УДК 691.335

Г.И. БЕРДОВ[1], д-р техн. наук; М.А. ЕЛЕСИН[2], канд. техн. наук (ema0674@mail.ru),
Е.В. УМНОВА[2], инженер (elena00@kanal7.ru)

[1] Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)
[2] Норильский индустриальный институт (663310, г. Норильск, ул. 50 лет Октября, 7)

Ячеистый шлакопортландцементный бетон на известково-серном затворителе

Использование известково-серного затворителя способствует активации шлакопортландцемента при получении ячеистого бетона неавтоклавного твердения с алюминиевой пудрой или гидразином. При применении в качестве газообразователя алюминиевой пудры высокая скорость набора прочности на 30–40% определяется образованием быстро кристаллизующейся фазы – тиосульфатсодержащих гидроалюминатов. Введение такого затворителя совместно с 1,4% гидразина обеспечивает увеличение прочности на 50–70% и коэффициента конструктивного качества с 0,8–0,9 до 1,2–1,29 по сравнению с керамзитобетоном, затворенным водой. Сравнительно более высокие технические показатели в опытах с использованием гидразина обусловлены полным восстановлением в гидроокиси железа и ростом концентрации в твердеющей массе иона Fe(II), в свою очередь облегчающего полноту рекристаллизации первичных гидросиликатов кальция.

Ключевые слова: ячеистый бетон, шлакопортландцемент, известково-серный затворитель, гидразин, газообразователь.

G.I. BERDOV[1], Doctor of Sciences (Engineering); M.A. ELESIN[2], Candidate of Sciences (Engineering) (ema0674@mail.ru),
E.V. UMNOVA[2], Engineer (ele-na00@kanal7.ru)
[1] Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)
[2] Norilsk Industrial Institute (7, 50 Let Oktyabrya, Norilsk, 663310, Russian Federation)

Cellular Slag Portland-Cement Concrete with Lime-Sulfur Sealing Compound

The use of the lime-sulfur sealing compound facilitates activation of slag Portland-cement when producing the cellular concrete of non-autoclaved hardening with aluminum powder or hydrazine. When the aluminum powder is used as a gas developing agent, the high speed of strength gain by 30–40% is determined by the formation of a fast crystallizing phase – thiosulfate-containing hydroaluminates. The introduction of this sealing compound in combination with 1,4% of hydrazine ensures the improvement of strength by 50–70% and the strength-density ration from 0,8–0,9 up to 1,2–1,29 in comparison with haydite concrete mixed with water. Relatively higher technical indicators in experiments with the use hydrazine are due to the full recovery of ion Fe(II) in the iron hydroxide and increase in its concentration in the hardening mass which, in turn, facilitates the fullness of recrystallization of primary calcium hydrosilicates.

Keywords: cellular concrete, slag Portland-cement, lime-sulfur sealing compound, hydrazine, gas developing agent.

Трудности получения прочного легкого бетона ячеистой структуры обусловлены снижением количества структурных связей в единице объема пористого тела тем в большей степени, чем выше его пористость и ниже плотность. Большой интерес представляет получение ячеистого бетона по неавтоклавной технологии, обладающей малой фондоэнергоемкостью, безотходностью и экологической чистотой [1–3].

В отличие от ячеистого бетона автоклавного твердения, имеющего повышенные прочностные характеристики, из бетона неавтоклавного твердения изготавливают в основном мелкие изделия для наружных и внутренних стен в малоэтажном строительстве [4–6].

По опыту создания шлакопортландцемента целесообразно использование в качестве песковой фракции измельченного гранулированного шлака, потенциально обладающего вяжущими свойствами, при его химической активизации под действием введенных в сырьевую смесь компонентов.

В работе исследован состав сырьевой смеси, включающей портландцемент и измельченный шлак. Для активации вяжущей смеси использовали известково-серный затворитель (ИСЗ), содержащий полисульфид кальция CaS_n. Известково-серный затворитель получали растворением серы в нагретой до 95°С механически перемешиваемой суспензии $Ca(OH)_2$. Содержание серы в нем составляет 220 г/л. В качестве газообразователя вводили 0,2% алюминиевой пудры или 1,4% гидразина N_2H_4.

Полисульфид кальция в известково-серном затворителе [7, 8] способен активировать минералы портландцемента и аналогичные соединения в составе шлака, создавать в жидкой фазе избыток кремнекислородных анионов, а также под действием гидратационных процессов продуцировать тиосульфат кальция – основу образования новой тиосульфатсодержащей фазы гидросульфоалюминатов, упрочняющих структуру цементного камня [9, 10]. Присущее полисульфиду кальция свойство ускорять твердение портландцемента и шлака, усиленное добавкой алюминиевой пудры – дополнительного источника образования гидросульфоалюминатов, положено в основу метода получения быстротвердеющих газобетонов [11].

