

УДК 666.974.2

Т. П. КИЦЕНКО, В. Б. МАРТЫНОВА, А. Р. КАБАНЦОВА
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры**ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕУПОРНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ДЕФОРМАЦИИ ПОД НАГРУЗКОЙ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И
КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА**

Приведены результаты исследований огнеупорности и показателей температуры деформации под нагрузкой алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов на основе жидкого стекла. Установлено, что огнеупорность и температура деформации под нагрузкой алюмосиликатных бетонов соизмерима с аналогичными показателями алюмосиликатных обжиговых материалов примерно с таким же содержанием глинозема. Для кремнеземистых бетонов огнеупорность и температура деформации под нагрузкой соответственно всего на 20...50 и 30...60 °С ниже аналогичных показателей обжигового dinasового кирпича, огнеупорность которого колеблется обычно в пределах 1 710...1 730 °С, а температура начала деформации – 1 630...1 650 °С.

огнеупорность, температура деформации под нагрузкой, алюмосиликатные и кремнеземистые бетоны, жидкое стекло

ВВЕДЕНИЕ

Высокая долговечность и экономическая эффективность предопределила значительный рост производства огнеупорных бетонов за последние 40 лет. Так, в США, Японии доля бетонов в общем объеме потребления огнеупоров за этот период возросла в 10–30 раз и достигла уровня 30...40 %. В странах СНГ доля бетонов в общем объеме потребления огнеупоров примерно вдвое ниже [1–3].

В отечественной промышленности накоплен большой положительный опыт использования жидкостекляных огнеупорных бетонов [4]. С жидким стеклом в бетоны вводится не более 2 % Na_2O . Недостатком жидкостекляных бетонов является то, что отвердители жидкого стекла (кремнефторид натрия, металлургические шлаки) содержат 0,5...5,0 % плавней. Поэтому щелочные алюмосиликатные и кремнеземистые огнеупорные бетоны на основе растворимых силикатов и алюминатов натрия со структурообразующими компонентами (отвердителями), не содержащие оксидов-плавней, являются одними из наиболее перспективных огнеупоров потому, что позволяют вводить в состав бетонов не более 2 % активного плавня – Na_2O . Это практически не снижает огнеупорность наполнителей и заполнителей – основных носителей огнеупорных свойств бетонов.

В известных жидкостекляных композициях таких бетонов в качестве структурообразующих компонентов применяют термоактивированный каолин или незначительную часть доменного гранулированного шлака, а в бетонах на основе алюмината натрия – тонкомолотый шамот. Однако термоактивированный каолин требует обжига при 600...750 °С и характеризуется высокой водопотребностью, что увеличивает расход жидкого стекла, Na_2O и, как следствие, стоимость бетона. Жидкостекляные кремнеземистые бетоны с низким расходом доменного граншлака (1...2 % CaO – активного плавня) имеют незначительную прочность после твердения в нормальных условиях и при пропаривании, что ограничивает их применение.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработаны жидкостекляные вяжущие композиции с отвердителями, не являющимися плавнями по отношению к алюмосиликатным и кремнеземистым наполнителям и заполнителям. В качестве структурообразующих компонентов используется шамотнокаолиновая пыль-унос (ШКП) и ультрадисперсный аморфный кремнезем.

© Т. П. Киценко, В. Б. Мартынова, А. Р. Кабанцова, 2016

На основе разработанных вяжущих с использованием в качестве заполнителя шамота ШКН-2 и муллитокорунда подобраны составы виброформованных бетонов.

Цель исследований – определить огнеупорность и показатели температуры деформации под нагрузкой жидкостекольных алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов.

В качестве структурообразующих компонентов и микрозаполнителей вяжущих использованы следующие тонкодисперсные материалы: шамотно-каолиновая пыль с электрофильтров вращающихся печей Владимирского огнеупорного завода, полученная при обжиге шамота марки ШКВ-1; каолин Новоселицкого месторождения марки НК – 1 (ТУУ 322-7-00190503-038-95); тонкомолотый шамот марки ШКН-2 (ТУУ 322-7-00190503-083-97), полученный обжигом во вращающихся печах Новоселицкого каолина; муллито-корундовый шамот Часовоярского огнеупорного комбината из брикетов для производства изделий по ТУ 14-8-555-87, доменный граншлак Макеевского металлургического комбината (ГОСТ 3476-74); Овручский кварцит марки ЗКТ-97 (ТУ 14-8-92-74).

