

## Цементы низкой водопотребности центробежно-ударного помола и бетоны на их основе

Гаркави М.С., Артамонов А.В., Колодежная Е.В., Трошкина Е.А.

*Получение цемента низкой водопотребности (ЦНВ) в центробежно-ударной мельнице сопровождается механоактивацией измельчаемых компонентов и осуществлением механохимического взаимодействия с водным раствором пластификатора на основе поликарбоксилата. ЦНВ характеризуется узким зерновым составом, представлен однородными по форме частицами с большой концентрацией дефектов, на которых происходит «прививка» пластификатора.*

*Цементы низкой водопотребности центробежно-ударного помола различного вещественного состава имеют активность от 42 МПа (ЦНВ50) до 73 МПа (ЦНВ100).*

*С использованием данных цементов получены тяжелые бетоны класса В60 и выше с расходом цемента на единицу прочности до 8,3 кг/МПа и с маркой по морозостойкости более F500.*

Бетон остается основным конструкционным строительным материалом, поэтому улучшение его свойств, совершенствование технологии изготовления, повышение экономичности возводимых из него конструкций имеет большое практическое значение. Возросшие требования к бетону привели к созданию новых видов высококачественных цементов, в частности цементов низкой водопотребности (ЦНВ). Эти цементы представляют собой новый класс гидравлических вяжущих, получаемых при совместном помоле портландцементного клинкера, гипсового камня и водоредуцирующей добавки. Вследствие взаимодействия в процессе измельчения минералов клинкера с водоредуцирующей добавкой получаемый цемент приобретает специфические свойства, отличающие его от рядового портландцемента.

При изготовлении ЦНВ в основном используют шаровые мельницы, работающие по замкнутому циклу. Согласно [1] при получении ЦНВ в этих мельницах происходит «втирание» модификатора в поверхность клинкерных частиц, что и обуславливает уникальные свойства указанных цементов. Особенность этой технологии заключается в том, что сухие пластификаторы необходимо закрепить на поверхности клинкера, поэтому при этом способе изготовления ЦНВ очень сложно добиться стабильных строительно-технических показателей цемента.

Возможное решение данной проблемы состоит в использовании жидких пластификаторов. Данный процесс можно осуществить в центробежно-ударных мельницах, которые широко применяются при измельчении различных материалов, в том числе и при производстве цементов [2].

Измельчение в этих мельницах основано на механическом разгоне твердых частиц и осуществляется путем свободного удара частиц о неподвижную преграду, возможно взаимное соударение частиц (рисунок 1). Совокупность таких измельчающих воздействий и наличие встроенного воздушного классификатора определяет узкий гранулометрический состав полученного продукта, одинаковую форму частиц с высокой дефектностью. За счет изменения скорости и направления движения воздушных потоков в зоне измельчения и в классификаторе можно в достаточно широких пределах регулировать размер частиц получаемого материала.

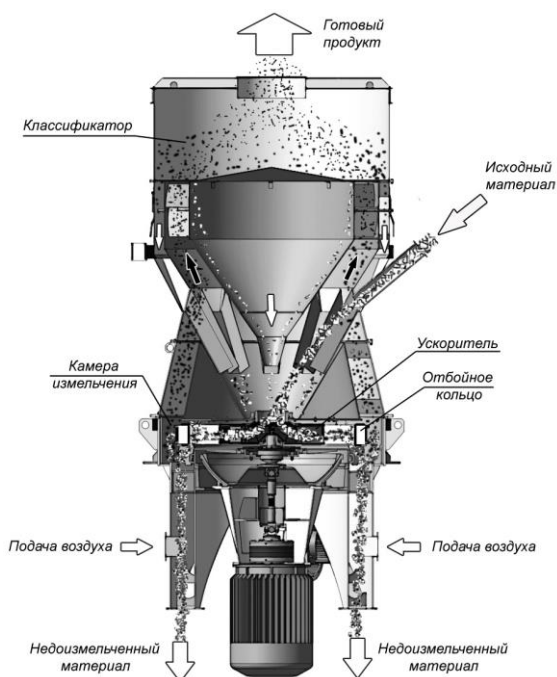


Рисунок 1. Схема измельчения материала в центробежно-ударной мельнице

Отличительной особенностью центробежно-ударных мельниц является их высокая энергонапряженность (более 10 кВт/кг), что предопределяет осуществление в них процесса механохимической активации, т.е. создание структурных микродефектов и активных поверхностных центров. Эти структурные дефекты и активные центры характеризуются избыточной свободной энергией, следовательно, обладают высокой адсорбционной способностью. Поэтому именно на них и будет происходить закрепление модификатора, который вводится в мельницу в виде жидкости. При использовании жидкого пластификатора происходит его тонкое распыление в высокоскоростном потоке воздуха в камере помола (скорость движения порядка 100м/с), т.е. раствор пластификатора превращается в аэрозоль.

В процессе измельчения «доза» механической энергии, передаваемой материалу, достигает  $10^2$  кДж/г, что, согласно [3], переводит его в неравновесное состояние. При этом осуществляется «прививка» пластифицирующей добавки к поверхности клинкерных частиц, которая реализуется по механизму молекулярного наслаивания [4].

