



## ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КАМЕНЮ ВОГNETРИВКИХ ЛУЖНИХ АЛЮМОСИЛКАТНИХ І МАГНЕЗІАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ НА ОСНОВІ РОЗЧИННИХ СИЛКАТІВ І АЛЮМІНАТА НАТРІЮ

**О. М. Єфремов, К. Т. Шірінова, Т. П. Кіценко**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Україна, 86123,  
e-mail: eshirinova@yandex.ru*

*Отримана 22 січня 2008; прийнята 28 лютого 2008.*

**Анотація.** Досліджений вплив прогріву каменю лужних алюмосилкатних і магнезійних в'язучих на основі розчинних силкатів і алюмінів натрію при температурі 110-1400°C на міцність, лінійні температурні деформації, електропровідність та відкриту пористість. Встановлено, що "небезпечний", з точки зору дегідратації та знеміцнення продуктів тужавіння, інтервал температур 600-1000°C одночасно є потенційно реакційно сприятливим не тільки для утворення лужних алюмосилкатів, але і для заміни послаблених, деформованих зв'язків Na-O-Si на більш міцні, наприклад Mg-O-Si. Введення в лужні в'язучі відповідних вогнетривких наповнювачів, особливо аморфізованих, сприяє упорядкуванню структури лужних алюмосилкатів і лужно-лужноземельних силкатів, утворенню керамічної зв'язки за рахунок кристалізації більш вогнетривких фаз.

**Ключові слова:** лужні в'язучі, розчинні силкати та алюмінати натрію, властивості каменю вогнетривких в'язучих.

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАМНЯ ОГНЕУПОРНЫХ ЩЕЛОЧНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ РАСТВОРИМЫХ СИЛИКАТОВ И АЛЮМИНАТА НАТРИЯ

**А. Н. Ефремов, Е. Т. Ширинова, Т. П. Киценко**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Украина, 86123,  
e-mail: eshirinova@yandex.ru*

*Получена 22 января 2008; принята 28 февраля 2008.*

**Аннотация.** Исследовано влияние нагрева камня щелочных алюмосиликатных и магнезильных вяжущих на основе растворимых силикатов и алюмината натрия при температуре 110-1400°C на прочность, линейные температурные деформации, электропроводность и открытую пористость. Установлено, что "опасный", с точки зрения дегидратации и разупрочнения продуктов твердения, интервал температур 600-1000°C одновременно является потенциально реакционноблагоприятным не только для образования щелочных алюмосиликатов, но и замены ослабленных, деформированных связей Na-O-Si- на более сильные, например Mg-O-Si-. Введение в щелочные вяжущие соответствующих огнеупорных наполнителей, особенно аморфизированных, способствует упорядочению структуры щелочных алюмосиликатов и щелочно-щелочеземельных силикатов, образованию керамической связи за счет кристаллизации более огнеупорных фаз.

**Ключевые слова:** щелочные вяжущие, растворимые силикаты и алюминаты натрия, свойства камня огнеупорных вяжущих.

## FORMATION FEATURES AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF A REFRACTORY ALKALINE SILICA-ALUMINA AND MAGNESIAN BINDER STONE ON THE BASIS OF SOLUBLE SILICATES AND SODIUM ALUMINATE

A. N. Yefremov, E. T. Shirinova, T. P. Kitsenko

*The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavin Str., Makeevka 86123, Ukraine,  
e-mai: eshirinova@yandex.ru*

*Received January 22, 2008; accepted February 28, 2008.*

**Abstract.** An effect of heating an alkaline silica-alumina and magnesia binder stone on the basis of soluble silicates and sodium aluminate at 110-1400°C on strength, linear thermal movement, electric conductivity, and open porosity is studied. It was fixed, that a “dangerous”, from the point of view of product dehydration and softening, temperature range 600-1000°C is simultaneously a potentially reaction-favorable one not only for alkaline alumino-silicates formation, but for the replacement of the relaxed and deformed bonds Na-O-Si by stronger ones, for example Mg-O-Si-. Introduction of the corresponding refractory fillers, especially amorphous ones, into alkaline binders promotes the ordering of the structure of alkaline alumino-silicate and alkaline and alkaline-earth silicates, and it enables the formation of a ceramic bond at the expense of more refractory phase crystallization.

