

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

Рекомендованы следующие сферы применения бетонов, армированных базальтовой фиброй:

- гидротехнические сооружения;
- сооружения, работающие в агрессивных средах;
- строительство в сейсмоопасных регионах;
- автодороги с интенсивным движением;
- мосты;
- атомные станции и хранилища радиоактивных отходов;
- наливные полы, бетонные трубы и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянко В.Н. Саламаха Л.В. Дисперсно-армированные растворы для устройства стяжек полов // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. – 2009. – с. 14-19.
2. Дьяков К.В. Особенности технологии приготовления магнезиального базальтофибробетона // Бетон и железобетон. – 2007. – № 3. – с. 18.
3. Новицкий А.Г. Химическая стойкость базальтовых волокон для армирования бетонов. // Хімічна промисловість України. 2003. №3, с. 16-19.
4. Армированные волокнами вяжущие композиционные материалы: Вклад полиамидных волокон.// www.trotuar.ru/forms/dobavki/fibra2.shtml
5. Куртаев А.С., Сулейменов С.Т., Естемесов З.А. и др. Композиционные материалы на основе вяжущих. Киев, АН УССР ИПМ, 1991. С.21.

УДК 666.974

*Шабанова Г.Н., доктор техн. наук, проф.,
Тараненкова В.В., канд. техн. наук, доц.,
Проскурня Е.М., канд. техн. наук,
Миргород О.В., канд. техн. наук*,
Васютин Ф.А., канд. техн. наук, доц.,
Корогодская А.Н., канд. техн. наук,
Мокрицкая В.К., аспирант,
Национальный технический университет
“Харьковский политехнический институт”,
*Национальный университет гражданской
защиты Украины, г. Харьков, Украина*

БЕТОНЫ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОГНЕУПОРНЫХ ЦЕМЕНТОВ

Интенсификация технологических процессов в металлургии, энергетике, химии, промышленности строительных материалов, а также развитие новых отраслей техники – радиоэлектроники, атомной, ракетной и других требует создания новых материалов и изделий из них, обладающих рядом специальных свойств. Одним из таких перспективных материалов является диоксид циркония, твердые растворы которого с оксидами элементов второй и третьей групп периодической системы Д.И. Менделеева характеризуются наряду с высокой

огнеупорностью и низкой теплопроводностью, а именно: преимущественно кислородо-ионной проводимостью в широком диапазоне температур и давлений кислорода.

В течение длительного времени на кафедре технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей Национального технического университета “Харьковский политехнический институт” в рамках существующей научной школы проведены многочисленные исследования субсолидусного строения многокомпонентных систем, в состав которых входит диоксид циркония. Полученные данные теоретических расчетов и экспериментальных исследований позволили разработать составы огнеупорных цементов, отличающихся высокой прочностью, ускоренными сроками схватывания, наличием специальных свойств: стойкостью к воздействию ионизирующих и электромагнитных излучений, агрессивных сред, давлений, расплавам металлов и шлакам [1-7]. Все это дает возможность предположить, что на основании разработанных вяжущих материалов при использовании соответствующих заполнителей могут быть получены бетоны высшей огнеупорности, предназначенные для защиты от воздействия температур свыше 2000 °С.

В качестве заполнителей для получения таких бетонов возможно использование ряда как природных, так и синтетических заполнителей: электроплавленый корунд, бадделит, цирконаты кальция и стронция [8, 9].

С целью получения бетона высокой прочности, плотности и однородности, обеспечивающих необходимую эксплуатационную надежность конструкционным изделиям, был произведен подбор оптимального гранулометрического состава заполнителя, оказывающего значительное влияние на выше перечисленные характеристики. Установлено, что увеличение крупности заполнителя приводит к тому, что в структуре бетона образуются отрицательные структурные изменения, которые приводят к снижению прочности.

Оптимизация гранулометрического состава заполнителя в бетоне на основе огнеупорного цемента выполнялась с привлечением симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента [10]. Изготовленные методом вибрирования ($V/T = 0,08$) бетонные образцы твердели в воздушных условиях в течение 28 суток, а затем испытывались на механическую прочность.

В результате проведенных исследований выведены уравнения зависимости прочности и пористости от количественного и гранулометрического соотношения смежных фракций заполнителя, что позволило построить диаграмму зависимости прочности и пористости разработанных бетонов от фракций заполнителя.

Для бетона высшей огнеупорности область оптимального гранулометрического состава заполнителя составляет:

37 – 50 % фракции $(1,25 - 0,63) \cdot 10^{-3}$ м;

0 – 20 % фракции $(0,63 - 0,15) \cdot 10^{-3}$ м;

30 – 63 % фракции менее $0,15 \cdot 10^{-3}$ м.

