

личных по природе и механизму действия добавок, – стратегическое направление деятельности нашей компании. **Эти и многие другие вопросы будут обсуждаться в апреле на конференции «Дни современного бетона», куда приглашаем всех желающих.**

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хімічні і мінеральні добавки в бетон / За заг. ред. О. Ушерова-Маршака. – Х.: Колорит, 2005. – 280 с.
 2. Бабаевская Т.В. Комплексные добавки в бетон. Система «Релаксол» / Под ред. проф. Ушерова-Маршака А.В. – Запорожье: изд. Планета, 2008. – 100 с.
 3. Бетоны, строительные растворы, сухие строительные смеси и цементы с добавками системы Релаксол. Справочное пособие. 3-е издание, Бабаевская Т.В., Пилипчук Ю.Ю., Ушеров-Маршак А.В. – Запорожье, 2007 – 48 с.

4. Collepardi M. The new concrete. First publ., Italy, 2006. – 426 p.
 5. И.А. Войлоков Самоуплотняющиеся бетоны. Новый этап развития бетоноведения // Экспозиция бетоны и сухие смеси. 2008. – №4/Б (65). – С. 5–8.
 6. Ушеров-Маршак О.В., Латорець К.В. Бетони та сухі будівельні суміші. Тлумачний словник: Навчальний посібник. – Х.: Колорит, 2010. – 104 с.
 7. А. Ушеров-Маршак, А. Кабусь. Современный бетон: европейские нормы. Информационное обозрение. – Х.: Колорит, 2010. – 44 с.
 8. Болотских О. Европейские методы физико-механических испытаний бетона, Х.: 2010. – 143 с.
 9. Okamura H. Self-Compacting Concrete / Concr. Intern., 1997, vol. 19, № 7 pp. 50–54.

УДК 691.542

**Шахова Л.Д., доктор техн. наук, зам. директора НТЦ;
 Маркова С.В., директор НТЦ, ООО «Полипласт Новомосковск», г. Новомосковск;
 Черкасов Р.А., инженер, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПОМОЛА ЦЕМЕНТА ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ ООО «ПОЛИПЛАСТ»

ПОЛИПЛАСТ – один из крупнейших химических холдингов в Российской Федерации – лидер российского рынка химических добавок, широко применяемых при производстве строительной продукции широкого спектра назначения.

Компания располагает тремя современными заводами, оснащенными новейшим технологическим оборудованием, и имеет более 30 представительств, охватывающих всю территорию России и некоторые страны ближнего зарубежья, что позволяет в кратчайшие сроки доставить клиенту любой продукт из товарной линейки. Все заводы ПОЛИПЛАСТ имеют сертификаты на систему качества на соответствие международному стандарту ISO 9001:2008, выданные сертификационным центром TÜV NORD (Германия).

Основная продукция ПОЛИПЛАСТ представляет собой высокотехнологичные химические добавки, существенно повышающие качество материалов как на стадии переработки, так и готовых изделий. При этом компания имеет полные циклы производства и реализации продукции конечному потребителю за счет наличия собственной научно-технической базы, логистических центров, а также сервисного и консультационного сопровождения клиентов.

Вся продукция ПОЛИПЛАСТ имеет полный комплект нормативной документации, в том числе и по безопасности, а непрерывный контроль на всех стадиях производства обеспечивает наивысшее стабильное качество каждой партии продукта.

В 2005 году на базе строительной лаборатории ООО «Полипласт Новомосковск» был создан научно-технический центр (НТЦ). В настоящее время деятельность

НТЦ включает в себя несколько направлений, в том числе разработку технологических добавок для цементной промышленности в виде интенсификаторов помола и разжижителей шлама. Основная цель деятельности НТЦ заключается в выявлении потребностей наших клиентов, разработке рекомендации по применению продукции с целью получения заказчиком максимального экономического эффекта, обеспечении высокой технологичности применения продукта с учётом особенностей сырьевой базы предприятия (разжижители), минералогического состава клинкера и вещественного состава цементов (интенсификаторы помола).