Заполнители фракций 0,16...5,00 мм и 5...20 мм готовились из шамота марки ШКН-2, динаса из лома изделий, зернистого Овручского кварцита марки ПМК (ТУ 14-8-141-75).

В качестве щелочного компонента вяжущих и бетонов принято: стекло натриевое жидкое (ГОСТ 13078-81) с силикатным модулем $M_s = \text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O} = 3,0$. Изменение силикатного модуля жидкого стекла осуществляли добавлением соответствующего количества раствора гидроксида натрия (ГОСТ 2263-79*) с учетом данных [5].

Огневые свойства вяжущих и бетонов испытывали по стандартным методикам.

В исследованиях использовались бетоны, составы которых приведены в табл. 1. Выбор составов бетонов был продиктован следующими соображениями. Так как при скорости нагрева 150...300 °С/час легкоплавкие эвтектики расплавляются, а значит увеличивают их температуру плавления, более тугоплавкие составляющие частицы материала с размером зерен менее 0,2 мм [6, 7]. При подготовке пробы материала, в том числе бетона, для испытания на огнеупорность он измельчается до полного прохода через сито с ячейкой 0,2 мм. Поэтому содержание оксидов-плавней в этом случае можно относить ко всей массе бетона и прогнозировать огнеупорность согласно диаграммам состояния.

Таблица 1 – Составы бетонных смесей

№ п/п	Расход материалов, кг/м ³															
	тонкомолотые						фр. 0,16–5,00 мм			фр. 5–20 мм				Растворы плотностью 1,3 г/см ³		
	ШКП	ТАК	ДГШ	Шамот ШКН-2	муллитокоорунд	микркремнезем	кварцит	Шамот ШКН-2	муллитокоорунд	кварцит	Шамот ШКН-2	муллитокоорунд	динас	Na ₂ O·SiO ₂	1,7Na ₂ O·Al ₂ O ₃	Na ₂ O·2SiO ₂
1	125	–	–	375	–	–	–	700	–	–	770	–	–	285	–	–
1-а	–	–	–	400	–	100	–	715	–	–	770	–	–	–	275	–
2	–	65	–	–	585	–	–	–	935	–	–	1 070	–	255	–	–
3	–	–	–	–	585	65	–	–	945	–	–	1 080	–	–	245	–
4	–	–	50	–	–	100	350	–	–	650	–	–	700	–	–	280
5	–	–	25	–	–	100	375	–	–	645	–	–	700	–	–	280
6	–	–	50	–	–	–	450	–	–	650	–	–	700	–	–	290

Сложнее с прогнозированием показателей температуры деформации бетонов под стандартной нагрузкой 0,196 МПа. Можно полагать, что химическое взаимодействие легкоплавких эвтектик и грубодисперсных частиц заполнителей крупнее 0,2 мм будет идти значительно более медленнее, чем принятая скорость нагрева при испытании. В этом случае предварительный прогрев бетона будет иметь важное значение в повышении показателей температуры деформации под нагрузкой.

Для оценки влияния гранулометрического состава заполнителей на показатели огневых свойств бетонов произведен расчет относительного содержания определяющих оксидов условно в связке (силикат натрия + тонкомолотые составляющие вяжущих + 30 % тонкозернистой части мелкого заполнителя), в связке + грубодисперсная часть мелкого заполнителя и в целом в бетоне (табл. 2 и 3).

Таблица 2 – Расчетное содержание определяющих оксидов в алюмосиликатных бетонах

№ состава бетона по табл. 1	Содержание оксидов, %					
	в связке		в связке + мелком заполнителе		в бетоне	
	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Al ₂ O ₃
1	4,6	36,4	2,8	37,8	1,75	38,6
1-а	4,4	36,5	2,7	37,9	1,74	39,2
2	3,5	82,2	2,1	86,0	1,3	88,4
3	3,4	83,3	2,07	87,5	1,16	89,0

Таблица 3 – Расчетное содержание определяющих оксидов в кремнеземистых бетонах

№ состава бетона по табл. 1	Содержание оксидов, %								
	в связке			в связке + мелком заполнителе			в бетоне		
	Na ₂ O	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	SiO ₂
4	3,7	3,6	90,7	2,4	2,3	93,2	1,8	2,5	93,6
5	3,7	1,9	92,6	2,4	1,3	94,4	1,8	1,8	94,3
6	3,6	3,6	90,4	2,3	2,4	93,0	1,7	2,5	94,4

Анализ результатов определения огнеупорности бетонов, приведенных в табл. 4, показывает, что полное усреднение химического состава образцов происходит уже при первом нагреве с принятой скоростью в 250...300 °С/час – длительность предварительного обжига бетонов не влияет на их огнеупорность. Полученные показатели огнеупорности бетонов хорошо согласуются с расчетными показателями, выполненными согласно предполагаемой низкощелочной части диаграммы Na₂O-Al₂O₃-SiO₂ и низкощелочной, высококремнеземистой части диаграммы Na₂O-CaO-SiO₂ [6–8].

