

УДК 666.974.2

**ВЛИЯНИЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА НА СВОЙСТВА
КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ**

**ВПЛИВ МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ НА ВЛАСТИВОСТІ
КРЕМНЕЗЕМИСТИХ ВОГНЕТРИВКИХ БЕТОНІВ**

**THE INFLUENCE MICROSILICA ON THE PROPERTIES SILICA OF
REFRACTORY CONCRETE**

Киценко Т.П., к.т.н., доц. (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка)

Кіценко Т.П., к.т.н., доц. (Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Макіївка)

Kitsenko T.P., candidate of technical science, Associate Professor (Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka)

Установлено, что введение микрокремнезема в состав кремнеземистых огнеупорных бетонов значительно повышает их термомеханические свойства.

Встановлено, що введення микрокремнезема у склад кремнеземистих вогнетривких бетонів значно підвищує їх термомеханічні властивості.

It was established, that the introduction of microsilica in structure of the silica refractory concrete considerably increases their thermomechanical properties.

Ключевые слова:

Бетон, микрокремнезем, динас, огнеупорность.

Бетон, мікрокремнезем, динас, вогнетривкість.

Concrete, microsilica, dinase, refractory.

Одними из наиболее распространенных в отечественной промышленности являются кремнеземистые огнеупорные бетоны. Все кремнеземистые огнеупорные материалы, в зависимости от содержания SiO_2 , делят на следующие группы: кварцевые (SiO_2 не менее 99% массы), кварцитовые (SiO_2 не менее 96% массы), динасокварцитовые (SiO_2 не менее 90% массы) и динасовые (SiO_2 не менее 80% массы). В производстве огнеупоров наибольшее применение получили динасовые изделия. Так, по

данным источника [1], доля динасовых изделий в общем объеме производства огнеупоров составляет около 7%. Это обусловлено тем, что динас не претерпевает дополнительной усадки в процессе длительной службы при высоких температурах, характеризуется высокой теплопроводностью, низкой газопроницаемостью и высокой устойчивостью в кислых средах. Динас изготавливают из кварцевых пород (кварцита, кварца и др.) с добавками до 2,5% минерализаторов - гашеной извести, железистых материалов (окалина, колашниковая пыль, сварочные шлаки), доменного граншлака и др. [2,3].

В промышленности Украины для изготовления кремнеземистых бетонов в основном используют жидкостекольные вяжущие. Для их отверждения применяют кремнефторид натрия, саморассыпающиеся шлаки, нефелиновый шлам, молотый доменный граншлак и др. Жидкое стекло снижает огневые свойства кремнеземистых бетонов из-за образования легкоплавких соединений в системе $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, поэтому его количество в бетоне должно быть сведено к минимуму. Для кремнеземистых бетонов наиболее сильными плавнями являются оксид натрия и кремнефтористый натрий. При этом с отвердителями вводят дополнительно до 5% плавней, снижающих термомеханические свойства бетонов.

Свойства кремнеземистых жидкостекольных огнеупорных бетонов зависят и от вида применяемых заполнителей [4]. Жаростойкие жидкостекольные бетоны с динасовым заполнителем обладают низкой термостойкостью. Они чувствительны к резким колебаниям температуры ниже 600°C . При нагреве происходит значительное расширение динаса. Выше 600°C динас термически устойчив [5,6]. Огнеупорность динасовых бетонов лежит в пределах $1650 - 1670^\circ\text{C}$. Все кремнеземистые жидкостекольные бетоны характеризуются высокой температурой деформации под нагрузкой, которая близка к огнеупорности [6,7].

Одним из методов снижения отрицательного влияния оксидов-плавней на свойства бетонов является понижение расхода отвердителя. Однако анализ литературных данных показал, что кремнеземистые бетоны с низким расходом доменного граншлака имеют незначительную прочность после твердения в нормальных условиях и при пропаривании, что ограничивает их использование [5-7]. Повышение свойств бетонов возможно за счет использования материалов, не являющихся плавнями по отношению к кремнеземистым наполнителям и заполнителям. Одним из таких направлений современной технологии огнеупорных бетонов является разработка низкоцементных и особонизкоцементных бетонов [8-10]. Для этих бетонов обязательным компонентом является высокодисперсный микронаполнитель. В качестве такого микронаполнителя наиболее часто используют аморфный микрокремнезем. Введение такой добавки позволяет снижать расход отвердителя в составе бетонов, что должно привести к

повышению эксплуатационных свойств огнеупорного шлакощелочного кремнеземистого бетона.

Цель работы - исследовать влияние добавки аморфного микрокремнезема на основные свойства огнеупорного кремнеземистого бетона при обычной и высоких температурах.

