка качественных заполнителей для бетона, несоответствие фактической и заявленной марки цемента, грубые нарушения правил транспортировки и хранения, наконец, недостаточно полное использование его потенциальных возможностей – все эти факторы самым негативным образом влияют на качество и себестоимость бетона

Однако, несмотря на многие замечательные качества, в том числе и широкое распространение основных сырьевых компонентов, бетон относится к весьма энергоемким строительным материалам. При этом наиболее дорогостоящей составляющей бетона является цемент.

Цемент – это дорогой и дефицитный материал, производство которого далеко не безупречно с точки зрения воздействия на окружающую среду, сегодня его перерасход в строительстве очень велик. Нехватка качественных заполнителей для бетона, несоответствие фактической и заявленной марки цемента, грубые нарушения правил транспортировки и хранения, наконец, недостаточно полное использование его потенциальных возможностей – все эти факторы самым негативным образом влияют на качество и себестоимость бетона.

Представления об основных факторах, оказывающих влияние на физико-технические свойства цемента, позволяют со всей ответственностью говорить о том, что сегодня его возможности используются далеко не полностью [1]. В то же время высокие темпы строительства жилых и производственных зданий с новыми, а зачастую просто уникальными архитектурными формами требуют применения высокоактивных, быстротвердеющих цементов. Поэтому, на

Учитывая современное состояние теории твердения цемента и принимая во внимание экспериментальные факты в этой области, можно высказать следующие положения или направления работ по увеличению активности цемента [2].

Первое: несмотря на то что активность и скорость твердения цемента во многом зависят от его минералогического состава, содержания трехкальцевого алюмината, размера и формы кристаллов алита и белита, – дисперсность и гранулометрический состав цементного порошка оказывают наиболее заметное влияние на его активность.

Иными словами, практически любой цемент, независимо от географии его производства, химического и минералогического состава, сроков хранения и остаточной активности может быть активирован путем корректировки его гранулометрического состава, выполняемой на фоне повышения дисперсности цементного порошка.

При этом основное влияние на вяжущие свойства материала будет оказывать именно селективное изменение его гранулометрических показателей, с получением продукта узкого зернового состава, представленного частицами осколочной формы, обладающими высокой физико-химической активностью.

На наш взгляд, основной задачей

онная способность, ударное измельчение цементных зерен, когда интенсификация водо-твердого контакта достигается при незначительном увеличении показателей удельной поверхности, является наиболее энергопродуктивным [3].

Второе: еще одним резервом повышения экономичности цементных композиций по стоимости и расходу цемента, улучшения строительно-технологических свойств является метод замещения части цементного порошка тонкодисперсными минеральными наполнителями.

Так называемый «эффект микронаполнителя» выражается в повышении прочности при введении в бетонные смеси тонкодисперсных минеральных веществ. Наиболее полно микронаполняющий эффект проявляется при увеличении объемной концентрации тонкодисперсных добавок, когда пористость цементного камня уменьшается, а плотность его структуры увеличивается.

Принимая во внимание, что эффект заполнения пустот, уплотнение структуры, как и эффект раздвижки мельчайших цементных зерен, – являются чисто физическими факторами, которые не зависят от гидравлической активности наполнителя, происхождение ультрадисперсного материала не принципиально и определяется прежде всего доступностью и стоимостью компонентов [4].

Именно широкое распространение природных материалов, пригодных для получения эффективного цементного заполнителя, выгодно отличает данную технологию от «классических» методов использования активных гидравлических добавок, хотя и обладающих определенными вяжущими свойствами, но, вместе с тем, являющимися и гораздо менее доступными.

Из материалов природного или техногенного происхождения, пригодных для производства активных минеральных добавок в Тульском регионе, имеются доменные гранулированные шлаки, являющиеся отходами сталелитейного производства. Несмотря на целый ряд ценных свойств этого материала, централизованное производство тонкомолотых добавок, доступных для строительных организаций, растворобетонных узлов и заводов сборного железобетона, на данный момент не налажено.

Высокая твердость и абразивность доменных гранулированных шлаков, необходимость сушки, высокие требования к дисперсности порошка предполагают применение помольных комплексов с использованием шаровых мельниц, которые характеризуются высокой материало- и энергоемкостью. Учитывая, что коэффициенты эффективности размола гранулированного шлака и цементного клинкера аналогичны, можно предположить, что, как и в производстве цемента, до 50 % энергозатрат, связанных с получением активных минеральных добавок, придется именно на измельчение. Поэтому, на наш взгляд, крупнотоннажное производство активных тонкомолотых добавок для бетона на основе гранулированных шлаков Тульских металлургических заводов еще ждет своего решения.

