

Белов В. В., советник РААС, д-р техн. наук, проф.,
Курытников Ю. Ю., канд. техн. наук
Тверской государственной технической университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЫ ГИДРОУДАЛЕНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СУХОЙ ГОТОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

yuriy-k@yandex.ru

Рассматривается вопрос эффективного использования золы гидроудаления в качестве минерального наполнителя в сухую готовую смесь для изготовления газобетона неавтоклавного твердения, в том числе в построчных условиях.

Ключевые слова: сухая готовая смесь, неавтоклавный газобетон, зола гидроудаления, минеральный наполнитель.

Одним из перспективных направлений получения бетонов нового поколения, отличающихся высокой технологичностью, повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, является применение активированных реакционно-порошковых сырьевых смесей с тонкодисперсными наполнителями различной природы и дисперсности. В таких смесях содержится 50-60 % порошкового компонента (например, цемент, молотая горная порода, микрокремнезем) и 40-50 % тонкозернистого (например, кварцевый песок фракции 0,1-0,6 мм). Эти сырьевые смеси легко перемещаются пневмотранспортом и не сепарируются при загрузке емкостей, а самое главное, относительно легко перемешиваются, т.е. обладают всеми известными достоинствами сухих строительных смесей [1].

Порошковые бетоны с содержанием цемента в пределах 680-750 кг на 1 м³ бетона, микрокремнезема – от 7 до 15 % от массы цемента, молотого песка с удельной поверхностью 320-360 м²/кг – 350-375 кг, тонкозернистого песка фракции 0,16-0,63 мм – 700-750 кг, гиперпластификатора марки Melflux (1641F, 2641F, 2651F) – 0,8 % от массы цемента, при В/Т = 0,10-0,13 имеют прочность на сжатие в возрасте 28 суток 100-130 МПа, а после двух лет твердения повышают этот показатель на 50 %, а предел прочности на растяжение при изгибе на 60 %. Используя предварительно приготовленные сухие реакционно-порошковые сырьевые смеси, можно получать высокопрочные мелкозернистые, а также на их основе и щебеночные бетоны, с удельным расходом цемента от 4,1 до 5,8 кг на 1 МПа прочности [2].

В качестве тонкодисперсных наполнителей для изготовления бетонов нового поколения эффективно использовать микрокремнезем, золунос, метакаолин, микрокремнезем, каменную муку (кварцевую и известняковую) и др. Такие наполнители связывают гидрозольную известь портландцемента уже в ранние сроки гидрата-

ции (через 1-2 суток твердения). Образование высокодисперсных гидросиликатов кальция, кристаллизующихся в порах и в контактных зонах более крупных частиц цемента и наполнителей, улучшает структуру цементного камня, способствуя повышению ранней прочности. При добавлении микрокремнезема, кремнистого микрозаполнителя и метакаолина поры бетона сужаются. Повышение ранней прочности наблюдается у бетонов со всеми микронаполнителями. Через 90 суток максимальную прочность на сжатие демонстрировали бетоны с добавлением микрокремнезема [3].

Аналогичные принципы могут лежать в основе использования предварительно приготовленных сухих смесей для получения эффективных бетонов не только плотной, но и ячеистой структуры, т.е. газобетонов. Подобные сухие смеси разработаны на основе смешанных бесклнкерных вяжущих, содержащих в своем составе высококальциевую золу ТЭЦ и вскрышные глинистые породы, а также малоклнкерное смешанное вяжущее, содержащее добавку портландцемента. Недостатком их является низкая прочность при сжатии 0,06 - 0,11 МПа [4]. В работе [5] изучено влияние технологии изготовления золосодержащих сухих смесей для производства неавтоклавного газобетона на его свойства. Введение 10–20 % кварцевого песка в молотую золоцементную смесь позволяет получить газобетон плотностью 700 кг/м³ и прочностью при сжатии 2,76–3,02 МПа. В работах [6, 7] показана возможность получения сухих смесей для производства пенобетонов с применением пенообразующей добавки белковой природы. Определены рецептурно-технологические параметры получения сухих смесей, а также изучены деформативные свойства неавтоклавного пенобетона. Выявлено, что эффективным ускорителем твердения в составе сухих смесей является силикат натрия. Прочность, усадка и морозостойкость пенобетона средней плотностью

400–800 кг/м³ соответствуют нормативным требованиям.

Авторами разработана технология изготовления нового класса теплоизоляционных сухих строительных смесей для получения газобетона неавтоклавного твердения, в том числе в построечных условиях [8]. Определены основные информационные логические связи при проектировании составов сухих готовых смесей для изготовления газобетона (рис. 1).

