

УДК 666.974.2

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102409>

*Канд. техн. наук Т.П. Киценко (ДонНАСА)*

*Kitsenko T.P.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ  
АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ ОГНЕУПОРНЫХ  
БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА**

**RESEARCH OF LINEAR THERMAL DEFORMATIONS OF ALUMINA-  
SILICATE AND SILICA REFRACTORY CONCRETES ON THE BASIS OF  
LIQUID GLASS**

*Представил д-р техн. наук, профессор А.А. Плугин*

В странах СНГ доля бетонов в общем объеме потребления огнеупоров составляет примерно 15-20 % [1-3]. Одним из основных направлений современной технологии огнеупорных бетонов является разработка низко- и особонизкоцементных бетонов [1, 4-7].

В отечественной промышленности накоплен большой положительный опыт использования жидкостекольных огнеупорных бетонов. С жидким стеклом в бетоны вводится, обычно, не более 2 %  $\text{Na}_2\text{O}$ . Недостатком жидкостекольных

бетонов является то, что отвердители жидкого стекла (кремнефторид натрия, металлургические шлаки) содержат 0,5-5 % 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 –  $\text{Na}_2\text{O}$ . Это практически не снижает огнеупорность наполнителей и заполнителей – основных носителей огнеупорных свойств бетонов.

В известных жидкостекольных 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,  $\text{Na}_2\text{O}$  и как следствие стоимость бетона. Жидкостекольные кремнеземистые бетоны с низким расходом доменного граншлака (1-2%  $\text{CaO}$  – 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 жидкостекольные 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.

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

Цель настоящих исследований – определить линейные температурные деформации алюмосиликатных и кремнеземистых огнеупорных бетонов на основе жидкого стекла.

В качестве щелочных компонентов вяжущих и бетонов приняты: стекло натриевого жидкого (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 [8].

Линейные температурные деформации вяжущих и бетонов в процессе нагрева исследовались при помощи дилатометра с кварцевой ячейкой. Исследования производились на образцах 1х1х7 см, которые выпиливались из кубов с ребром 7 см. Нагрев образцов при испытании производился со скоростью 200°С/час.

Общие линейные температурные деформации огнеупорных бетонов при нагреве суммируются из деформаций дегидратационной усадки камня вяжущего, усадки или роста, сопровождающих спекание или модификационные превращения компонентов бетона, а также их линейного температурного расширения.

Алюмосиликатные обожженные материалы не претерпевают модификационных превращений и характеризуются примерно одинаковым коэффициентом линейного температурного расширения в температурном интервале 20-1400 °С [9, 10]. Процессы дегидратации и спекания алюмосиликатной и кремнеземистой жидкостекольных связок идут сравнительно быстро и практически заканчиваются в процессе первого нагрева [11]. Поэтому линейные температурные деформации алюмосиликатных бетонов при первом нагреве фиксировались примерно через каждые 100 °С.

Результаты исследования температурных деформаций шамотного бетона с ШКП приведены на рис. 1. Их анализ показывает, что при первом нагреве в области температур 20-200 °С шамотный бетон претерпевает незначительное расширение, равное 0,18 мм/м. В области температур 200-400 °С расширение увеличивается до 1,05 мм/м. В температурном интервале 40-600 °С происходит скачкообразный рост

расширения. Только в этом интервале оно равно  $3,26 - 1,05 = 2,21$  мм/м, что связано, вероятно, с модификационным превращением остаточного кварца. В температурном интервале 800-1050°C бетон претерпевает заметную усадку,

связанную с появлением жидкой фазы, интенсивным спеканием и уплотнением связки. По разности между линейной деформацией при третьем и первом нагреве эта усадка при 1050°C составляет 2,27 мм/м или 0,227 %.

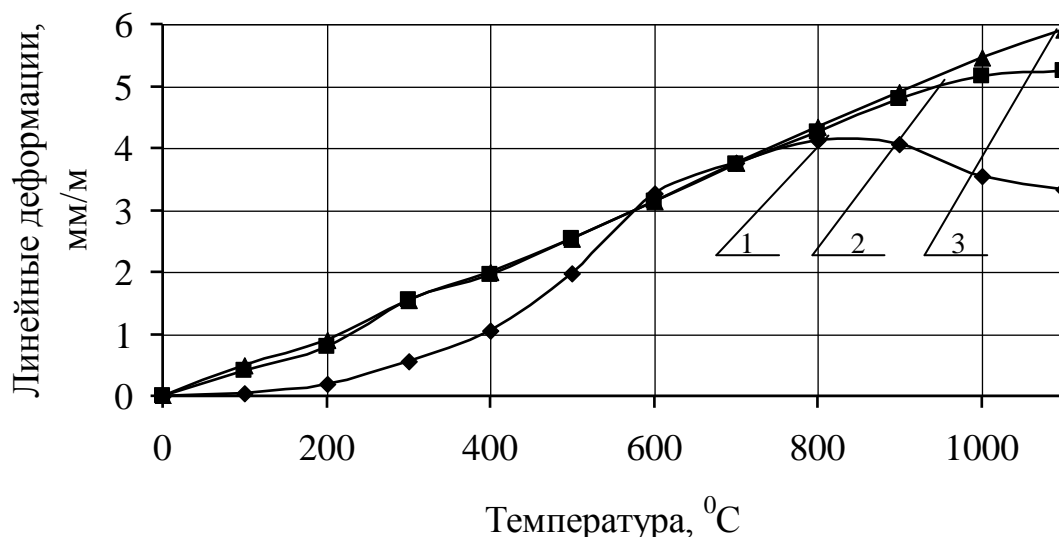


Рис. 1. Лінійні температурні деформації шамотного бетону з ШКП:  
1, 2, 3 – відповідно номери прогрева стержня бетону