В тоже время, сырьем для ультрадисперсных наполнителей могут служить такие широко распространенные в Тульской области материалы, как: золы ТЭЦ, горные и речные пески, известняк и известняковый отсев [5].

Широкое распространение, низкая стоимость, малая абразивность и хорошая размалываемость горных пород осадочного происхождения делает их практически идеальным сырьем для производства доступного минерального наполнителя. При этом приоритетным направлением снижения себестоимости производства микронаполненного цемента является понижение энергоемкости самого процесса измельчения сырьевых компонентов. Значительное уменьшение энергозатрат при помоле осадочных горных пород, в том числе известняка, может быть обеспечено применением принципиально новых измельчителей, в частности, стержневых **дезинтеграторов** производительностью до 7 т/ч, изготавливаемых ИТП «ТехПрибор» город Тула. Помимо непосредственного измельчения сырья, данное оборудование обеспечивает тщательное перемешивание основных компонентов цементной композиции и равномерное распределение химических добавок, вводимых в малых и особо малых количествах.

Каждое из рассмотренных выше направлений работ само по себе способно обеспечить существенную экономию цемента за счет более полного использования его потенциальных возможностей, но

наиболее впечатляющие результаты могут быть достигнуты только при объединении возможностей гранулометрически ориентированного домолота товарного цемента, использования ультрадисперсных микронаполнителей на основе местного сырья и применения измельчителей-дезинтеграторов оригинальной конструкции.

Рассмотрим механизм взаимодействия предлагаемых методов активации с точки зрения современного представления о физико-химических процессах формирования структуры цементного камня и бетона.

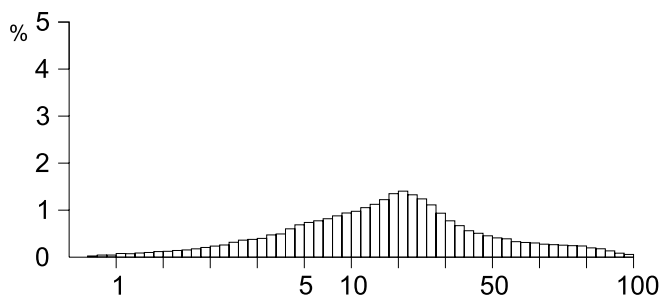
При взаимодействии зерен цемента с водой химические реакции гидролиза и гидратации происходят вначале на поверхности раздела фаз. При этом вокруг зерен цемента образуются оболочка коллоидных новообразований, которые с течением времени перекристаллизуются, что и обуславливает твердение материала. Важнейшим процессом, происходящим тотчас после контактирования дисперсного вещества с водой затворения, является адсорбция, которая представляет собой

оказывает заметного влияния на скорость твердения и проектную прочность бетона.

Нашим предприятием совместно с лабораторией ОАО «Тулаоргтехстрой» были проведены исследования активности и дисперсности различных цементов, представленных в Тульской области. В результате работ было установлено, что абсолютное большинство исследуемых образцов имеют показатели удельной поверхности, не соответствующие указанной марке цемента. Остаток на сите № 008, даже для цементов высоких марок, в частности М 500, составляет более 15%. Соответственно, при «классической» технологии изготовления бетона потенциальные возможности цемента, в составе которого крупные, а значит, и малоактивные частицы, составляющие более 20%, используются далеко не полностью.

При этом необходимость увеличения расхода цемента для получения бетонов требуемых марок по прочности – далеко не единственная проблема, возникающая при использовании цемента низкой активности.

ГИСТОГРАММА И ТАБЛИЦА ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ТОВАРНОГО ЦЕМЕНТА МАРКИ 500



На представленной гистограмме указано процентное содержание зерен различных размеров в цементе марки 500. Обратите внимание, что доля крупных малоактивных частиц размерами больше 50 мкм составляет 19.48%.

Размер частиц, мкм	≤1	≤2	≤3	≤4	≤5	≤10	≤20	≤30	≤40	≤50
Процентное содержание в порошке, %	0.70	4.40	3.01	2.29	2.40	8.70	13.84	25.76	8.99	10.43

быстро протекающий процесс. Дальнейшая гидратация внутренних слоев зерен цемента происходит за счет отбора воды из поверхностных слоев.

Учитывая, что глубина проникновения воды затворения в поверхностные слои цементного зерна не превышает 15 мкм, можно сделать выводы о том, что размер отдельных зерен в цементном порошке должен быть таким, чтобы процесс гидратации клинкерных минералов мог в основном закончиться к сроку, по которому принято давать оценку прочности раствору или бетону. По данным различных источников, наиболее рациональной тониной помола цементного клинкера является такая, при которой размер самых крупных частиц в массе порошка не превышает 50 мкм.

