ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

В России и за рубежом накоплен большой опыт применения зол и шлаков ТЭС в бетонах. Из отраслей потребителей промышленных отходов лидирует производство строительных материалов, где удельный вес сырья достигнет 50%. Это позволяет использовать техногенные отходы, которые по своему составу и свойствам близки к природному сырью.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЫ-УНОСА И ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС

Утилизация промышленных отходов в строительной индустрии является важным путем снижения ущерба окружающей среде. Этот путь эффективен экологически и экономически, так как снижает расходы на содержание отвалов.

К настоящему времени на территории России в отвалах скопилось более 1 млрд т золошлаков. В то же время сырье из отходов в 2 – 3 раза дешевле, чем сырье специально изготовляемое. Расход топлива при использовании отдельных видов отходов снижается на 10 – 40%, а удельные капиталовложения — на 30 – 50%. Общее производство доменных шлаков в России в 2007 г. составило почти 17,3 млн т, в том числе гранулированных шлаков — около 5,8 млн т, шлакового щебня — 8,1 млн т.

Основным потребителем гранулированных доменных шлаков являются цементные предприятия — 4,9 млн т (или 84% от общего объема граншлаков). Остальные 0,9 млн т используют более 100 различных предприятий с годовым объемом переработки шлаков от 0,2 до 200 тыс. т.

Не секрет, что наиболее дефицитным и энергоемким компонентом бетона является цемент. На решение актуальных задач развития производства бетона и железобетона направлены теоретические и экспериментальные исследования ведущих НИИ (НИИЖБ, ВНИИ железобетон), учебных институтов (МГСУ, МГАКХиС) и др. организаций. В результате доказана высокая эффективность внедрения в производство бетона и железобетона золы-уноса и золошлаковых отходов ТЭС.

Зола-унос имеет серый или светло-серый цвет, близкий к цвету цемента, и постоянный химический и фазовый состав. В основном ее химический состав представлен оксидами кремния, алюминия, железа и кальция, а также примесями в виде оксида магния, серы, натрия и калия. Фазовый состав золы-уноса включает главным образом алюмосиликатное стекло, а также кварц, оксиды железа и незначительное количество несгоревшего углерода. Частицы золы-уноса имеют в основном сферическую форму и размеры от одного до 150 мкм (средний размер частицы меньше 20 мкм). Истинная плотность — 2,2 г/см^3, насыпная плотность — 700 – 750 кг/м^3. Зола-унос не содержит других продуктов сжигания каменного угля (например, топливный шлак) и не требует последующей обработки при добавлении в портландцемент или бетон.

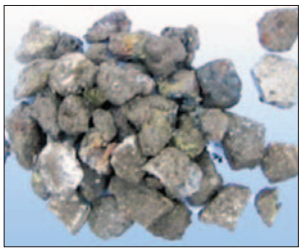
Бетонные смеси с добавкой золы обладают большей вязкостью, лучшими транспортабельностью и перекачиваемостью, меньшими водоотделением и расслоением. Исследования показывают, что использование золы-уноса и золошлаковых отходов ТЭС в керамзитобетоне взамен кварцевого песка снижает его плотность на 40 – 80 кг/м^3 и позволяет сократить расход цемента на 15 – 50 кг в расчете на 1 м^3 бетона. При этом улучшаются защитные свойства по отношению к стальной арматуре и некоторым видам коррозии, а также теплофизические показатели бетона. Применение зол и золошлаковых смесей (ЗШС) способствует решению экологических проблем и созданию безотходных производств, обеспечивает промышленные предприятия дешевым сырьем, упрощает и интенсифицирует технологические процессы.

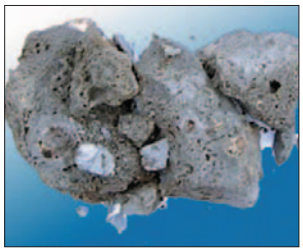
Такие тонкодисперсные минеральные компоненты, как зола-унос, влияют на характеристики бетонной смеси. Для эффективного их применения необходима разработка составов бетонных смесей (оптимальное соотношение между цементом, заполнителями и золой) для конкретного производителя и применяемых им сырьевых материалов. Это позволяет получать бетоны не только с заданными характеристиками по водопотребности, прочности, усадке, тепловыделению, долговечности, но и с такими особыми свойствами, как более высокая коррозионная стойкость. Определение народно-хозяйственной экономии при создании новых материалов и изделий на базе отходов и выбор вариантов взаимозаменяемости материалов проводятся обычно в расчетах эффективности капитальных вложений и новой техники по минимуму приведенных затрат.