Дополнительное введение Na₂O в количестве 1,25...1,80 % практически не сказывается на огнеупорности алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов. Например, по сравнению с огнеупорностью заполнителя из шамота ШКН-2, использованного в бетонах состава 1, 2 и имеющего огнеупорность 1 770 °С, огнеупорность бетона состава 1 ниже всего на 10 °С. Связано это, вероятно, не столько с введением щелочи, сколько с относительным снижением содержания глинозема – в бетоне 38,6 %, в заполнителе 40,2 %. Дополнительное введение в вяжущее муллитокорунда и доведение содержания глинозема в бетоне состава 2 до 41,2 % выравнивает огнеупорность связки и заполнителя.

Влияние предварительного обжига на температуру деформации бетонов под нагрузкой существенное, особенно для шамотных бетонов. Так, для состава 1 увеличение длительности предварительного прогрева при температуре 1 400 °С от 0 до 1 и 4 часов повышает температуру начала деформации от 1 305 соответственно до 1 400 и 1 450 °С. Аналогичные результаты характерны и для состава 2 – соответствующие температуры равны 1 360, 1 440 и 1 460 °С. Сравнение этих результатов с данными, вытекающими из анализа диаграммы Na₂O-Al₂O₃-SiO₂, позволяют сделать вывод о том, что 4-х часовой предварительный прогрев достаточен для стабилизации огневых свойств шамотных бетонов.

Для муллитокорундовых бетонов предварительный обжиг еще более необходим, т. к. разница между температурой деформации предварительно обожженных и необожженных образцов для них значительно выше и достигает 200–245 °С. Причем по сравнению с необожженными образцами предварительный обжиг при 1 400 °С практически не ведет к увеличению температуры деформации бетонов. Поэтому для муллитокорундовых композиций необходимо увеличить температуру предварительного прогрева до 1 600 °С, при которой стабилизируется состав расплава и корундовой фазы связки.

В отличие от шамотных и муллитокорундовых бетонов, для которых увеличение времени предварительного прогрева образцов от 1 до 4 часов ведет к незначительному, 15–20 °С (из 100–245 °С), увеличению температуры начала деформации под нагрузкой, для кремнеземистых бетонов это увеличение заметно существеннее – 40–60 °С из 160–240 °С.

ВЫВОДЫ

1. Огнеупорность и температура деформации под нагрузкой алюмосиликатных бетонов соизмерима с аналогичными показателями алюмосиликатных обжиговых материалов примерно с таким же содержанием глинозема. Регулирование содержания глинозема позволяет получать бетоны с одинаковыми огневыми свойствами заполнителей и вяжущей матрицы.

Таблица 4 – Огнеупорность и показатели температуры деформации под нагрузкой

№ состава бетона по табл. 4.1	Параметры предварительного прогрева		Огнеупорность, °С	Температура деформации, °С	
	температура, °С	время, час.		начало	40%
1(1-а)	1 400	–	1 750–1 760	1 305	1 360 – срез
		1	1 750–1 760	1 430	1 485
		4	1 750–1 760	1 450	1 540
2	1 600	–	1 960	1 420	1 780 – срез
		1	1 960	1 650	1 880
		4	1 960	1 665	1 900
3	1 600	–	1 950	1 465	1 830 – срез
		1	1 950	1 670	1 900
		4	1 950	1 665	1 890
4	1 400	–	1 680–1 690	1 370	1 375 – срез
		1	1 680–1 690	1 540	1 550 – срез
		4	1 680–1 690	1 590	1 600 – срез
5	1 400	–	1 710	1 440	1 450 – срез
		1	1 710	1 560	1 570 – срез
		4	1 710	1 600	1 610 – срез
6	1 400	–	1 680–1 690	1 350	1 360 – срез
		1	1 680–1 690	1 530	1 540 – срез
		4	1 680–1 690	1 590	1 600 – срез