С целью определения оптимального состава бетона в количественном соотношении “цемент – заполнитель” были проведены испытания на бетонных образцах–кубах с размером ребра $5 \cdot 10^{-2}$ м. Образцы изготавливались методом вибротрамбования при водо-твёрдом соотношении 0,08. Прочность бетона высшей огнеупорности с использованием синтезированных цементов приведена в табл. 1.

Как видно из представленных результатов увеличение содержания цемента в бетонной смеси до 25 масс. % приводит к увеличению прочности и снижению пористости. Это свидетельствует о том, что вводимый цемент активно участвует в формировании прочной и плотной структуры бетона. Дальнейшее же увеличение содержания цемента в бетоне не оказывает существенного влияния на рост прочности, но приводит к удорожанию готового изделия, поэтому оптимальным является соотношение “цемент – заполнитель” равное 1:3.

Зависимость механической прочности образцов бетонов от метода формования приведена в табл. 2. Удельное давление прессования составило 50 МПа, вибротрамбование производилось в течение 2 минут.

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

Таблиця 1 – Влияние количества цемента на физико-механические свойства пресованных бетонных образцов (заполнитель – корунд)

Состав бетона			Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте			Пористость, %
Вид цемента	Количество цемента, масс. %	Количество заполнителя, масс. %	3 суток	7 суток	28 суток	
CAZS-цемент	10	90	18,6	26,9	41,3	24,4
	20	80	24,3	38,5	52,4	22,6
	25	75	32,0	47,1	58,8	21,5
	30	70	30,2	45,6	58,6	20,7
CSrAZ-цемент	10	90	18,9	27,2	41,5	22,4
	20	80	24,5	38,7	52,9	19,6
	25	75	32,5	47,6	60,0	16,2
	30	70	30,9	46,6	58,8	16,0
CBA-цемент	10	90	30,6	37,2	49,9	15,8
	20	80	36,7	42,3	54,6	15,6
	25	75	42,3	45,0	60,0	15,0
	30	70	43,0	45,8	61,0	15,0
BAZS-цемент	10	90	33,5	38,5	42,0	18,8
	20	80	64,3	67,5	70,5	17,7
	25	75	76,2	85,2	89,0	14,5
	30	70	70,3	82,1	80,4	14,3

На основании полученных результатов установлено, что наиболее оптимальным методом формования является вибротрамбование, позволяющее изготавливать изделия сложной конфигурации и больших размеров при использовании различных заполнителей в промышленных условиях. Метод прессования применим при изготовлении штучных изделий простой формы в том случае, если необходима повышенная эксплуатационная прочность.

Одним из важных эксплуатационных свойств бетонов высшей огнеупорности является степень разупрочнения их при нагревании. Для исследования механической прочности изготавливали бетонные образцы – кубы с размером ребра $5 \cdot 10^{-2}$ м, которые испытывались после 7 суток твердения в воздушных условиях. Результаты испытаний бетона при воздействии повышенных температур (в интервале 20 – 1800 °С) представлены в табл. 3.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что изменение механической прочности при нагревании бетона высшей огнеупорности происходит в интервале температур 200 – 800 °С, что связано с разложением гидратных новообразований, которые образуются в результате гидратации цемента. Сравнительно небольшое понижение прочности бетона при нагревании (14 – 19 %) объясняется цеолитным характером воды в гидроалюминатах кальция, стронция и бария и наличием модификационных превращений $Zr(OH)_4$, которые приводят к образованию более механически прочных γ - и δ -модификаций гидроксида циркония. При дальнейшем повышении температуры прочность повышается за счет спекания материала. Характер поведения бетонов при нагревании характеризуется только разупрочнением цемента за счет дегидратации гидроалюминатов кальция, стронция и бария в интервале температур

200 – 600 °С. Открытая пористость при нагревании бетонных образцов увеличивается с повышением температуры, достигая максимума в интервале температур 200 – 600 °С.