В связи с тем, что большинство тепловых электростанций на европейской территории России оборудованы системами гидрозолоудаления, получаемые в них зола и золошлаковые смеси используются в основном в качестве мелкого заполнителя для бетонов в производстве керамзито- и гипсобетона, низкомарочных растворов и бетонов, а также в дорожном строительстве. Для более эффективного использования золы ТЭС в качестве активной добавки, позволяющей существенно экономить цемент в производстве строительных деталей и конструкций, в последние годы в европейской части России сооружены установки сухого золотбора. К сожалению, общий объем использования промышленных отходов очень незначителен — 5 – 6% от их выхода.

Экологический эффект, получаемый при утилизации отходов, складывается из многих факторов, часто специфических для того или иного вида отходов. Применение золы-уноса обеспечивает максимальную экономию цемента (10 – 25% — в зависимости от вида и качества заполнителей и типа конструкций). Зола-унос удовлетворяет требованиям ГОСТ 25818-91 «Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия».

Для получения оптимальных результатов требуется правильный подбор компонентов бетонной смеси, тщательное соблюдение технологии проведения работ по бетонированию. Анализ информации, данной в науч-





ных и профессиональных литературных источниках, показывает, что среди основных факторов, влияющих на коррозию арматуры и бетона с использованием зол и ЗШС, можно выделить: соотношение золы и цемента в золобетоне, содержание в золе несгоревших углистых остатков, стеклофазы, сернистые соединения, гидравлическую активность золы. Правильный подбор состава бетона позволяет обеспечить первоначальную пассивность арматуры в бетоне. Длительная же ее сохранность будет определяться проницаемостью бетона, толщиной защитного слоя до арматуры и условиями эксплуатации конструкций. Проведенные исследования за последние годы показали принципиальную возможность получать бетон с первоначальной пассивностью стали и способностью длительно сохранять свои защитные свойства и коррозионную стойкость.

Данные исследований и производственных испытаний последних лет подтверждают рациональность использования золы-уноса и золошлаковых отходов ТЭС на предприятиях стройиндустрии, в результате чего снижается объемная масса легкого бетона с одновременным улучшением теплофизических показателей и экономией цемента (до 20%), что позволяет рекомендовать технологию для широкого внедрения при производстве легких и тяжелых бетонов.

ДОБАВКИ И ИСПЫТАНИЯ

В настоящее время проблема снижения потребления цемента и энергетических ресурсов в строительной индустрии, а также интенсификации производства бетона и сборного железобетона при сохранении и улучшении проектных свойств в изделиях и конструкциях связаны с использованием некоторых минеральных добавок в чистом виде или в комплексе с химическими. Наиболее эффективны в качестве минеральной добавки и вяжущего вещества для бетона доменные гранулированные шлаки, обладающие способностью к самостоятельному гидратационному твердению. Анализ состояния проблемы использования минеральных добавок к вяжущим веществам для бетона показал, что этот класс добавок, являющихся в основном вторичным сырьем (доменные гранулированные шлаки, золы и золошлаковые смеси ТЭС), позволяет получать многокомпонентные системы с определенными эксплуатационными характеристиками, а также способствует созданию безотходных технологий и улучшению экологического состояния окружающей среды. Однако многокомпонентные цементы характеризуются в основном пониженной прочностью (на 1 – 2 марки), что сдерживает использование минеральных добавок в производстве бетона и сборного железобетона.

