УДК 691.32

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, д. 7)

Высокопрочный бетон на основе известково-серного затворителя

Использование при изготовлении тяжелого бетона известково-серного затворителя, получаемого путем растворения серы в известковой суспензии, нагретой до 95°С при механическом перемешивании, обеспечивает повышение его прочности при сжатии на 30–50%. При этом до 50% портландцемента в составе вяжущего может быть заменено дисперсными техногенными добавками (металлургическими железистыми шлаками или железистыми огарками).

Ключевые слова: бетон, известково-серный затворитель, ресурсосбережение, энергосбережение, шлаки.

G.I. BERDOV[1], Doctor of Sciences (Engineering); M.A. ELESIN[2], Candidate of Sciences (Engineering) (ema0674@mail.ru),
E.V. UMNOVA[2], Engineer (elena00@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)

High-Strength Concrete on the Base of Lime-Sulfur Sealing Compound

The use of the lime-sulfur sealing compound obtained by means of dissolving the sulfur in the lime suspension heated up to 95°C at mechanical blending in the course of heavy concrete manufacturing ensures the improvement of its strength under compression by 30–50%. In doing this, up to 50% of Portland cement in the structure of the binder can be replaced with disperse anthropogenic additives (metallurgical ferriferous slag or ferriferous cinders).

Keywords: concrete, lime-sulfur sealing compound, resource saving, power saving, slag.

Применение пластифицирующих добавок ПАВ и водорастворимых электролитов в технологии бетонов стало неотъемлемой частью [1–4]. Они позволяют регулировать сроки схватывания, ускорять твердение, улучшать технические свойства бетонных изделий [5–7]. Действие электролитов в качестве добавок–ускорителей твердения более многофункционально, потому расширение их эффективного ряда является перспективным [8, 9]. Положительное влияние электролитов на показатели гидратационного твердения цемента зависит от уровня минерализации затворителя.

Раствор серы в суспензии гидроксида $Ca(OH)_2$ (известково-серный затворитель – препарат ИСЗ) рекомендуется для получения высокопрочного бетона, в том числе и отверждением бетонной смеси в естественных условиях (Патент 4193811 США, С04В7/02 «Состав высокопрочного бетона»; Патент 4198245 США, С04В7/02 «Способ получения высокопрочных бетонных конструкций»; Патент 4193809 США, С04В7/02 «Высокопрочные бетонные изделия»). При этом препарат, содержащий полисульфид CaSn и применяемый в качестве затворителя бетонной смеси, обусловливает частичное замещение в ней портландцемента.

Вместе с тем при использовании портландцемента М400 Норильского цементного завода (минералогический состав, % мас: C_3S – 58,42; C_2S – 17,35; C_3A – 7,8; C_4AF – 13,25) и насыщенного ИСЗ в качестве затворителя (концентрация общей растворенной серы 180 г/л) было установлено, что эффективность влияния ИСЗ на прочность цементного камня различна при разных отношениях в тесте Ж/Ц (табл. 1). Удельная поверхность портландцемента составляла 3000 см^2/г. Химический состав цемента, % мас: SiO_2 – 21,43; Al_2O_3 – 5,96; Fe_2O_3 – 4,57; CaO – 62,68; MgO – 2,73; SO_3 – 1,9; ППП – 2,3. Известково-серный затворитель получали растворением порошковой серы в нагретой до 95°С механически перемешиваемой известковой суспензии. Прочность цементного камня определялась средним значением предела прочности при сжатии шести образцов размером 20×20×20 мм на лабораторном прессе, развивающем максимальную нагрузку 10^5 Н.

В частности, при отношении Ж/Ц, равном 0,29 (тесто нормальной густоты), показатель прочности при сжатии образцов в возрасте 28 сут меньше, чем у образцов на воде. С увеличением Ж/Ц прочность образцов растет и при Ж/Ц, близком к 0,7, прочность при сжатии в 1,3 раза выше такового у образцов на воде.

В работе [10] установлено, что гидрохимическая активация портландцемента в ИСЗ обусловлена изменением потенциометрических характеристик жидкой фазы (снижением pH, вызванным вовлечением гидроксида $Ca(OH)_2$ в реакцию химического превращения CaS_n в тиосульфат CaS_2O_3 и наличием в системе отрицательного редокс-потенциала). Сочетанием этих величин обусловлена специфика твердения, заключающаяся либо в облегчении процесса твердения смесей с высоким Ж/Ц, либо в возникновении кинетических ограничений процесса в смесях с низким Ж/Ц, вызванных высокой по-

Таблица 1

Ж/Ц	Начало схватывания, ч:мин	Конец схватывания, ч:мин	$R_{сж}$ МПа, через 28 сут
Затворитель – вода (контрольный опыт)			
0,25	2:30	3:42	60,4
Затворитель – ИСО			
0,29	2:15	3:10	43,3
0,4	2:30	3:40	54,8
0,6	2:35	3:41	78,6
0,8	2:37	4:00	76,9
1	2:40	2:57	66,2

ляризуемостью в них гидратационно-ионизированного кремнекислородного комплекса. Концентрация кремнезема в растворе в этом случае более чем на порядок превышает таковую в обычных системах.