Таблица 2 - Влияние метода формирования на прочность бетона

Вид цемента	Метод формирования (В/Т)	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		
		3 суток	7 суток	28 суток
CAZS-цемент	Вибротрамбование (0,08)	32,0	47,1	58,8
	Ручное трамбование (0,085)	25,6	38,6	45,2
CSrAZ-цемент	Прессование (0,06)	41,6	51,8	64,6
	Вибротрамбование (0,082)	32,5	47,6	60,0
	Ручное трамбование (0,094)	25,7	39,0	46,2
СВА-цемент	Прессование (0,06)	42,0	52,6	65,0
	Вибротрамбование (0,082)	42,3	45,0	60,0
	Ручное трамбование (0,094)	28,0	36,8	45,1
BAZS-цемент	Прессование (0,06)	51,6	61,2	68,3
	Вибротрамбование (0,08)	76,2	85,2	89,0
	Ручное трамбование (0,085)	39,0	47,9	48,2
	Прессование (0,06)	77,2	86,4	90,1

Таблица 3 – Влияние температуры на изменение физико-механических свойств бетона высшей огнеупорности (заполнитель – корунд)

Вид цемента	Температура, °С							
	20	200	400	800	1200	1400	1600	1800
CAZS-цемент	$\frac{47,0}{15,2}$	$\frac{39,0}{18,1}$	$\frac{39,4}{18,4}$	$\frac{40,0}{19,2}$	$\frac{68,5}{19,0}$	$\frac{39,4}{17,7}$	$\frac{124,0}{16,4}$	$\frac{156,0}{15,0}$
CSrAZ-цемент	$\frac{61,0}{14,0}$	$\frac{57,0}{16,1}$	$\frac{55,0}{17,0}$	$\frac{54,8}{17,2}$	$\frac{100,0}{16,4}$	$\frac{135,0}{15,2}$	$\frac{168,0}{14,0}$	$\frac{186,0}{12,4}$
СВА-цемент	$\frac{16,0}{15,0}$	$\frac{58,2}{15,2}$	$\frac{56,1}{15,6}$	$\frac{52,3}{16,0}$	$\frac{53,2}{15,3}$	$\frac{68,9}{13,6}$	$\frac{76,8}{13,3}$	$\frac{90,0}{12,9}$
BAZS-цемент	$\frac{85,2}{14,5}$	$\frac{74,8}{16,3}$	$\frac{72,2}{17,0}$	$\frac{69,9}{17,1}$	$\frac{115,5}{16,0}$	$\frac{145,1}{15,0}$	$\frac{170,0}{14,0}$	$\frac{172,0}{12,0}$

Примечание: в числителе – предел прочности при сжатии, МПа; в знаменателе - открытая пористость, %.

Основанием для выбора заполнителей при получении бетонов высшей огнеупорности является сродство матричного состава заполнителя и выбранного цемента, что обеспечивает получение плотного, высокопрочного конструкционного материала. Влияние вида заполнителя на основные физико-механические и технические свойства бетонов высшей огнеупорности на основе разработанных цементов и выбранных заполнителей представлены в табл. 4.

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВИРОБИ ТА САНІТАРНА ТЕХНІКА

Таблица 4 – Основные физико-механические и технические свойства бетонов высшей огнеупорности

Вид цемента	Вид заполнителя	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		Пористость, %	Огнеупорность, °С	Термостойкость, циклы (1300 °С – воздух)	ТНДН 0,2 МПа, °С	ТКЛР, $6 \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹
		7 суток	28 суток					
CAZS-цемент	цирконат стронция	51,3	70,0	14,0	> 2000	> 60	1550	3,6
	цирконат кальция	48,1	65,0	14,0	> 2000	> 50	1500	5,7
	бадделеит	47,8	62,0	16,5	> 2000	45	1450	4,5
	корунд	47,1	58,8	21,5	> 2000	40	1400	4,7
SrAZ-цемент	корунд	47,6	60,0	16,2	> 1750	> 30	1450	5,6
	бадделеит	52,4	62,8	15,6	> 1750	> 30	1500	5,5
	цирконат кальция	58,0	65,2	15,2	> 1750	> 30	1400	4,8
CBA-цемент BAZS-цемент	корунд	45,0	60,0	15,0	2000	> 20	1400	4,5
	корунд	85,2	89,0	14,5	> 2000	> 30	1400	4,7
	бадделеит	79,9	86,3	15,2	> 2000	> 40	1600	4,5

Испытания разработанных составов бетонов проводились в различных промышленных агрегатах.

При использовании бетонов высшей огнеупорности в футеровке печей для плавки кварцевого стекла установлено, что по стойкости полученные материалы не уступают обжиговым изделиям из стабилизированного оксида циркония, а по стоимости и простоте изготовления значительно экономичнее.

При замене конструктивных элементов лабораторных криптоловых печей изделиями из разработанных бетонов производительность агрегатов повышалась в 1,5 – 2 раза.