При введении гидразина его взаимодействие с серой может быть представлено в виде:

$$2S + N_2H_4 \xrightarrow{4OH^-} 2S^{2-} + N_2\uparrow + 4H_2O.$$

Это вызывает гидролиз сульфида кальция, рост уровня насыщения раствора его гидроксидом, активацию силикатов портландцемента и шлака.

Активация силикатов растворами щелочей определена депассивацией поверхности зерна и ускорением образования анионов, таких как $SiO_3(OH)^{3-}$ и $SiO_2(OH)_2^{2-}$. При этом концентрация кремнезема в жидкой фазе гидратирующейся системы значительно увеличивается, особенно в присутствии гидразина (см. рисунок). Восстановительным действием гидразина исключается возможность образования в начальные сроки гидратационного тверде-

Таблица 1

Химический состав шлака, % изм.

SiO_2	FeO	CaO	Al_2O_3	MgO	SO_3
30,6	56,6	2,4	4	0,5	2,9

Таблица 2

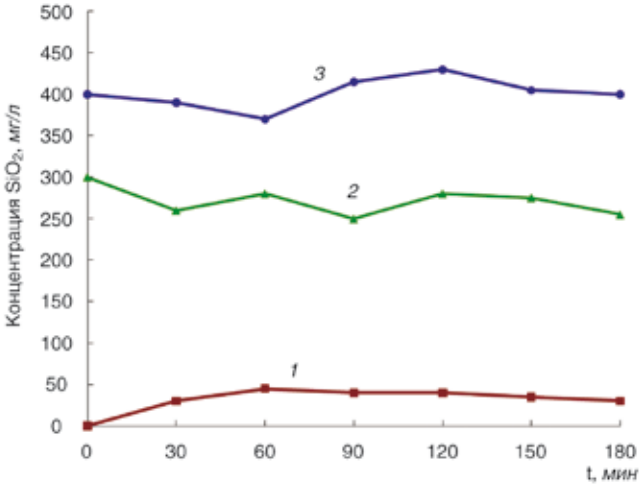
Ж:Т	Порообразователь		Температура затворителя, °С	$R_{сж}$, МПа		Плотность (28 сут), кг/м^3	ККК
	Алюминиевая пудра, %	Гидразин, %		3 сут	28 сут		
Легкий бетон (типовой) на керамзите							
0,3	–	–	90	3,3	11	1242	0,089
0,4	–	–	90	2,46	8,9	1130	0,077
Шлакопортландцементная смесь, затворенная в известково-серном отваре с добавкой алюминиевой пудры							
0,3	0,2	–	90	8,24	14,4	1336	0,098
0,4	0,2	–	90	7,23	13,2	1305	0,106
Шлакопортландцементная смесь, затворенная в известково-серном отваре с добавкой гидразина							
0,3	–	1,4	90	7,7	16,7	1336	0,125
0,4	–	1,4	90	5,3	14,9	1203	0,123

ния тиосульфата кальция, значительно сокращающего сроки формирования структуры цементного камня.

В опытах использовали среднемарочный портландцемент М400 Норильского цементного завода (минералогический состав, мас. %: C_3S–58,42; C_2S–17,35; C_3A–7,8; C_4AF–13,25); техническую серу и гидроксид Ca(OH)2; керамзитовый гравий фракции 10–20 мм в количестве из расчета 600 кг/м^3 бетонного раствора; фракцию остеклованного шлака (табл. 1), прошедшую через сито 0,316; в качестве газообразователей – алюминиевую пудру ПАП-2 и гидрат гидразина. Удельная поверхность портландцемента составляла 3000 см^2/г. Для приготовления ИСЗ растворяли серу в нагретой до 95 °С механически перемешиваемой известковой суспензии.

В исследуемых образцах ячеистого бетона соотношение цемент:остеклованный шлак соответствовало 1:3. Кроме этого в смесь добавляли газообразователь: ПАП-2 – 0,2% от цемента или гидразин – 1,4% от цемента, а также молотую негашеную известь –3,8%.

Порядок приготовления бетонной смеси был следующий: вначале в мешалку загружалось расчетное количество затворителя с заполнителем и перемешивалось в течение 2 мин. Затем загружалось вяжущее и порошкообразные добавки, перемешивалось в течение 2 мин, далее добавлялась суспензия газообразователя и масса дополнительно перемешивалась в течение 1 мин. После этого сразу замерялась подвижность полученной растворной смеси, которая затем заливалась в формы размерами 10×10×10 см.