При втором нагреве шамотный бетон в интервале температур 20-900 °C подвержен равномерному, прямопропорциональному температурному расширению, совпадающему с расширением при третьем нагреве. При дальнейшем повышении температуры до 1050 °C расширение бетона практически не наблюдается. При третьем нагреве шамотный бетон претерпевает равномерное расширение, прямопропорциональное температуре, уже во всем интервале испытания. Коэффициент линейного температурного расширения бетона, рассчитанный по деформации образца при третьем нагреве, равен  $5,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Аналогичный характер деформаций проявляет муллитокорундовый бетон с добавкой микрокремнезема (рис. 2). Для него характерна повышенная усадка при

температуре 100-300 °C, составляющая по разнице деформаций с 3 нагревом  $2,4 - 1,08 = 1,32$  мм/м. При дальнейшем нагреве практически до температуры 1050°C бетон претерпевает сравнительно равномерное расширение, отстающее от расширения при последующих нагревах. По разнице между деформациями при третьем и первом нагревах общая усадка бетона составляет  $9,00 - 5,78 = 3,22$  мм/м или 0,32 %.

Коэффициент линейного температурного расширения муллитокорундового бетона, рассчитанный по деформации образца, при третьем нагреве составляет  $8,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Для кремнеземистых бетонов с добавкой микрокремнезема, прогретых до температуры 900 °C, характерен необратимый рост, составляющий после охлаждения 0,30-0,44 % (рис. 3).

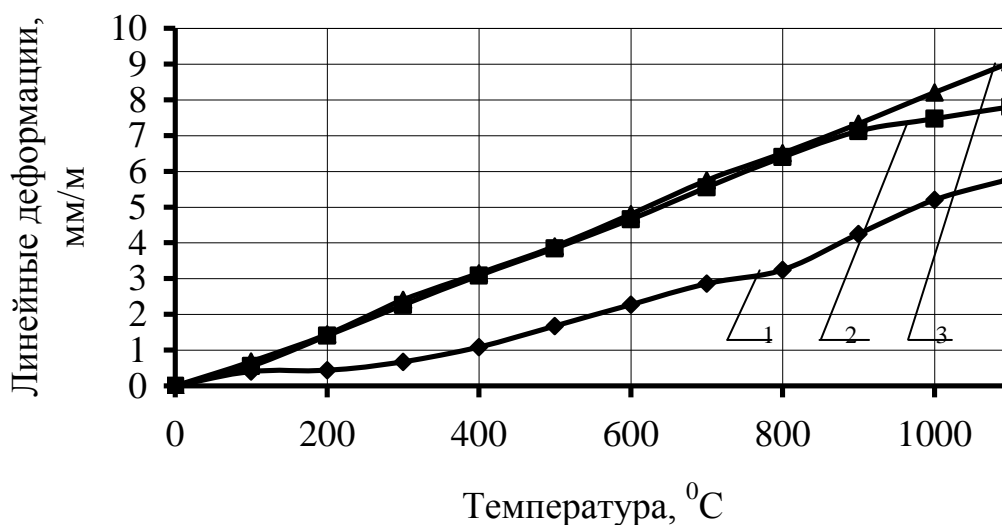


Рис. 2. Линейные температурные деформации муллитокорундового бетона с микрокремнеземом: 1,2,3 – соответственно номера прогрева