На основании дифрактограмм продуктов гидратации цемента в ИСЗ при разных отношениях Ж/Ц можно сделать заключение, что в случае с высоким Ж/Ц минимизации кинетических ограничений способствует максимум в смеси массы потенциало-пределяющего Sn^{2-}-иона, достаточной для продуцирования в смеси катиона Fe^{2+}, модификатора силикатов в течение периода активной гидратации алюмоферрита кальция. Присутствующий в системе при гидратации ион Fe^{2+} инициирует образование устойчивых в условиях дефицита в растворе гидроксида $Ca(OH)_2$ силикатов-амфиболов с макроионами $[Si_4O_{11}]^{6-}$ в виде двойных цепей в антофиллите и тремолите, а также слоистых двухмерных макроионов со структурной единицей, отвечающей эмпирической формуле $[Si_2O_5]^{2-}$ в апофиллите.

Согласно рентгенограмме, полученной на продуктах гидратации в ИСЗ смеси портландцемента с порошковой фракцей закиси-окиси железа, образование гидроалюминатов в условиях дефицита растворенного гидроксида $Ca(OH)_2$ при гидратации в ИСЗ инициируется частичным или полным замещением сульфат-иона в традиционных трех- и односульфатной формах гидросульфоалюминатах тиосульфат-ионом с образованием нового типа устойчивых гидроалюминатов. При этом преобладающими соединениями являются низкоосновные гидросиликаты состава $(0,8–1,5)CaO·SiO_2·2,5H_2O$ с дифракционными максимумами (309, 281, 183)$d·10^{-8}$ м; образуется также гидрогаленит $2CaO·Al_2O_3·SiO_2·8H_2O$ (536, 229, 203)$d·10^{-8}$ м; высокомолекулярный антофиллит $F_7^{2+}[(OH)_2(SiO_4O_{11})_2]$ (312, 208)$d·10^{-8}$ м; полисиликат $Ca_2Fe_2^{5+}[Si_8O_{22}](OH)_2$ (858, 273, 203)$d·10^{-8}$ м и тиосульфатсодержащий гидросульфоалюминат $3CaO·Al_2O_3·CaS_2O_3·xH_2O$ $3CaO·Al_2O_3·CaSO_4(24-x)H_2O$ (832, 418, 335)$d·10^{-8}$ м.

Таким образом, возможна гидрохимическая активация портландцемента затворением в ИСЗ, в том числе введением добавок к портландцементу минеральных веществ, содержащих ион Fe^{2+}, легко усваиваемый гидратирующейся системой за счет встраивания в структуру полисиликатов.

В опытах использовали портландцемент М400 Норильского цементного завода, традиционные крупный и мелкий заполнитель, в качестве затворителя – препарат ИСЗ (концентрация серы 180 г/л), добавку, содержащую преимущественно Fe_3O_4, полученную обжигом на воздухе при 1100°С гидроксида $Fe(OH)_3$, а также металлургические железистые шлаки (содержание зерен от 31,5 мкм до 60 мкм до 93,1%), в которых железо представлено, как правило, ортосиликатами – файолитом или оливином. Химический состав огарка и доменного шлака приведен в табл. 2.

Состав исследуемых образцов бетона М400: вяжущее (цемент или смесь цемента с добавкой) – 16,8%; щебень – 49,8–54,3%, песок – 25,5–27,7%, затворитель – 6,7–13,4%. Содержание цемента и добавок в замесах диктовалось одинаковой подвижностью (осадка конуса 4–6 см).

Таблица 2

Добавка	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	SO_3
Огарок	10	6	80	3	0,7	-	0,3
Шлак	39,5	16,3	2,9	34,18	3,7	3,02	0,6

Таблица 3

Ж/Ц	Начало схватывания, ч:мин	Конец схватывания, ч:мин	$R_{сж}$ МПа, через 28 сут
Контрольный опыт (затворитель вода)			
0,8	3:35	4:20	22,2
0,6	2:55	3:55	32,4
0,4	2:35	3:35	40,8
Добавка – огарок (соотношение цемент:огарок = 1:1)			
0,8	2:25	3:30	30,6
0,6	2:16	3:20	34,5
0,4	1:55	2:45	48,7
Добавка – молотый шлак (соотношение цемент:шлак = 1:1)			
0,8	2:36	3:40	38,2
0,6	2:26	3:30	53,1
0,4	2:10	3:10	60,2

Прочность бетона определялась испытанием шести образцов размером 10×10×10 см при сжатии на лабораторном прессе, развивающем максимальную нагрузку $5×10^5$ Н в соответствии с ГОСТом.