В качестве исходных материалов в исследованиях использовались: аморфный микрокремнезем Стахановского завода ферросплавов; тонкомолотый кварцит Овручского рудоуправления марки ЗКТ-97; тонкомолотый доменный граншлак Макеевского металлургического комбината. В качестве заполнителей в бетонах использовались дробленый диас лоба изделий, зернистый кварцит марки ПМК Овручского рудоуправления. Жидкое натриевое стекло имело силикатный модуль 2,0 и плотностью 1,25 г/см³.

При изготовлении бетонных образцов применяли методы виброформования на лабораторной площадке, при этом время вибрации составляло 1-2 минуты. В основных исследованиях использовались заполнители с максимальной крупностью зерен 20 мм. Методом вибрации формовались кубы 7x7x7 см из бетонных смесей подвижностью 1-3 см.

Образцы твердели в нормальных условиях. Перед нагревом выше 110°C высушивались в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 105-110°C. Нагрев образцов производился со скоростью 200±20°C/час и выдержкой при контрольных температурах в течение четырех часов. Обжиг образцов производился в лабораторных печах с нихромовой и платинородиевой обмотками, карбидокремневыми и криптоловыми нагревателями.

Для оптимальных составов кремнеземистых бетонов был изучен комплекс свойств, необходимый для их производства и применения.

Составы исследуемых бетонных смесей приведены в табл.1.

Таблица 1

Составы кремнеземистых бетонных смесей

№	Расход материалов, кг/м ³						Средняя плотность смеси, кг/м ³
	тонкомолотые			кварцит фр. 0,16-5 мм	диас фр. 5-20 мм	Na ₂ O·2SiO ₂	
	ДГШ	микро- кремне- зем	кварцит				
1	50	100	350	650	700	280	2130
2	25	100	375	645	700	280	2125
3	50	-	450	650	700	290	2140

Результаты исследований огнеупорности и температуры деформации под нагрузкой кремнеземистых бетонов представлены в табл. 2. В результате исследований получено, что огнеупорность и температура деформации под нагрузкой кремнеземистых бетонов соответственно всего на 20-50 и 30-60 °C

ниже аналогичных показателей обжигового динасового кирпича, огнеупорность которого колеблется, обычно, в пределах 1710-1730 °С, а температура начала деформации - 1630-1650 °С. При этом максимальные значения этих показателей характерны для бетона с добавкой микрокремнезема при минимальном содержании доменного граншлака.

Таблица 2

Огнеупорность и показатели температуры деформации под нагрузкой

№ состава бетона по табл. 1	Параметры предварительного прогрева		Огнеупорность, °С	Температура деформации, °С	
	температура, °С	время, час.		начало	40%
1	1400	-	1680-1690	1370	1375 - срез
		1	1680-1690	1540	1550- срез
		4	1680-1690	1590	1600- срез
2	1400	-	1710	1440	1450 - срез
		1	1710	1560	1570- срез
		4	1710	1600	1610- срез
3	1400	-	1680-1690	1350	1360 - срез
		1	1680-1690	1530	1540- срез
		4	1680-1690	1590	1600- срез

Увеличение времени предварительного прогрева образцов от 1 до 4 часов ведет к значительному, 40-60 °С (из 160-240 °С), увеличению температуры начала деформации под нагрузкой.

Результаты исследования влияния температуры прогрева на предел прочности при сжатии, среднюю плотность и открытую пористость бетонов приведены в табл. 3. Видно, что после твердения в нормальных условиях в течение 28 суток прочность бетонов составляет от 6,8 до 13,5 МПа. После сушки при температуре 110 °С предел прочности бетонов увеличивается в 1,5-4 раза. Причем чем ниже гидравлическая активность бетонов в нормальных условиях, тем выше относительный прирост их прочности при сушке. Прочность высушенных бетонов, далее принятая за исходную, возрастает до 23,6 - 31,3 МПа.

Прочность кремнеземистого бетона состава №3 без микрокремнезема увеличивается по сравнению с исходной на 139%. Введение микрокремнезема увеличивает этот прирост до 145 - 158%.

Таблица 3

Влияние температуры прогрева на основные физико-механические свойства бетонов

№ состава бетона по табл. 1	Показатели свойств после прогрева при температуре, °С							
	Предел прочности при сжатии, МПа				Средняя плотность, кг/м ³		Открытая пористость, %	
	20	110	800	1400	110	1400	110	1400
1	<u>13,5</u> 43	<u>31,3</u> 100	<u>30,4</u> 97	<u>45,4</u> 145	2012	1957	24,4	20,2
2	<u>6,8</u> 24	<u>28,4</u> 100	<u>30,8</u> 108	<u>44,8</u> 158	2008	1950	23,6	19,1
3	<u>8,4</u> 36	<u>23,6</u> 100	<u>19,6</u> 83	<u>32,8</u> 139	1975	1925	26,3	24,3

Испытание кремнеземистых бетонов в холодном состоянии после обжига при температуре 1400 °С показали, что их прочность существенно возрастает от 139-158%. Упрочнение кремнеземистого бетона №3 без добавки микрокремнезема составляет 139% от исходной прочности. С введением микрокремнезема прочность спеченного бетона увеличивается до 145-158% и тем выше, чем меньше вводится доменного граншлака.