Интенсификаторы помола применяются в цементной промышленности с целью снижения энергозатрат, по-

Таблица 1

Классификация интенсификаторов помола

Название группы	Обозначение	Наименование продукта	Особенности структурной формулы
Аминовая	ТЭА	триэтаноламин	Короткие разветвленные цепи
	ТИРА	триизопропаноламин	
Гликолевые	DEG	диэтиленгликоль	Короткие неразветвленные цепи
	PEG	полиэтиленгликоль	Длинные неразветвленные цепи
	PPG	полипропиленгликоль	Длинные неразветвленные цепи
ПАВ	LS	лигносульфонаты	Сложные длинные цепи с активными радикалами
	PNS	полинафталинсульфонаты	Сложные длинные цепи с активными радикалами и разветвленными боковыми цепями
	PCE	поликарбоксилаты	
	PA	полиакрилаты	



а)



б)

Рис 1. Методика определения текучести цемента по ASTM 1565-04
а) общий вид столика Хагерманна с закрепленным на нем ситом №05;
б) загрузка материала на сито №05

вышения производительности мельницы при сохранении физико-механических характеристик цементов.

Основу классификации интенсификаторов помола составляет химическая структура соединений, строение молекул и основные адсорбционно-химические свойства (табл.1).

Результаты процесса помола зависят от многих факторов, таких как технико-технологические параметры и характеристики самой мельницы, аэродинамического, температурно-влажностного режима помола, физико-технологических свойств клинкера и добавок. Каждое предприятие для получения различных типомарок/типоклассов характеристики цемента задает в технологическом регламенте. При этом помольные установки должны обеспечивать, в первую очередь, оптимальные и стабильные физико-механические характеристики цемента с учетом энергетической эффективности процесса помола и расчетной производительности мельницы. Таким образом, увеличение производительности мельниц следует рассматривать одновременно с качеством получаемого продукта и энергетическими характеристиками работы помольного агрегата.

В последнее время Полипласт вывел на рынок новую линейку интенсификаторов «Литопласт АИ»,

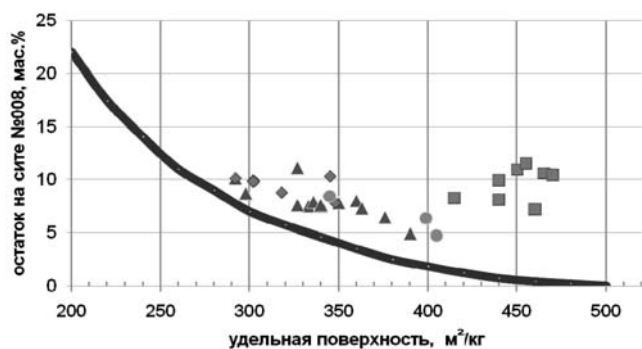


Рис. 2. Взаимосвязь между остатком на сите №008 и удельной поверхностью цемента:
— зависимость, приведенная в [1],
□ – данные лабораторных испытаний,
▲, ●, ◆ – данные промышленных испытаний

которые существенно отличаются от ранее предлагаемых добавок и успешно прошли опытно-промышленное испытание на цементных предприятиях России, Украины и Белоруссии.

Интенсификаторы помола «Литопласт АИ» относятся к композиционным составам на основе синтетических поверхностно-активных веществ. В зависимости от степени полимеризации ($n=7-25$) и различных концевых радикалов поверхностная активность меняется по отношению к границам раздела фаз Г-Ж или Т-Ж. Это позволяет индивидуально подбирать наиболее эффективный интенсификатор помола цементов с учетом вещественного и минералогического состава.

Механизм действия интенсификаторов помола новой серии «Литопласт АИ» основан на адсорбции молекул ПАВ на поверхности цементных частиц, что позволяет:

- предотвратить агрегирование мелких частиц (coating), устранить проблему налипания материала на шары и бронефутеровку мельниц, тем самым усилить силу удара и истирающего воздействия;

Таблица 2

Показатели работы мельницы замкнутого цикла при вводе интенсификатора

Наименование показателей	цемент без интенсификатора	Цемент с 0,02% «Литопласт АИ»	Коэффициент относительной эффективности
Средняя производительность, т/ч	41,1	51,1	$K_{пр}=1,24$
Средний расход эл. энергии, кВт/т цемента	39,6	32,3	$K_{эл}=1,22$
Нагрузка на привод ПВН, А	160-280	150-200	$K=1,25$
Тонкость помола цемента, % (остаток на сите №008)	6,8	4,9	$K=1,38$
Текучесть цемента по ASTM, % (проход через сито 05)	62	74	$K=1,19$
Предел прочности при сжатии в возрасте, МПа, по ГОСТ 31108	26,5	24,8	$K=0,94$
	2 суток		
	60,4	58,01	$K=0,96$
общая эффективность применения интенсификатора			$K=2,8$