Результаты опытов, подтверждающих высокую эффективность технологии высокопрочных бетонов за счет сочетания действия полисульфида CaS_n, содержащегося в затворителе, и добавок минеральных веществ, содержащих Fe^{2+}, в составе пылевидного огарка, полученного обжигом на воздухе при 1100°С гидроокиси $Fe(OH)_3$, приведены в табл. 3.

Результаты опытов свидетельствуют о высоком приросте прочности при сжатии (не менее 40%) во всем исследуемом интервале Ж/Ц (от 0,8 до 0,4). При Ж/Ц отношением, равным 0,4, прочность образцов выше марочности используемого цемента.

По результатам проведенных лабораторных и производственных испытаний бетонов был разработан технологический регламент на применение известково-серного затворителя в бетонных смесях.

Технико-экономическая эффективность производства и применения высокопрочных бетонов достигается:

– за счет возможного уменьшения сечения железобетонного элемента и расхода арматурной стали;

– за счет применения ресурсо- и энергосберегающих технологий получения высокопрочного бетона.

Полученные высокопрочные бетоны с использованием окиси-закиси железа, прошли производственное испытание в Норильском промышленном районе при изготовлении монолитного фундамента под оборудование.

Список литературы

1. Вовк А.И. Гидратация трехкальциевого алюмината C_3A и смесей C_3A–гипс в присутствии ПАВ: адсорбция или поверхностное фазообразование? // *Коллоидный журнал*. 2000. Т. 62. № 1. С. 31–38.
2. Гувалов А.А. Управление структурообразованием цементных систем с полифункциональными суперпластификаторами // *Техника и технология силикатов*. 2011. Т. 18. № 3. С. 24–27.

References

1. Vovk A.I. Hydration of three-calcic C_3A aluminate and the mixes C_3A - plaster at presence surfactant: adsorption or superficial phase formation? *Kolloidnyi zhurnal*. 2000. Vol. 62. No. 1, pp. 31–38. (In Russian).
2. Guvalov A.A. Management of structurization of cement systems with multifunctional super softeners. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2011. Vol. 18. No. 3, pp. 24–27. (In Russian).

3. Калашников В.И., Мороз М.Н., Тараканов О.В., Калашников Д.В., Суздальцев О.В. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 70–75.
4. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд-во АСВ, 2006. 368 с.
5. Malek K., Coppens M.O. Knudsen self and Fickian diffusion in rough nanoporous media // *Journal of Chemical Physics*. 2003. Vol. 5. Issue 119, pp. 2801–2811.
6. Калашников В.И., Гуляева Е.В., Валиев Д.М. Влияние вида супер- и гиперпластификаторов на реотехнологические свойства цементно-минеральных суспензий, порошковых смесей и прочностные свойства бетонов // *Известия вузов. Строительство*. 2011. № 12. С. 40–45.
7. Классен В.К., Ермоленко Е.П., Новоселов А.Г. Взаимодействие в системах карбонат кальция – щелочные хлориды // *Техника и технология силикатов*. 2009. Т. 16. № 4. С. 7–16.
8. Spitatos N., Page M., Mailvanam N. et al. Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology and practice. Quebec – Canada, 2006. 322 p.
9. Бердов Г. И., Ильина Л. В. Взаимодействие силикатных клинкерных минералов с водными растворами электролитов // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 10. С. 3–9.
10. Машкин Н.А. Елесин М.А., Низамутдинов А.Р., Ботвиньева И.П. Гидрохимическое модифицирование бетонных смесей затворением в известково-серном отваре // *Известия вузов. Строительство*. 2013. № 6. С. 16–21.

3. Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Tarakanov O.V., Kalashnikov D.V., Suzdaltsev O.V. New ideas about action mechanism of superplasticizers grinded jointly with cement or mineral rocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 9, pp. 70–75. (In Russian).
4. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony [The modified high-quality concrete] . Moscow: ASV. 2006. 368 p.
5. Malek K., Coppens M.O. Knudsen self and Fickian diffusion in rough nanoporous media. *Journal of Chemical Physics*. 2003. Vol. 5. Issue 119, pp. 2801–2811.
6. Kalashnikov V.I., Gulyaeva E.V., Valiev D.M. Influence of a look super and hyper softeners on rheological-technology properties of cement and mineral suspensions, powder mixes and strength properties of concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2011. No. 12, pp. 40–45. (In Russian).
7. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novoselov A.G. Interaction in systems a calcium carbonate – alkaline chlorides. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2009. Vol. 16. No. 4, pp. 7–16. (In Russian).
8. Spitatos N., Page M., Mailvanam N. et al. Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology and practice. Quebec–Canada. 2006. 322 p.
9. Berdov G. I., Il'ina L. V. Interaction of silicate brick minerals with water solutions of electrolytes. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. No. 10, pp. 3–9. (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).