Предлагаемая модель, реализующая комплексный подход, позволяет установить взаимосвязь между физико-химическими предпосылками формирования структуры газобетона,

структурообразованием и свойствами материала. Формирование микро- и макроструктуры газобетона осуществляется за счет варьирования основных компонентов состава сухих готовых смесей, модификации состава химическими и дисперсно-армирующими добавками, природы поверхности, дисперсности и однородности распределения компонентов, механоактивации поверхности твердой фазы и рациональных режимов перемешивания газобетонной смеси. В свою очередь, структура определяет основные свойства газобетона: среднюю плотность, предел прочности на сжатие и на растяжение при изгибе, усадку при высыхании, теплопроводность.



Рис. 1. Схема информационных логических связей при формировании структуры газобетона из предварительно приготовленной сухой смеси

Среди вторичных техногенных продуктов (отходов) энергетического комплекса в качестве тонкодисперсного компонента (наполнителя) в бетонах наиболее часто применяют золу-унос, которая способствует улучшению характеристик бетонной смеси и бетона и позволяет сделать производство бетона более рентабельным. В то же время с экономической и экологической точек зрения в качестве различных сырьевых компонентов строительных конгломератов эффек-

тивно использовать отвалы золы, шлаки и их смеси. Но с технической точки зрения это не так просто сделать, так как отвальная зола ТЭС имеет низкую дисперсность, загрязненность различными примесями и, в итоге, состав и свойства, колеблющиеся в широких пределах, что негативно отражается на свойствах материала. Поэтому проблема эффективного использования этого потенциально выгодного сырья в

производстве строительных материалов, в частности ячеистых бетонов, является актуальной.

В данной работе в качестве кремнеземистого компонента в сухие готовые смеси для изготовления газобетона неавтоклавного твердения исследовалась зола гидроудаления (золошлаковая смесь) Тверской ТЭЦ-4. Данная зола является золой смешанного характера (примерно ка-

менноугольной на 60 % и торфяной на 40 %). В литературных источниках мало сведений об использовании такой золы в качестве кремнеземистого компонента для газобетона. Свойства данной золы, предварительно просеянной через сито с размером ячейки 2,5 мм для удаления крупных включений, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к кремнеземистому компоненту ячеистых бетонов и соответствующие характеристики золы ТЭЦ-4

Характеристики	Нормативные показатели (согласно СН 277-80)	Показатели золы ТЭЦ-4
Содержание в золе оксидов, % SiO ₂ CaO R ₂ O (K ₂ O+Na ₂ O) SO ₃	Не менее 45 Не более 10 Не более 3 Не более 3	50,4 5,9 1,39 0,48
Содержание стекловидных и оплавленных частиц, %	Не менее 50	Не определялось
Потери при прокаливании, %	Для золы бурых углей – не более 3; для золы каменных углей – не более 5	2,14
Удельная поверхность, м ² /кг	400–500	75
Набухание в воде, %	Не более 5	Нет
Равномерность изменения объема при кипячении лепешек из цементно-зольного раствора состава 1:3	Должна выдерживать испытание	Испытание выдержала

По химическому составу зола ТЭЦ-4 является сверхкислой, а по гранулометрическому составу – грубодисперсной. По большинству показателей она соответствует требованиям, предъявляемым СН 277-80 к золам, применяемым в качестве кремнеземистого компонента ячеистых бетонов. Однако по удельной поверхности несоответствие золы нормативным требованиям достигает 5-7 раз, что требует помолла ее до требуемой дисперсности.

Изучение структуры частиц золы с помощью микрофотографирования показало, что значительное количество частиц немолотой золы представляют собой «микросферы» с пустотой внутри, поэтому они обладают высокой водопотребностью. При измельчении золы до удельной поверхности, близкой к нормативным показателям для кремнеземистого компонента ячеистых бетонов (300-400 м²/кг), водопотребность уменьшается в связи с расщеплением «микросфер» на относительно плотные частицы. На поверхности зольных частиц возрастает число активных центров, что позволяет вовлечь золу в процесс твердения бетона, т.е. повышается её реакционность (активность).