Таблица 3

Гранулометрический состав цемента

Цемент МКМ	Гранулометрический состав				содержание фракций, %			S _{уд} расч., м ² /кг
	D _[4,3] ¹ МКМ	D _[3,2] ¹ МКМ	D _(v, 0,5) ¹ МКМ	D _(v, 0,9) ¹ МКМ	<4,88	4,88-30,53	>30,53	
Цемент с интенсиф.	19,94	5,60	15,21	43,96	20,92	62,53	16,55	337,7
Цемент без интенсиф.	18,46	5,31	13,52	39,30	22,15	65,06	12,79	356,8

D_[4,3]¹ – средний размер частиц, рассчитанный по объему цемента

D_[3,2]¹ – средний размер частиц, рассчитанный по поверхности цемента

D_(v, 0,5)¹ – средний размер частиц занимающих 50% объема

D_(v, 0,9)¹ – средний размер частиц занимающих 90% объема

- понизить твердость измельчаемых продуктов (эффект П.А. Ребиндера), тем самым снизить энергозатраты на помол;

- увеличить насыпную массу размалываемого продукта, тем самым увеличить запас емкостей для хранения цемента;

- увеличить текучесть цементного порошка (pack set index), тем самым снизить расходы на его транспортирование.

На многих предприятиях одной из проблем является выгрузка цемента из силоса или цементовоза из-за низкой текучести дисперсного порошка. Как правило, на цементных заводах о текучести цемента судят по косвенным показателям. Американское общество испытаний материалов предлагает оценивать текучесть цемента количественно по методике ASTM 1565-04. Суть методики заключается в просеивании навески цемента через сито №05 на встряхивающем столике Хагерманна (рис.1). Цемент обладает высокой текучестью, если при встряхивании сквозь сито проходит более 50% материала.

Обычно процесс помола контролируется и регулируется по показателям тонкости помола и в первую очередь остатку на сите №008. Этот показатель нормируется технологическим регламентом предприятия. Ввод интенсификатора помола приводит к несоответствию зависимости между показателями тонкости –

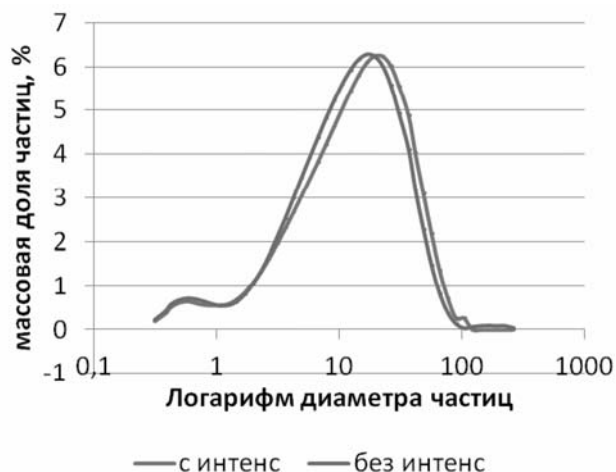


Рис. 3. Дифференциальное распределение гранулометрического состава цемента

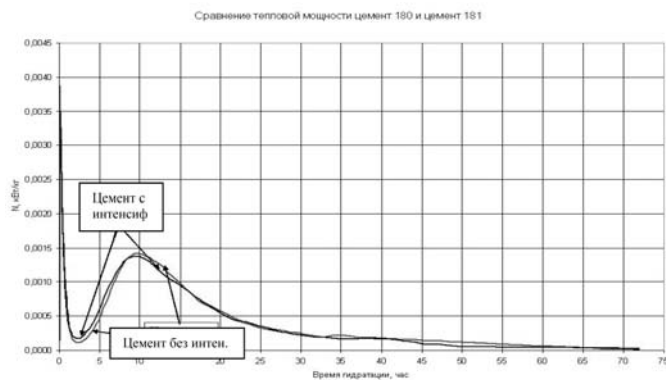


Рис. 4. Кинетика тепловыделения цемента

остатка на сите №008 и удельной поверхности (рис. 2). Данный эффект отмечается многими исследователями, работающими с интенсификаторами помола. Это явление можно объяснить тем, что повышение текучести цемента приводит к быстрому прохождению материала по второй камере и понижению его слоя. Вследствие этого материал из первой камеры переходит во вторую камеру неподготовленным. Энергии мелких шаров не хватает для измельчения частиц более 1 мм и они переходят в готовый продукт. В этом случае остаток на сите №008 при вводе интенсификатора перестает быть критерием оценки качества процесса помола. Таким образом, отладку технологического режима процесса помола с интенсификатором необходимо вести по остатку на сите №008 и удельной поверхности одновременно. В дальнейшем при промышленном применении интенсификатора технологи должны учитывать это несоответствие.