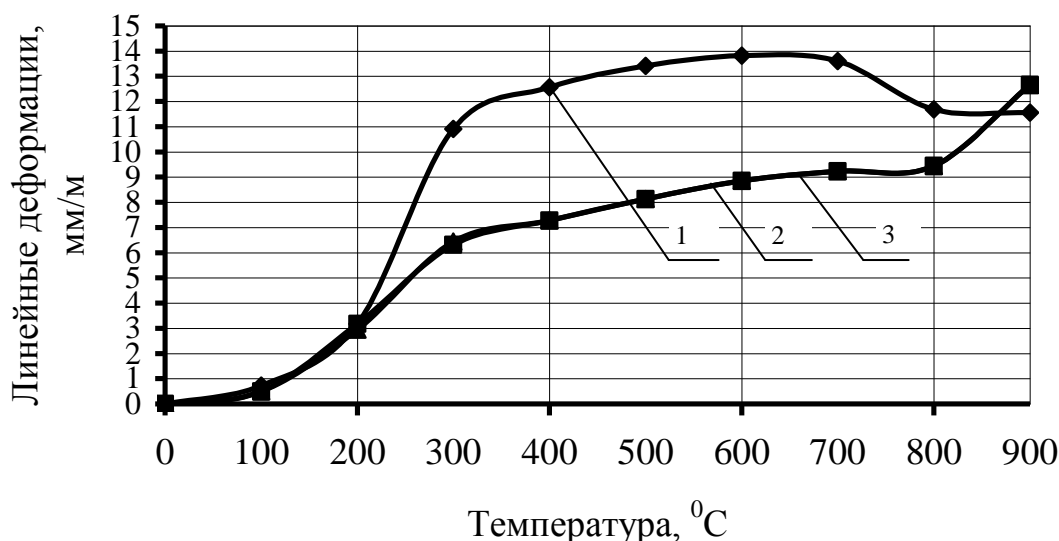


Рис. 3. Линейные температурные деформации кремнеземистого бетона с микрокремнеземом: 1,2,3 – соответственно номера прогрева бетона

Этот рост связан с разрыхлением камня вяжущего, т.к. происходит в результате обратимого модификационного превращения  $\beta$ -кварца в  $\alpha$ -кварц при температуре 573 °C [12].

При повторном нагреве кремнеземистые бетоны претерпевают, в основном, обратимые деформации вследствие перехода низкотемпературных

модификаций кремнезема в высокотемпературные и обратно. Наиболее существенное их расширение при нагреве и сокращение при охлаждении происходит в температурном интервале 20-400 °C. При этом коэффициент линейного температурного расширения бетонов, рассчитанный по данным рис. 3, составляет  $21,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . При температурах 600-900 °C

коэффициент линейного температурного расширения бетонов значительно ниже и составляет  $2,3 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Результаты исследований показали, что разработанные алюмосиликатные бетоны с ШКП и кремнеземистые бетоны с

микрокремнеземом характеризуются низкими коэффициентами линейного температурного расширения. Это позволяет их эффективно использовать в огнеупорной отрасли.

### *Список литературы*

1. Кононов, В.А. Производство огнеупорных материалов в России и перспективы его развития. Ч. 1. Структура и сырьевая база огнеупорных предприятий [Текст] / В.А. Кононов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001. – №12. – С. 30-41.
2. Сенников, С.Г. 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. Хорошавин, Л.Б. Огнеупорная промышленность России и ее развитие [Текст] / Л.Б. Хорошавин. – Екатеринбург: ЦНТИ, 1998. – 52 с.
4. Аксельрод, Л.М. Огнеупорные бетоны нового поколения в производстве чугуна и стали [Текст] / Л.М. Аксельрод // Огнеупоры и техническая керамика. – 1999. – № 8. – С. 35-42.
5. Eguchi T., Takita J., Yoshito J. Et. Al. Low-cement-bonded castable refractories // Taikabutsu. Overseas. – 1989. – V.9. - №1. – P.10-25.
6. Пивинский, Ю.Е. Новые огнеупорные бетоны и вяжущие системы – основополагающее направление в разработке, производстве и применении огнеупоров в XXI веке. Ч. I. Тенденции развития, вяжущие системы [Текст] / Ю.Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. – № 2. – С.4-13.
7. Yuan S. Selfflowing castables with ultra-low cement-content // Interceram. – 1996. – V. 45. – № 4. – P.244, 246, 248.
8. Григорьев, П.Н. Растворимое стекло [Текст] / П.Н. Григорьев, В.И. Матвеев. – М.: Промстройиздат, 1989. – 97 с.
9. Химическая технология керамики и огнеупоров [Текст] / ред. П.П. Будников, Д.Н. Полубояринов. – М.: Стройиздат, 1972. – 552 с.
10. Стрелов, К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов [Текст] / К.К. Стрелов, И.Д. Кащеев. – М.: Металлургия, 1996. – 602 с.
11. Стрелов, К.К. Структура и свойства огнеупоров [Текст] / К.К. Стрелов. – М.: Металлургия, 1972. – 216 с.
12. Кайнарский, И.С. Динас [Текст] / И.С. Канарский. – М.: Металлургиздат, 1961. – 469 с.

**Ключевые слова:** огнеупорные бетоны, жидкое стекло, температурные деформации, микрокремнезем.

### *Аннотации*

Наведено результати досліджень лінійних температурних деформацій алюмосилікатних і кремнеземистих вогнетривких бетонів на основі рідкого скла з добавками шамотно-каолінового пилу і мікрокремнезему. Встановлено, що розроблені модифіковані алюмосилікатні і кремнеземисті бетони характеризуються низькими коефіцієнтами лінійного температурного розширення.

Приведены результаты исследований линейных температурных деформаций алюмосиликатных и кремнеземистых огнеупорных бетонов на основе жидкого стекла с добавками шамотно-каолиновой пыли и микрокремнезема. Установлено, что разработанные модифицированные алюмосиликатные и кремнеземистые бетоны характеризуются низкими коэффициентами линейного температурного расширения.

The results of the research of linear thermal deformations of alumina-silicate and silica refractory concretes on the basis of liquid glass with additives of chamotte-kaolin dust and microsilica. It is established, that the developed modified alumina-silicate and silica concretes are characterized by low coefficients of linear thermal expansion.