В работе находили зависимости прочности сухих готовых смесей без порообразователя как матрицы газобетона от количества золы в составе смеси в интервале варьирования золоцементного отношения (З/Ц), охватывающем обычно принятый для изготовления газозолобетона (0,75-1,25). Просеянную через сито с размером ячейки 2,5 мм золу высушивали в сушильном шкафу при температуре 60-70 °С и производили помол до удельной поверхности около 300 м²/кг. Изготовленную сухую готовую смесь всыпали в воду затворения из расчета достижения в одной серии опытов водотвердого отношения (В/Т) равного 0,40, а в другой серии опытов – 0,60. Сырьевую смесь перемешивали в течение 2 мин. Растворную смесь заливали без уплотнения в формы-кубы размером 70 x 70 x 70 мм. Образцы выдерживали в течение 28 суток под полиэтиленовой пленкой при комнатной температуре 20±2 °С, после чего испытывали на сжатие. Пластичность (текучесть) сырьевых смесей и физико-механические свойства золоцементных растворов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства сырьевых смесей и золоцементных растворов

№ опыта	З/Ц отношение	Свойства золоцементных растворов			
		Расплав смеси по Сутгарду, см	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности на сжатие в возрасте 28 суток, МПа	Влажность раствора в момент испытания, %
В/Т = 0,40					
1	0,5	13	1798	21,5	21,2
2	0,75	13	1790	16,3	21,7
3	1,0	14	1782	12,1	21,5
4	1,25	14	1769	10,9	22,1
В/Т = 0,60					
5	0,5	31	1721	9,0	28,4
6	0,75	32	1709	6,8	28,9
7	1,0	33	1694	5,8	28,5
8	1,25	33	1683	5,1	29,3

Одновременно с образцами из золоцементного раствора по той же технологии были изготовлены контрольные образцы из цементно-песчаного раствора при соотношении песка и цемента (П/Ц) равном 0,75, и В/Т равном 0,60. Для приготовления раствора использовали молотый кварцевый песок с такой же, как и у золы, удельной поверхностью (около 300 м²/кг). Получены следующие результаты: расплав смеси по Сутгарду 34 см, средняя плотность 1732 кг/м³, предел прочности на сжатие 5,2 МПа, влажность в момент испытания 29,7 %. Сравнение этих данных с данными табл. 2 для соответствующего состава золоцементного раствора показывает, что предел прочности на сжатие золоцементного раствора на 24 % выше, чем у цементно-песчаного раствора при одинаковых дисперсности и содержании кремнеземистого компонента, что свидетельствует о приобретении отвалной золой определенной реакционной способности после помола.

Предел прочности на сжатие золоцементного раствора уменьшается при одинаковом В/Т с увеличением содержания золы гидроудаления в смеси в исследованном диапазоне. Более существенным это снижение проявляется при меньших значениях В/Т. Так, при В/Т равном 0,6, с увеличением З/Ц от 0,5 до 1,25 предел прочности на сжатие уменьшается на 43,3 %, а при В/Т равном 0,4, это снижение составляет 49,3 %. Как и следовало ожидать, большое влияние на прочность золоцементного раствора оказывает водотвердое отношение. Например, при З/Ц равном 0,75, увеличение В/Т с 0,4 до 0,6 снижает прочность образцов в 2,4 раза (с 16,3 до 6,8 МПа).

Влияние золоцементного отношения на среднюю плотность и предел прочности на сжатие в возрасте 28 суток образцов неавтоклавного

газозолобетона, изготовленного на основе указанных выше сухих готовых смесей при добавке газообразователя – алюминиевой пудры показано на рис. 2. Увеличение золоцементного отношения приводит в целом к понижению предела прочности на сжатие и средней плотности газобетона как и неавтоклавного золоцементного раствора. Учитывая неравномерность этого снижения (сначала незначительное), можно определить оптимальное золоцементное отношение – около 0,75. При большем содержании золы резко снижается предел прочности газозолобетона, что не компенсируется некоторым уменьшением средней плотности материала.

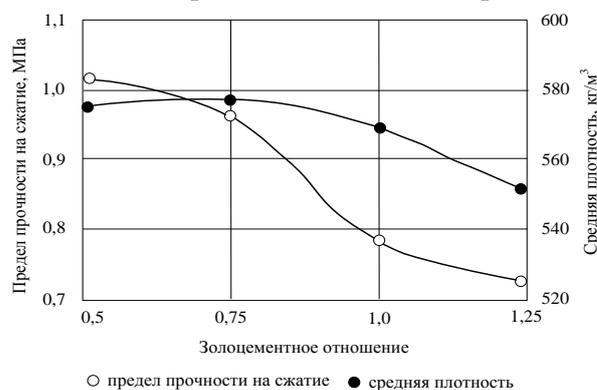


Рис. 2. Зависимости предела прочности на сжатие и средней плотности газозолобетона от золоцементного отношения

В работе определяли усадку при высыхании газобетона, изготовленного на основе сухих готовых смесей с использованием золы гидроудаления по стандартной методике. Определялось изменение длины образцов-призм размерами 40×40×160 мм. Образцы каждой серии выпиливали из газобетонных блоков размерами 0,5×0,5×0,2 м. По значениям усадки при высыхании и влажности бетона строили кривые усадки. По кривой определяли

усадку в интервале влажности от 35 до 5 %. Усадка при высыхании составила 2,7-2,9 мм/м, что соответствует нормативным требованиям.