Товарные цементы, выпускаемые в настоящее время, содержат до 30% зерен размером свыше 50 мкм. Поэтому потенциальные возможности такого цемента используются не полностью, а в среднем на 50-60%.

В бетоне «классической» технологии приготовления содержится цементный камень, который состоит как из полезных продуктов гидратации, так и «заполняющих» негидратированных зерен цемента. Таким образом, до 40 % цементного клинкера даже в высокомарочных цементах практически не используется в деле склеивания заполнителя, и не

Цемент с повышенным содержанием крупных частиц, характеризуется замедленным темпом набора прочности. При монолитных работах это означает увеличение сроков бетонирования, связанных с необходимостью дополнительной выдержки бетона в съемной опалубке. В условиях заводского изготовления бетонных изделий при использовании низкоактивного цемента производственный процесс замедляется, появляется необходимость в больших помещениях, используемых для вызревания изделий.

Но, как было сказано выше, пути увеличения активности цемента заводского изготовления существуют.

Для обогащения гранулометрического состава цементного порошка мы предлагаем технологию ударного измельчения на основе серийно выпускаемого нашим предприятием стержневого **дезинтегратора серии «Горизонт»**.

Данный агрегат реализует наиболее энергоэффективный на сегодняшний день способ разрушения твердых материалов методом «свободного удара» или «кинетического дробления».

В отличие от традиционно применяемых при крупнотоннажном производстве цемента способах помола, дезинтеграторная технология позволяет получать продукт, характеризующийся оптимальным с точки зрения ►

скорости и равномерности твердения зерновым составом. Основное преимущество дезинтеграторного измельчения, на наш взгляд, заключается в высокой избирательности или селективности разрушения частиц, а, соответственно, и возможности получения продукта узкой granulometрии, когда увеличение содержания зерен активного диапазона размеров достигается исключительно за счет разрушения крупных малоактивных частиц.

Одной из особенностей **стержневых дезинтеграторов** является возможность одновременной обработки нескольких компонентов, когда помол материалов дополняется их тщательным перемешиванием. При дезинтеграторном смешивании материалов степень однородности высокодисперсной системы принципиально отличается от аналогичных показателей смесей, полученных традиционными способами перемешивания. Механическое

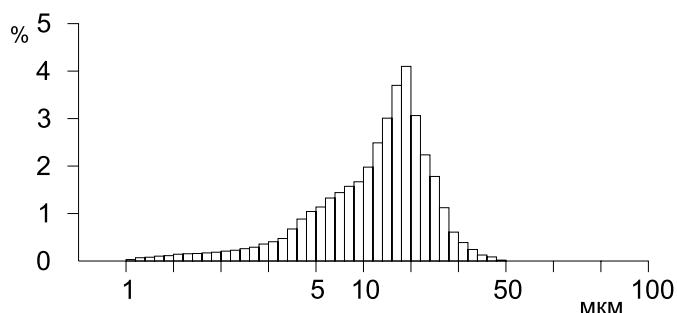
— Гуровское месторождение известняков Тульской обл.) приведены в таблице.

Из полученных данных следует, что совместный дезинтеграторный помол товарного цемента с известняковым порошком и пластифицирующей добавкой повышает прочность образцов в начальные сроки твердения не менее чем на 46%. При замещении одной пятой части цемента микронаполняющей добавкой прирост прочности в возрасте 3 суток составил более 90%.

Несмотря на устоявшееся мнение, что быстротвердеющие цементы, применяемые при скоростных методах строительства, не должны иметь в своем составе минеральных добавок, положительный опыт использования микронаполненных цементов вносит в этот вопрос свои коррективы. Полученные результаты наглядно демонстрируют возможность повысить экономичность цементных композиций в растворах и бетонах при использовании высокоактивных вяжущих веществ на основе местных природных материалов и цемента заводского изготовления.

Помол имеет огромное значение в производстве ряда строительных материалов, он интенсифицирует технологические процессы, повышает однородность сложных смесей и качество выпускаемой продукции. Особое значение тонкий помол приобретает в работах по активации цемента. Однако не следует забывать, что измельчение твердых материалов является весьма энергозатратным и материалоемким процессом. Зачастую затраты на повышение активности минеральных вяжущих веществ не компенсируются экономической выгодой от их применения. Основным критерием, определяющим эффективность предлагаемых методов активации цемента, помимо достигнутых показателей увеличения прочности образцов должен являться расход энергии, необходимой для получения продукта с улучшенными характеристиками. На наш взгляд, максимальный экономический эффект от внедрения механической активации в технологию производства бетонов, достигается только при правильном сочетании таких параметров обработки, как избирательность помола товарного цемента, оптимальная энергонапряженность процесса смешивания и доступность сырьевых компонентов. ■

ГИСТОГРАММА И ТАБЛИЦА ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ДЕЗИНТЕГРИРОВАННОГО ЦЕМЕНТА



На гистограмме хорошо видно, как изменилось процентное содержание зерен наиболее активного диапазона размеров. Крупные зерна размерами более 60 мкм полностью исчезли, за счет их измельчения содержание в цементном порошке зерен размерами 5-20 мкм существенно увеличилось.