Изменение концентрации кремнезема в жидкой фазе в процессе гидратации шлакопортландцементной смеси при соотношении Ж/Ц = 0,4 в зависимости от типа затворителя и газообразователя: *1* – затворение водой; *2* – затворение насыщенным ИСЗ с добавкой алюминиевой пудры; *3* – затворение насыщенным ИСЗ с добавкой гидразина

Вспучивание и предварительная выдержка образцов производились при температуре окружающей среды 20–25°С и относительной влажности 60–75%. В период выдержки производились замеры пластической прочности. После достижения требуемой пластической прочности образца производилось срезание горбушки. Прочность ячеистого бетона определялась испытанием шести образцов при сжатии на лабораторном прессе, развивающем максимальную нагрузку 5×10^5 Н.

Проведено три серии экспериментов. В первой исследовались образцы типового легкого бетона на керамзитовом заполнителе (затворителем выступала нагретая вода), а в двух других исследовали образцы ячеистого газобетона на шлакопортландцементной смеси (затворитель – нагретый полисульфидсодержащий известково-серный состав) с разным типом газообразователя. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Полученные данные свидетельствуют о высоких свойствах шлакопортландцементного ячеистого бетона на известково-серном затворителе в сравнении с типовым легким бетоном на керамзитовом заполнителе. Повышается скорость набора прочности, особенно в ранние сроки, и достигается ее высокие конечные значения в 28 сут возрасте что свидетельствует об активирующем действии, оказываемом на шлакопортландцементную смесь полисульфидсодержащим затворителем совместно с алюминиевой пудрой или гидразином.

В первом случае в качестве активирующего фактора преобладает образование быстро кристаллизующейся фазы тиосульфатсодержащих гидроалюминатов, катализирующих процесс. При присутствии в системе гидразина активации подвержены в большей степени силикаты, увеличивающие концентрацию гидросиликатных новообразований, упрочняющих структуру цементного камня. При этом увеличение прочности поризованных образцов происходит при меньшем росте их плотности, что обусловливает высокий показатель конструктивного качества пористого материала, оцениваемый отношением величины его прочности при сжатии к плотности.

Таким образом, введение полисульфидсодержащего затворителя интенсифицирует гидратационное твердение шлакопортландцемента и обеспечивает повышение прочности ячеистого бетона. При использовании в качестве газообразователя алюминиевой пудры высокая скорость набора прочности определяется образованием быстро кристаллизующейся фазы – тиосульфатсодержащих гидроалюминатов. В случае применения в качестве газообразователя гидразина высокая прочность ячеистого бетона и коэффициент конструктивного качества поризованного материала определяют увеличением содержания гидросиликатных новообразований.

Список литературы

1. Сахаров Г.П., Скориков Е.П. Неавтоклавный энергоэффективный поробетон естественного твердения // *Известия вузов. Строительство.* 2005. № 7. С. 49–54.
2. Леонтьев Е.Н., Коковин О.А. К вопросу о неавтоклавном газобетоне // Технология бетонов. 2007. № 5. С. 50–52.
3. Аминев Г.Г. Малоцементный неавтоклавный ячеистый бетон // *Строительные материалы.* 2005. № 12. С. 50–51.
4. Салимгареев Ф.М., Найман А.Н. Новый подход к технологии изготовления стеновых блоков из ячеистого бетона // *Строительные материалы.* № 3. 2002. С. 12–13.
5. Трамбовский В.П. Ячеистый бетон в современном строительстве // *Технология бетонов.* 2007. № 2. С. 30–31.
6. Ежов В.Б. Традиционный материал на службе современного строительства // *Строительные материалы.* 2002. № 4. С.24–25.
7. Елесин М.А. Изучение кинетики растворения серы в гидроксиде кальция // *Журнал прикладной химии.* 1996. Т. 69. Вып. 7. С. 1069–1072.
8. Елесин М.А. Павлов А.В., Бердов Г.И., Машкин Н.А. Исследование механизма гидратационного преобразования портландцемента в растворе полисульфида кальция // *Журнал прикладной химии.* 2002. Т. 75. Вып. 6. С. 903–907.
9. Низамутдинов А.Р., Умнова Е.В., Ботвиньева И.П., Елесин М.А. Влияние концентрации серы в высокоминерализованном затворителе на реологические свойства и время схватывания бетонной смеси // *Перспективы науки.* №10 (37). 2012. С. 53–57.
10. Машкин Н.А. Елесин М.А., Низамутдинов А.Р., Ботвиньева И.П. Гидрохимическое модифицирование бетонных смесей затворением в известковосерном отваре // *Известия вузов. Строительство.* 2013. № 6. С. 16–21.
11. Москаленко И.Г., Елесин М.А. Газобетон из вторичных продуктов металлургии // *Сборник научных трудов «Ресурсы, технологии, рынок строительных материалов».* Пенза: ПГУАиС, 2006. С.28–30.