Разработан состав газобетона на основе золы гидроудаления, физико-механические свойства которого представлены в табл. 3. Полученный неавтоклавный газобетон на основе сухих готовых смесей с использованием золы гидроудаления характеризуется равномерной высокопористой структурой. Качественные показатели соответствуют требованиям ГОСТ 25485–89 «Бетоны ячеистые. Технические условия». Расчетный экономический эффект производства

газобетона по результатам выпуска опытной партии составляет 400 руб/м³. Снижение себестоимости продукции по сравнению с аналогичным материалом в пределах 30-35 %, что главным образом обусловлено использованием такого дешевого техногенного отхода, как зола гидроудаления ТЭС, уменьшением затрат на природный газ и электроэнергию и меньшими капиталовложениями. Применение золы гидроудаления ТЭС позволяет расширить сырьевую базу, повысить технико-экономические показатели неавтоклавного газобетона, а также улучшить экологическую ситуацию в регионе.

Таблица 3

Физико-механические свойства неавтоклавного газобетона, полученного на основе сухих готовых смесей

Физико-механические показатели	Единицы измерений	Значения показателей	Требования ГОСТ 25485-89
Средняя плотность, (Марка по плотности)	кг/м ³	465 (D500)	D500
Предел прочности на сжатие в возрасте 3 суток	МПа	0,67	–
Предел прочности на сжатие в возрасте 28 суток (Класс по прочности)	МПа	1,64 (B1)	B1 B0,75
Предел прочности на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток	МПа	0,42	–
Водопоглощение по массе	%	46	–
Водопоглощение по объему	%	21	–
Усадка при высыхании	мм/м	2,7	3,0

Таким образом, получен новый вид сухих готовых смесей для изготовления неавтоклавного газобетона в построечных условиях, используемый при заполнении многослойных ограждающих конструкций и выполнении других теплоизоляционных работ, как в процессе строительства и реконструкции зданий, так и в заводских условиях при изготовлении мелкоштучных изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Калашников, В.И. и др.* Порошково-активированные тонкозернистые тонкозернистые сухие бетонные смеси для производства различных бетонов / В.И. Калашников и др. // Социальные стандарты качества жизни в архитектуре, градостроительстве и строительстве: сб. науч. тр. РААСН, 2011. – С. 316-320.
2. *Калашников, В.И.* Через рациональную реологию – в будущее бетонов / В.И. Калашников и др. // Технологии бетонов. – 2008. – № 1. – С. 22-23.
3. *Ружо, Р.* Ультратехнологичные бетоны с мелкодисперсными частицами, отличными от микрокремнезема / Р. Ружо, Б. Бори // СРІ – Международное бетонное производство. – 2007. – №6. – С. 22-30.

4. *Селиванов, В.М.* Сухие газобетонные смеси на основе вторичного сырья и отходов промышленности / В.М. Селиванов, А.Д. Шильцина, А.И. Гныря // Строительные материалы. – 2000. – № 9. – С. 10-11.

5. *Щукина, Ю.В.* Золосодержащие сухие смеси для производства газобетона / Ю.В. Щукина. // Десятые академические чтения РААСН. – С. 683-688.

6. *Черкасов, В.Д.* Разработка составов сухих смесей для производства неавтоклавных ячеистых бетонов. Вестник отделения строительных наук / В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, Е.В. Киселев, А.И. Емельянов. – 2006. – Вып. 10. – С. 131-135.

7. *Черкасов, В.Д.* Исследование свойств ячеистых бетонов, полученных на основе сухих смесей. Вестник отделения строительных наук / В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, А.И. Емельянов, Е.В. Киселев. – 2008. – Вып. 12. – С. 292-295.

8. *Белов, В.В.* Модифицирование сухих поробетонных смесей на основе техногенных вторичных ресурсов. Строительные материалы / В.В. Белов, Ю.Ю. Курятников. – 2008. – № 2. – С. 6-7.