НОВОСТИ

11 февраля 2015 г. на сессии «Применение современных передовых технологий и материалов в российском строительстве», проведенного компанией КНАУФ в рамках Российского инвестиционно-строительного форума, дан старт новому стратегическому проекту

Основными темами сессии стали: модульное жилищное строительство, энергоэффективные технологии возведения малоэтажного жилья и практическое применение современных технологий высотного строительства. Модератором сессии выступил Н.И. Шумаков, Президент Союза московских архитекторов. Докладчики: Е.Л. Николаева, первый заместитель Председателя Комитета Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по жилищной политике и жилищно-коммунальному хозяйству, Президент Национального агентства малоэтажного и коттеджного строительства; В. Неппле, руководитель компании «Кокун Лайт Стракчурз» (Cocoon Light Structures) – «Легкие конструкции в модульном строительстве», Г.Л. Сирота, главный архитектор ММДЦ «Москва-сити» – «Особенности применения строительных технологий в высотном строительстве», а также Е.В. Пикуль, управляющий компании «ПрофСтальДом», и А.С. Кашубский, генеральный директор «СВЕЗА».

Перед началом сессии ***управляющий группы КНАУФ СНГ Я. Краулис и генеральный директор «СВЕЗА» А.С. Кашубский подписали меморандум о создании совместного предприятия между ООО «КНАУФ ГИПС» и ООО «СВЕЗА-Лес» по производству сборных модульных домов в России***. Согласно подписанному документу стороны договорились о создании совместного предприятия с равными долями участия.

Сборные модульные дома будут разрабатываться трех конфигураций: многоквартирные жилые дома с максимальной общей площадью квартиры 80 м^2; коттеджи с общей площадью 120–150 м^2; смешанная конфигурация, совмещающая первые два типа домов.

Модульное строительство – это сборка домов на строительной площадке из готовых блоков, основными элементами которых являются легкие стальные конструкции и обшивные материалы с наполнением из изоляционных материалов. Такое здание быстро строится, качественно благодаря своей высокой готовности к моменту монтажа, устойчиво и сейсмически безопасно, отвечает высоким требованиям к экологии жизненного пространства, акустическому комфорту.

Реклама

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СКБ СТРОЙПРИБОР
ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

тел/факс в Челябинске:
(351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14
в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58
e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
www. stroypribor.ru

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03
ударно-импульсный
автоматическая обработка измерений
диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
ультразвуковой
поверхностное и сквозное прозвучивание
частота 60...70 кГц
диапазон 10...2000 мкс

ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д / ПОС-50МГ4 "Скол"
отрыв со скалыванием и скалывание ребра
предельное усилие 60 кН
диапазон 5...100 МПа

ПОС-2МГ4 П
испытание прочности ячеистых бетонов
предельное усилие вырыва 2,5 кН

Прессы испытательные малогабаритные

ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4
с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича
- предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН
- масса 70 / 120 / 180 кг

ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 /ПМ-3МГ4 / ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4
с ручным / электрическим приводом для испытания утеплителей на изгиб и сжатие при 10% линейной деформации
- предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН
- масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ
испытание прочности сцепления в каменной кладке
предельное усилие отрыва 15 кН

ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ

ПДУ-МГ4 "Удар" и ПДУ-МГ4 "Импульс"
определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа,
диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("Импульс")

АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4
испытание прочности сцепления покрытия с основанием
предельная нагрузка 1 / 2,5 / 5 / 10 кН

ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"
стационарный и зондовый режимы
диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01
анемометр-термометр
диапазон 0,1...20 (1...30) м/с
-30...+100 °С

ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
термогигрометр
диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ИТП-МГ4.03 "Поток"
3...5, 10 и 100-канальные регистраторы
диапазон 10...999 Вт/м²
-40...+70 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4
для измерения влажности бетона, сыпучих, древесины
диапазон 1...45 %

ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01
модульные регистрирующие для зимнего бетонирования и пропарочных камер (до 20 модулей в комплекте)
зондовые / контактные
1...2-канальные
диапазон-40...+100 / 250 °С

ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40 / 60 / 80МГ4
метод поперечной оттяжки
диапазон контролируемых усилий 2...120 кН
диаметр арматуры 3...12 мм

ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА

ИПА-МГ4
диаметр контролируемой арматуры 3...40 мм
диапазон измерения защитного слоя 3...140 мм

ДИНАМОМЕТРЫ

ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4
эталонные
сжатия / растяжения
предельная нагрузка 1...1000 кН

ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ

ЭИН-МГ4
частотный метод
диаметр арматуры 3...32 мм
диапазон 100...1800 МПа

ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.