Действие интенсификаторов помола можно разделить на две составляющие: изменение параметров помола в мельнице и влияние его на свойства готового продукта.

В данном сообщении рассматриваются результаты промышленного применения интенсификатора помола «Литопласт АИ» на мельнице замкнутого цикла типоразмером 3x14 м со статическим сепаратором. Эффективность действия добавки линии «Литопласт АИ» оценивалась по сравнению с параметрами работы мельницы и характеристиками цементов без добавок.

Ввод интенсификатора в расчете 200 г на тонну цемента позволил изменить основные технологические параметры процесса помола бездобавочного цемента (табл. 2), в том числе и текучесть порошка. Эффек-

Таблица 4

Цемент	Тепловыделение, кДж/кг, за	
	72 часа	168 часов
Цемент с интенсификатором	93,59	99,58
Цемент без интенсификатора	92,32	102,18

Таблица 4

Физико-механические характеристики цемента по ГОСТ 10178

Маркировка цемента	Оста-ток на сите № 008, %	$S_{\text{пл}}$, см ² /г по Блейну	Водоотделение, %	В/Ц	Расплав конусав, мм	НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности в МПа					
							Начало	Конец	после ТВО по режиму 3+6+2ч, t=85±5°C		в возрасте 3 суток		в возрасте 28 суток	
									при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии
Цемент с интенсифик. (ПЦ500-Д0)	0,54	4155	7,69	0,38	115	27,2	2-35	3-45	5,7	50,4	5,1	41,9	7,0	65,3
Цемент без интенсифик. (ПЦ500-Д0)	0,28	4507	3,30	0,40	110	30,0	3-00	4-00	5,5	53,1	4,8	65,3	7,3	67,4

Таблица 5

Физико-механические характеристики цемента по ГОСТ 31108

Маркировка цемента	Предел прочности, МПа					
	в возрасте 2 суток		в возрасте 7 суток		в возрасте 28 суток	
	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии
Цемент с интенсиф. (ЦЕМ I 42,5Б)	4,1	24,8	6,7	48,1	7,4	58,01
Цемент без интенсиф. (ЦЕМ I 42,5Б)	3,9	26,5	6,5	47,5	7,5	60,4

тивность действия интенсификатора оценивалась с помощью системы коэффициентов относительной эффективности [2].

Известно, что гидравлическая активность цемента тесно связана с тонкостью его помола. Гранулометрический анализ цемента проводили на лазерном гранулометре «MASTERSIZER». Результаты показали (табл. 3), что в цементе с интенсификатором сократилось количество крупных более 100 мкм частиц, увеличился средний диаметр частиц, составляющих 50 и 90% объема. Это можно отнести к повышению способности сепаратора выделять из потока частицы заданного размера.

Дифференциальное распределение частиц по размерам в двух образцах цемента показано на рис. 2.

Как видно, применение интенсификатора не привело к резкому изменению распределения фракционного состава цемента.

Результаты по тепловыделению цемента при гидратации показали, что адсорбция органических молекул интенсификатора на цементных частицах не повлияла на количество выделившегося тепла (табл. 4) и скорость его взаимодействия с водой (рис. 4).

Физико-механические характеристики образцов цемента, выпущенных на мельнице замкнутого цикла без и с вводом интенсификатора, по ГОСТ 10178 и ГОСТ 31108, представлены в табл. 2–3.

Физико-механические характеристики цемента позволяют маркировать их по ГОСТ 31108 как ЦЕМ I 42,5Б- быстротвердеющие. Причем введение интенсификатора позволяет получать цемент с практически равной прочностью с цементом без интенсификатора, но при повышенной производительности мельницы.

Для потребителей цемента важно знать, насколько изменятся свойства цемента в составе бетонов. С этой целью все разрабатываемые интенсификаторы проходят проверку на совместимость с наиболее широко применяемыми добавками для бетонов. Как показали результаты, за счет пластифицирующего действия интенсификатора в составе цемента можно снизить водопотребность бетонной смеси и повысить конечную прочность бетона. Это позволяет снизить расход пластифицирующих добавок и добавок, повышающих раннюю прочность бетонов. При этом получаются более плотные бетоны с повышенной морозо- и коррозионной стойкостью.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дуда В. Цемент / В. Дуда. Пер. с нем. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
2. Шахова, Л.Д. Опыт применения интенсификаторов процесса помола нового поколения / Л.Д. Шахова, С.В. Маркова, Д.А. Мишин // Цемент и его применение. – 2011. – №4. – С. 123–125.