Для получения ВНВ в центробежно-ударной мельнице использован клинкер Магнитогорского цементно-огнеупорного завода. Характеристики клинкера представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав клинкера

Массовая доля компонентов, %						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>2</sub>	CaO <sub>св</sub>
19,75	5,86	4,35	64,28	4,97	0,21	0,18

Таблица 2 – Минеральный состав клинкера

Массовая доля компонентов, %			
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
62,5	9,4	8,2	13,2

При изготовлении ЦНВ-50 (соотношение клинкер:наполнитель = 50:50) в качестве наполнителя применялся кварцит. В качестве пластифицирующей добавки использован раствор поликарбоксилатного эфира (1% от массы минеральных компонентов).

Технологические свойства полученных цементов приведены в таблице 3, а физико-механические – в таблице 4.

Таблица 3 – Технологические свойства цементов

Наименование цемента	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Водопотребность, %	Сроки схватывания, час-мин	
			начало	конец
Контрольный	353	29,9	4-55	6-00
ЦНВ-50 (кварцит)	335	27,3	4-10	5-20
ЦНВ-100	330	23,8	3-30	4-50

Таблица 4 – Физико-механические свойства цементов

Наименование цемента	В/Ц раствора	Предел прочности, МПа					
		при изгибе			При сжатии		
		3 сут	28 сут	ТВО	3 сут	28 сут	ТВО
Контрольный	0,39	4,0	6,6	4,4	20,4	37,5	25,4
ЦНВ-50 (кварцит)	0,26	4,0	7,1	4,2	24,0	41,8	23,0
ЦНВ-100	0,25	7,7	8,6	5,6	52,0	73,2	54,1

Как следует из приведенных данных, ЦНВ-100 характеризуется высоким темпом твердения – уже через 3 суток его прочность достигает 70% от нормативной прочности, что объясняется именно низкой водопотребностью данного цемента. Последняя обусловлена ранее отмеченной особенностью закрепления пластифицирующей добавки на поверхности клинкерных частиц, в результате которой на них образуется монослой пластификатора нанометровой размерности.

ЦНВ-50 по своим свойствам практически не отличается от бездобавочного цемента. Следует отметить, что высокая водопотребность бездобавочного цемента (29,9%) связана с его узким гранулометрическим составом и изометричной формой его зерен, причем в составе цемента отсутствуют частицы крупнее 80 мкм.

На основе указанных цементов при одинаковом расходе (450 кг/м<sup>3</sup>) из равноподвижных бетонных смесей (П5, осадка конуса 22 см) были изготовлены тяжелые бетоны, твердевшие как в нормальных условиях, так и при ТВО. Физико-механические и эксплуатационные показатели этих бетонов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Физико-механические и эксплуатационные показатели бетонов

Наименование цемента	В/Ц	Плотность бетона кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа		Марка по морозостойкости	Расход цемента на единицу прочности, кг/МПа
			норм. тв.	ТВО		
Контрольный	0,51	2454	31,4	25,3	F200	14,3
ЦНВ-50	0,45	2440	55,1	44,1	F400	8,17
ЦНВ-100	0,38	2430	67,6	46,9	F600	6,65

Как следует из данных таблицы 5, бетоны на основе ЦНВ различного вещественного состава при прочих равных условиях характеризуются высокими физико-механическими свойствами и обладают значительно морозостойкостью. Использование данных цементов позволяет добиться высоких технико-экономических показателей – расход цемента в них на единицу достигаемой прочности сопоставим аналогичным показателем для самоуплотняющихся бетонов.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют об эффективности применения центробежно-ударных мельниц для изготовления цементов низкой водопотребности различного вещественного состава с использованием жидких водоредуцирующих добавок. Эти мельницы входят в состав измельчительных комплексов (рисунок 2), которые целесообразно размещать на заводах железобетонных изделий не только для изготовления цементов низкой водопотребности, но и для производства композиционных товарных цементов.



Рисунок 2. Измельчительный комплекс КИ для изготовления цемента

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдович Б.Э., Зубехин С.А., Фаликман В.Р., Башлыков Н.Ф. Цемент низкой водопотребности: новые результаты и перспективы. // Бетон и железобетон – пути развития. Научные труды 2-ой Всероссийской (Международной) конференции по бетону и железобетону. - М., 2005.- Т. 3. - С. 613 – 622.
2. Хрипачева И.С., Гаркави М.С., Артамонова А.В., Воронин К.М., Артамонов А.В. Цементы центробежно-ударного измельчения // Цемент и его применение. 2013. №4. С.106-109.
3. Бутягин П.Ю., Стрелецкий А.Н. Кинетика и энергетический баланс в механохимических превращениях // Физика твердого тела. 2005ю том 47. №5. С.830-836.
4. Малыгин А.А. Нанотехнология молекулярно наслаивания // Российские нанотехнологии. 2007. Том 2. № 3-4. С.87-100.

Сведения об авторах:

Гаркави Михаил Саулович, ЗАО «Урал-Омега», заместитель главного инженера по науке и инновациям, доктор технических наук, профессор. 455037, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 89/7; (3519) 22-00-49; [gms@uralomega.ru](mailto:gms@uralomega.ru).

Артамонов Андрей Владимирович, ЗАО «Урал-Омега», главный технолог, кандидат технических наук. 455037, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 89/7; (3519) 22-00-49; [aav@uralomega.ru](mailto:aav@uralomega.ru).

Колодежная Екатерина Владимировна, ЗАО «Урал-Омега», технолог, кандидат технических наук. 455037, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 89/7; (3519) 22-00-49; kev@uralomega.ru.

Трошкина Евгения Анатольевна, Магнитогорский государственный технический университет, доцент кафедры строительных материалов и изделий, кандидат технических наук, доцент. 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38; (3519) 29-85-89; skyjanny@mail.ru