Размер частиц, мкм	≤1	≤2	≤3	≤4	≤5	≤10	≤20	≤30	≤40	≤50
Процентное содержание в порошке, %	0.68	4.55	3.13	2.97	2.98	10.32	30.65	27.5	11.43	5.79

Думаю, нет необходимости подробно останавливаться на том, что с точки зрения себестоимости помола избирательное измельчение относительно крупных зерен цемента при незначительном увеличении показателей удельной поверхности цементного порошка несомненно, более предпочтительно, нежели общий домол всего ассортимента размеров цементных зерен, когда нагружение получают в том числе и частицы, не нуждающиеся в дополнительном измельчении. Можно лишь отметить, что на фоне увеличения активности дисперсность дезинтегрированного цемента изменяется незначительно, что делает возможным использование дезинтегрированного цемента в «классической» технологии производства бетона, без серьезных изменений основных приемов работы с цементными вяжущими.

В отличие от цементов, активированных методом вибродомла в шаровых мельницах, дезинтегрированный цемент сохраняет исходную водопотребность без сокращения начального срока схватывания, что делает возможным его использование на бетонных заводах без серьезного изменения существующих технологий.

смешивание при дезинтеграторной обработке удачно сочетается с механохимической активацией отдельных компонентов [6]. В этом случае помимо высочайшей степени гомогенизации смеси также проявляются эффекты, свойственные процессам твердофазного синтеза, когда частицы одного вещества могут быть привиты на поверхности другого.

Ультрадисперсный наполнитель, введенный при помоле цемента, тщательно смешивается с последним, что и обеспечивает его максимально равномерное распределение в основном объеме порошка. Частицы наполнителя, располагаясь между отдельными зернами цемента, увеличивают их адсорбционные возможности, снижают пористость и способствуют уплотнению структуры цементного камня. Для предотвращения увеличения водопотребности и негативных изменений реологической способности смеси непосредственно при помоле основных компонентов так же вводятся пластифицирующая добавка СП-1 производства ОАО «Полипласт».

Результаты испытаний товарного цемента, измельченного совместно с известняковым порошком производства ОАО «Гурово-Бетон» (Алексинский р-н, Тульской области

Фактические результаты испытаний

Наименование показателя	Фактические результаты испытаний			
	Состав № 1 Контрольный	Состав № 2 замещение ПЦ 10% минеральным наполнителем с СП-1	Состав № 3 замещение ПЦ 20% минеральным наполнителем с СП-1	Состав № 4 замещение ПЦ 30% минеральным наполнителем с СП-1
ПЦ 400 Д 20				
Водоцементное отношение (В/Ц)	0,36	0,30	0,27	0,26
Расплыв конуса, мм	107	107	106	106
Предел прочности при сжатии после пропаривания, кгс/см ²	310	366	372	309
Прирост прочности	-	+ 18%	+ 20%	-
Предел прочности при сжатии в возрасте 3 суток, кгс/см ²	130	240	249	190
Прирост прочности	-	+ 85%	+ 91%	+ 46%

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. БУТТ Ю.М. Быстротвердеющий портландцемент. Сб. трудов по химии и технологии силикатов. М., 1957. С. 425.
2. СРЕЛКОВ М.И. Важнейшие вопросы теории твердения цементов. Сб. трудов по химии и технологии силикатов. М., 1957. С. 425.
3. ЛИПИЛИН А.Б. КОРЕНЮГИНА Н.В. ВЕКСЛЕР М.В. Селективная дезинтеграторная активация портландцемента. Строительные материалы. 2007. №7. С. 74-75.
4. ВОЛЖЕНСКИЙ А.В. ПОПОВ Л.Н. Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе. М.: Гостстройиздат. 1961. С. 107.
5. СОКОЛОВ Я.Г. Тонкий помол в производстве строительных материалов. Сб. трудов по химии и технологии силикатов. М., 1957. С. 425.
6. ХИНТ И.А. Основы производства силикатных изделий. М., 1962. С. 503.