Средняя плотность кремнеземистого бетона без микрокремнезема (состав 3) после сушки и обжига при 1400 °С равнялась соответственно 1975 и 1925 кг/м³. С введением микрокремнезема эти показатели для бетонов составов 1 и 2 возрастают соответственно на 37-32 и 33-25 кг/м³.

Для кремнеземистого бетона без микрокремнезема открытая пористость после обжига уменьшается с 26,3 до 24,3%. Введение микрокремнезема снижает ее после сушки до 23,6-24,4%, а после обжига до 19,1-20,2%.

Исследовалось влияние температуры нагрева на коэффициент теплопроводности кремнеземистого бетона состава 2. Результаты исследований (рис.1) показали что для кремнеземистых бетонов теплопроводность минимальна от 400 до 700°С. При повторном нагреве, после предварительного обжига при температуре 1400°С, теплопроводность бетонов возрастает незначительно. Коэффициент теплопроводности в при исследуемых температурах изменяется в пределах 0,9-1,3 Вт/м·°С.

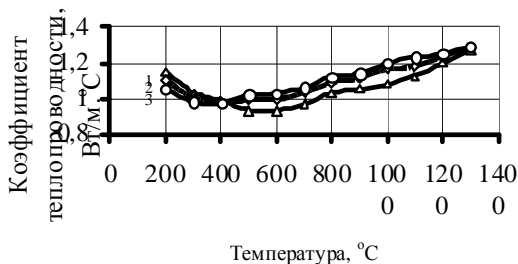


Рис. 1. Влияние температуры нагрева на коэффициент теплопроводности (λ) кремнеземистого бетона состава 2 (табл. 1): 1, 2, 3 – соответственно первый, второй нагревы и нагрев после предварительного обжига при 1400°С в течение 4 часов.

Таким образом, введение добавки микрокремнезема способствует существенному повышению эксплуатационных свойств кремнеземистых бетонов. Такие бетоны характеризуются более высокой прочностью после твердения в нормальных условиях по сравнению с разработанными ранее бетонами с низким содержанием граншлака. Введение микрокремнезема значительно повышает прирост прочности бетонов как после сушки так и после обжига при повышенных температурах. Огнеупорность и температура деформации под нагрузкой кремнеземистых бетонов соответственно всего на 20-50 и 30-60 °С ниже аналогичных показателей использованного диоксида кремния.

1. Кононов В.А. Производство огнеупорных материалов в России и перспективы его развития. Часть I. Структура и сырьевая база огнеупорных предприятий // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001. - №12. – С.30-41. **2.** Флягин В.Г., Третникова М.Г., Пивник Л.Я. Поведение кремнеземистого бетона на алюмофосфатной связке при высоких температурах: Сб. научн. тр. Вып. 10 / Восточный институт огнеупоров. – Свердловск. – 1970. – С. 164-166. **3.** Кремнеземистые бетоны и блоки / А.К. Пургин, И.П. Цыбин, А.В. Жуков и др. – М.: Металлургиздат, 1975. – 215 с. **4.** Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. – М.: Стройиздат, 1982. – 132 с. **5.** Портнова А.И., Аксельрод Е.И., Буллах В.Л., Пензева Т.С. Методы исследования термической стойкости диоксида кремния // Огнеупоры. – 1985. - №12. – С.47-50. **6.** Стрелов К.К., Кашеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М.: Металлургия, 1996. – 602 с. **7.** Огнеупорные бетоны: Справочник / Р.С. Замятин, А.К. Пургин, Л.Б. Хорошавин и др. – М.: Металлургия, 1982. – 192 с. **8.** Аксельрод Л.М. Огнеупорные бетоны нового поколения в производстве чугуна и стали // Огнеупоры и техническая керамика. – 1999. – №8. – С.35-41. **9.** Пивинский Ю.Е. Керамобетоны – заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов (часть I) // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. - №1. – С.11-15. **10.** Пивинский Ю.Е. Новые огнеупорные бетоны и вяжущие системы – основополагающее направление в разработке, производстве и применении огнеупоров в XXI веке. Часть I. Тенденции развития, вяжущие системы // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. - №2. – С.4-13.