Результаты испытаний разработанных конструктивных материалов в условиях манитогидродинамического генератора показали, что бетоны не претерпевают значительных изменений при одновременном воздействии скоростного газового потока (450–850 м/с), высокой температуры (2300 – 2500°С), термического удара (подъем температуры до 2500°С за 1 с) и щелочной среды и являются перспективными материалами для футеровки тепловых трактов МГД – установок.

Металлопроводы для разливки стали под давлением, изготовленные из разработанных бетонов, не смачиваются металлом, не вступают во взаимодействие с расплавленным металлом, имеют высокую термостойкость и механическую прочность. Однако разработанные материалы не устойчивы к воздействию кислых шлаков.

Испытания контактных изоляторов из разработанных материалов проводились на установке по генерации токов высокой частоты при закалке турбинных лопаток паровых турбин. Установлено, что эти изоляторы обладают необходимой электрической изоляцией, высокой абразивной и термической устойчивостью по сравнению с изоляторами, изготовленными из керамики. Следует отметить, что из разработанных материалов можно изготавливать электрические изоляторы для индукторов любой конфигурации и выдерживать технологический зазор с минимальным допуском между индуктором и деталью.

При испытаниях разработанных материалов в футеровке агрегата по высокотемпературному пиролизу нефти в условиях одновременного воздействия высокой температуры (1800–2000°C), перегретого водяного пара (до 4 МПа) и агрессивного воздействия ароматических углеводородов установлено, что срок службы футеровки повышается более чем в 2 раза.

Таким образом, разработанные конструкционные материалы высшей огнеупорности являются перспективными при применении их в различных тепловых агрегатах химической, нефтехимической, электромагнитной и других отраслях промышленности. Совокупность уникальных эксплуатационных характеристик и их полифункциональность позволяет отнести их к классу новых эффективных бетонов специального назначения и обуславливает их конкурентоспособность на мировом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка и исследование высокотемпературных керамических материалов с заданными электрофизическими свойствами / [Грабовская Т.В., Дудко Д.Я., Илюха Н.Г., Шабанова Г.Н.] // Плазменные и магнетогидродинамические установки. – Киев: ИЭС АНУ, 1992. – С. 184-188.
2. Специальные цементы на основе сечения $Ca-SrA-SrZ-CZ$ / [Пітак Я.Н., Шабанова Г.Н., Проскурня Е.М., Кравченко И.Г.] // Научные и практические результаты в технологии и службе огнеупоров. – Харьков: Каравелла, 1995. – С. 65-69.
3. Шабанова Г.Н. Механизм фазообразования огнеупорных барийсодержащих цементов на основе композиций системы $BaO-Al_2O_3-SiO_2$ / Шабанова Г.Н., Буличова О.В., Христич Е.В. // Зб. наук. праць “ВАТ УкрНДІВогнетривів ім. А.С. Бережного”. – 2002. – № 102. – С. 85-90.
4. Жаростойкие цементы на основе композиций перспективных сечений системы $CaO-BaO-Al_2O_3$ / [Шабанова Г.Н., Миргород О.В., Лобяк Т.С., Свидерський В.А.] // Зб. наук. пр. “ВАТ УкрНДІВогнетривів ім. А.С. Бережного”. – 2003. – № 103. – С. 72-75.
5. Shabanova G.N. Special binders on the base of the system $CaO-BaO-SiO_2$ / Shabanova G.N., Taranenkova V.V., Korogodskaya A.N. // 15 International Baustofftagung: 24-27 September 2003. – Weimar (Bundersrepublik Deutschland), 2003. – Tagungsbericht, Band 1. – S. 795-803.
6. Физико-механические и теплотехнические свойства жаростойких кальцийбарийсиликатных цементов / [Шабанова Г.Н., Корогодская А.Н., Сандул С.В. и др.] // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – 2005. – № 52. – С. 39-44.
7. Особенности процессов минералообразования специального цемента в системе $CaO-BaO-SiO_2$ / [Корогодская А.Н., Шабанова Г.Н., Сандул С.В. и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2005. – № 6. – С. 87-90.
8. Вогнетривкі бетони на основі цементів системи $CaO-BaO-Al_2O_3$ / [Миргород О.В., Шабанова Г.М., Тараненкова В.В., Житанер К.А.] // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – 2004. – № 34. – С. 7-10.
9. Шабанова Г.Н. Жаростойкие бетоны на основе $CAZS$ -цемента / Г.Н. Шабанова, В.В. Тараненкова // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998. – Вып. 17. – С. 121-125.
10. Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / Кафаров В.В., Ахназарова С.Л. – М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.