References

1. Sakharov G.P., Skorikov E.P. Non-autoclave energy efficient porobeton natural hardening. *Izvestiya vuzov.* Stroitel'stvo. 2005. No. 7, pp. 49–54. (In Russian).
2. Leont'ev E.N., Kokovin O.A. On the issue of non-autoclaved cellular concrete. *Tekhnologiya betonov.* 2007. No. 5, pp. 50–52. (In Russian).
3. Aminev G.G. Low-cement not autoclave cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 12, pp. 50–51. (In Russian).
4. Salimgareev F.M., Naiman A.N. New approach to manufacturing techniques of wall blocks from cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 3, pp. 12–13. (In Russian).
5. Trambovskii V.P. Cellular concrete in modern construction. *Tekhnologiya betonov.* 2007. No. 2, pp. 30–31. (In Russian).
6. Ezhov V.B. Traditional material on service of modern construction. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2002. No. 4, pp. 24–25. (In Russian).
7. Elesin M.A. Studying of kinetics of dissolution of sulfur in calcium hydroxide. *Zhurnal prikladnoi khimii.* 1996. Vol. 69, No. 7, pp. 1069–1072. (In Russian).
8. Elesin M.A. Pavlov A.V., Berdov G.I., Mashkin N.A. Research of the mechanism of hydration transformation of a Portland cement in calcium polysulfide solution. Zhurnal prikladnoi khimii. 2002. Vol.75, No. 6, pp. 903–907. (In Russian).
9. Nizamutdinov A.R., Umnova E.V., Botvin'eva I.P., Elesin M.A. Influence of the concentration of sulfur in highly mineralized a mixing liquid on rheological properties and setting times of the concrete mixtures. *Perspektivy nauki.* 2012. No. 10 (37), pp. 53–57. (In Russian).
10. Mashkin N.A. Elesin M.A., Nizamutdinov A.R., Botvin'eva I.P. Hydrochemical modifying of concrete mixes dilution in lime and sulfur liquor. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo.* 2013. No. 6, pp. 16–21. (In Russian).
11. Moskalenko I.G., Elesin M.A. Gas concrete from metallurgy by-products. *Collection of scientific works "Resources, Technologies, Market of Construction Materials".* Penza: PGUAiS. 2006. pp. 28–30. (In Russian).

НОВОСТИ

Разработан «пенопласт» из древесины

Специалисты института Фраунгофера г. Брауншвейга, Германия, экспериментируют с древесиной различных пород в поисках наиболее подходящего сырья для изобретенной ими «древесной пены».

Новый древесный «пенопласт» полностью изготовливается из древесины и пригоден к повторной переработке, потому безопасен и экологичен. Для получения вспененного материала древесина измельчается до вязкой массы из очень мелких частиц. После чего эта суспензия вспенивается за счет добавления газа и застывает. Процессу твердения способствуют природные вещества, изначально содержащиеся в самой древесине. В результате получается очень легкий материал, который может быть сформирован в прочные толстые панели или гибкие тонкие листы, в зависимости от назначения. Как и прочие продукты на основе древесины, такая пена хорошо поддается резке и распиливанию.

Вспененная древесина может применяться для теплоизоляции жилых домов. Древесный «пенопласт» имеет высокую устойчивость к механическим нагрузкам и влагостоек. Потенциал и преимущества разработки уже высоко оценили эксперты: новый материал выиграл премию GreenTec 2015 в категории «Строительство и жизнь».

По материалам www.vzavtra.net

Новый керамический завод открылся в Брянской области

16 апреля 2015 г. в г. Клинцы Брянской области открыт завод керамических изделий.

Компания «Метробетон» начала строительство завода в 2012 г., вложив за три года 53 млн евро. Предприятие будет выпускать 60 млн шт. усл. Кирпича или 80 млн шт. усл. керамических строительных блоков в год, используя высококачественную глину, залежи которой находятся по соседству. На производстве получат работу 100 человек. Новый завод оснащен современным технологическим оборудованием ведущих мировых производителей Чехии, Германии, Италии и построен с учетом передовых тенденций по энергосбережению и охране окружающей среды. Комбинат будет выпускать высококачественный облицовочный кирпич и строительные керамические крупноформатные блоки (блок «ТЕРМ»), которые обладают повышенными теплоизоляционными свойствами. На заводе применяются технологии энергосбережения и соблюдаются все требования по безопасности окружающей среды. Планируется, что новый комбинат станет крупнейшим предприятием по производству кирпича в Брянской области, обеспечит рынок облицовочным кирпичом различных форматов, цветов и фактур, а также строительным кирпичом и поризованными керамическими блоками.

По материалам ЗАО «Метробетон»