2. Огнеупорность и температура деформации под нагрузкой кремнеземистых бетонов соответственно всего на 20...50 и 30...60 °С ниже аналогичных показателей обжигового динасового кирпича, огнеупорность которого колеблется, обычно, в пределах 1 710...1 730 °С, а температура начала деформации – 1 630...1 650 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Керамобетоны – заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов (часть I) [Текст] / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 1. – С. 11–15.
2. Состояние Российской металлургии и огнеупорной промышленности на рубеже третьего тысячелетия [Текст] / С. Г. Сенников, С. Н. Фокин // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 1. – С. 49–56.
3. Огнеупорная промышленность России и ее развитие [Текст] / Л. Б. Хорошавин. – Екатеринбург : ЦНТИ, 1998. – 52 с.
4. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях [Текст] / Под ред. В. Д. Глуховского. – Киев : Вища шк., 1981. – 224 с.
5. Растворимое стекло [Текст] / П. Н. Григорьев, В. И. Матвеев. – М. : Промстройиздат, 1978. – 152 с.
6. Диаграммы состояния силикатных систем [Текст]. Выпуск третий. Тройные силикатные системы / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин [и др.]. – Л. : Наука, 1972. – 448 с.
7. Физико-химические системы силикатной технологии [Текст] / Д. С. Белянкин, В. В. Лапин, Н. А. Торопов. – М. : Промстройиздат, 1954. – 372 с.
8. Химическая технология керамики и огнеупоров [Текст] / Ред. П. П. Будников, Д. Н. Полубояринов. – М. : Стройиздат, 1972. – 552 с.

Получено 14.12.2015

Т. П. КИЦЕНКО, В. Б. МАРТИНОВА, А. Р. КАБАНЦОВА
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕТРИВКОСТІ ТА ПОКАЗНИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ
ДЕФОРМАЦІЇ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ АЛЮМОСИЛІКАТНИХ І
КРЕМНЕЗЕМІСТИХ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Наведено результати досліджень вогнетривкості та показників температури деформації під навантаженням алюмосиликатних і кремнеземистих бетонів на основі рідкого скла. Встановлено, що вогнетривкість і температура деформації під навантаженням алюмосиликатних бетонів порівнянна з аналогічними показниками алюмосиликатних випалювальних матеріалів приблизно з таким же вмістом глинозему. Для кремнеземистих бетонів вогнетривкість і температура деформації під

навантаженням відповідно всього на 20...50 і 30...60 °С нижче від аналогічних показників обпалювальної динасової цегли, вогнетривкість якої коливається, як правило, у межах 1 710...1 730 °С, а температура початку деформації – 1 630...1 650 °С.

вогнетривкість, температура деформації під навантаженням, алюмосилікатні і кремнеземисті бетони, рідке скло

TATYANA KITSSENKO, VITA MARTINOVA, ALINA KABANSOVA
THE STUDY OF FIRE RESISTANCE AND TEMPERATURE DEFORMATION
UNDER LOAD OF ALUMINA-SILICATE AND SILICEOUS CONCRETES ON THE
BASIS OF LIQUID GLASS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The results of studies on the fire resistance and temperature deformation under load of alumina-silicate and siliceous concretes on the basis of liquid glass have been given. It is established that the resistance and temperature of deformation under load alumina-silicate concretes comparable with similar firing properties of alumina-silicate materials with approximately the same content of alumina. For siliceous concrete, the resistance and temperature of deformation under load, respectively, and only 20..50 and 30..60 °C lower than those of the silica brick kiln, the resistance of which varies usually in the range 1 710...1 730 °C, and the temperature beginning deformation – 1 630...1 650 °C.

fire resistance, temperature deformation under load, alumina-silicate and siliceous concretes, liquid glass

Киценко Тетяна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

Мартынова Віта Борисівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури промислових та цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: ніздрюваті бетони з підвищеними фізичними та механічними властивостями.

Кабанцова Аліна Романівна – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

Киценко Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Мартынова Вита Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: ячеистые бетоны с повышенными физическими и механическими свойствами.

Кабанцова Алина Романовна – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Kitsenko Tatyana – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fire-resistant binders and concretes.

Martynova Vita – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cellular concrete with increased physical and mechanical properties.

Kabansova Alina – graduate student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat-resistant binders and concretes.