Важным резервом повышения эффективности использования тонкомолотых доменных гранулированных шлаков в производстве бетона и железобетона для экономии цемента является применение шлаков с оптимальной дисперсностью, имеющей функциональную зависимость от дисперсности цемента. Введение в бетон тонкомолотого шлака в количестве 40 – 60% взамен эквивалентной части цемента позволяет получать бетоны, прочность которых в 1,5 – 2 раза выше прочности бетонов на промышленно изготовленных цементах. Бетоны с добавкой шлака характеризуются повышенной сульфатостойкостью, удовлетворительной морозостойкостью и рядом других положительных свойств. Более высокая эффективность использования тонкомолотых доменных гранулированных шлаков в бетонах достигается при их комплексном применении с химическими добавками (суперпластификаторами, пластификаторами и ускорителями твердения). Такая технология использования тонкомолотого шлака позволяет получать плотные бетоны марок 500 – 800 с расходом клинкерного компонента в пределах 200 кг/м^3, что обусловлено проявлением «эффекта упорядочения структуры» при твердении многокомпонентных систем с низким водосодержанием.

Тонкомолотый доменный шлак вводился в состав тяжелого бетона класса В 15 в количестве от 20 до 70%. Дисперсность шлака составляла соответственно 225 – 470 м^2/кг. Все составы бетона готовились с добавкой суперпластификатора С-3 (0,4% от массы цемента). Использовался портландцемент марки 400 (ГОСТ 10178-85) Михайловского цементного завода с содержанием доменного шлака 20%. Тепловлажностная обработка (ТВО) бетона осуществлялась по режиму 3 + 3 + 6 + 2 ч. при температуре изотермического прогрева 85 – 90 °С.

Испытания бетона показали, что за счет использования грубодисперсного доменного гранулированного шлака расход цемента снижается до 40% с одновременным повышением прочности на 8%, а при использовании тонкодисперсного шлака (с дисперсностью 470 м^2/кг) экономится 60 – 70% цемента при одновременном повышении прочности бетона на 19 – 51% (см. табл.).

Грубодисперсный шлак получали на действующей помольной установке завода стройматериалов (ее производительность 50 тыс. т. в год) в однокамерной шаровой мельнице по замкнутому циклу, а тонкодисперсный — на Косогорском цементном заводе. Тонкомолотый шлак выпускается в соответствии с ТУ 21-20-61-85 «Шлак молотый для производства шлакощелочного вяжущего». Его дисперсность должна составлять 300±15 м^2/кг, однако в настоящее время она находится на уровне 210 – 240 м^2/кг. Увеличения дисперсности шлака до оптимальной (420 – 470 м^2/кг) можно достичь заменой мелющих тел в мельнице, а также использованием при помоле шлака суперпластификатора С-3. Внедрение технологии использования тонкомолотого доменного гранулированного шлака состоялось на заводе стройматериалов и заводе крупных деталей «Туластрой Сервис». В процессе внедрения была выпущена и испытана опытная партия изделий для дома серии 111-83.

Результаты испытаний бетона класса В15 с тонкомолотым доменным шлаком

Содержание вяжущего			Дисперсность шлака, м^2/кг	В/Ц	ОК, см	Предел прочности бетона при сжатии через 4 ч. после ТВО, МПа/%
Цемент, кг/м^3	Шлак					
	кг/м^3	% от массы цемента				
290	—	—	—	0,48	2,3	14,4/100
232	58	20	225	0,46	2,5	17,1/119
174	116	40	225	0,44	2	17,5/122
116	174	60	225	0,46	3	15,5/107
290	—	—	—	0,46	2,5	17,4/100
174	116	40	225	0,42	2,5	18,8/108
116	174	60	225	0,46	2,5	15,6/90
116	174	60	470	0,38	2,5	26,3/151
87	203	70	470	0,4	2,5	20,6/119

М. А.ФАХРАТОВ, д. т. н., профессор,
В. И. СОХРЯКОВ,
старший преподаватель,
Я. И. МОРОЗОВА, М. А. ГОНЧАРОВА,
студенты VI курса специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».
Кафедра технологии вяжущих материалов и бетонов Московской государственной академии коммунального хозяйства и строительства

Литература

1. М. А. Фахратов. «Применение золы и шлаков в целях экономии цемента в организациях Минсевзапстроя РСФСР». // Научно-технический информационный сборник, №3. — М., 1990 г., с 11–12.

2. М. А. Фахратов., А. А. Кальгин, В. Б. Горшков, С. И. Красненков, Р. А. Апраилов, Х. Ю. Юсупов. «Опыт использования золы-уноса и золошлаковых отходов ТЭС на предприятиях строительной индустрии концерна "Россевзапстрой"». // Научно-технический информационный сборник, №2. — М., 1991 г., с 28–32.