**Keywords:** alkaline binders, soluble silicates and sodium aluminates, properties of refractory binders stone.

### Введение

Вяжущие систем типа  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  обладают потенциально высокими огневыми свойствами [1-3]. Продукты твердения таких вяжущих отличаются высокой степенью аморфизации. После дегидратации их структура подобна силикатным стеклам. Вследствие этого, при нагревании до температур около 550-600°C, аналогично обычному стеклу, деформированная, ослабленная ионная связь мостиковых анионов кислорода с катионами натрия [4-7] продуктов твердения должна вызывать скачкообразный рост подвижности катионов натрия, т.е. электропроводности камня вяжущих.

Если допустить, по аналогии со стеклом, что катионы натрия в аморфных продуктах твер-

дения типа  $\text{Na}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  сконцентрированы в пустотах силикатной сетки или каркаса, то резкое увеличение их подвижности будет вести к переводу натрия в более устойчивую связь с немостиковым кислородом и распаду сложных силикатных анионов [7]. При этом должна увеличиться подвижность, гибкость и способность силикатных анионов к перестройке структуры [4, 8], в том числе под действием более сильных в ионном отношении катионов металлов с большей валентностью [4, 9]. Вследствие этого продукты твердения щелочных вяжущих при температуре выше 550-600°C должны проявлять высокую химическую активность по отношению к наполнителям, инертным по отношению к ним при более низких температурах.

Таблица 1. Составы исследованных вяжущих.

№ пп	Состав порошковой части вяжущих, %					Расход щелочного компонента		
	муллитокорунд	корунд	метакаолин	периклаз	микрокремнезем	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$	$1,7\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$
1	90	-	10	-	-	16	-	-
2	-	90	10	-	-	15	-	-
3	90	-	-	-	10	-	14	-
4	-	90	-	-	10	-	13	-
5	-	-	-	100	-	-	-	20
6	-	-	-	100	-	-	20	-
7	-	-	-	95	5	-	20	-

**Цель настоящей работы** - установить влияние средних (600-1000°C) и более высоких температур на особенности образования керамической связки и свойства камня огнеупорных щелочных алюмосиликатных и магнезиальных вяжущих.

#### Материалы и методы исследований

В качестве исходных компонентов алюмосиликатных вяжущих применялись следующие тонкодисперсные материалы: муллитокорунд Часовоярского огнеупорного комбината из брикетов для производства изделий по ТУ 14-8-555-87 (содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3=92,2\%$ ); электрокорунд завода “Запорожабразив” марки 14А (содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3=92,2\%$ ); спеченный периклаз марки ППИ-94 (содержание  $\text{MgO}=96,76\%$ ); аморфный микрокремнезем сухого удаления Стахановского завода ферросплавов (содержание  $\text{SiO}_2=94,90\%$ ).

В качестве щелочных компонентов вяжущих и бетонов применялись водные растворы плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup>: натриевого жидкого стекла с силикатным модулем  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=3,0$  и алюмината натрия со щелочным модулем  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3=1,7$ . Изменение силикатного модуля жидкого стекла

осуществлялось разбавлением соответствующим количеством раствора технического гидроксида натрия.

Составы исследованных вяжущих приведены в табл. 1.

Предварительно затвердевшие и высушенные образцы, отформованные из теста нормальной густоты, нагревались в электрических печах с нихромовыми либо карбидокремневыми нагревателями со скоростью  $200 \pm 20^\circ\text{C}/\text{час}$ , выдерживались при контрольной температуре в течение 4 часов и охлаждались вместе с печами. Испытание прочности при сжатии в холодном состоянии проводилось на образцах  $2 \times 2 \times 2$  см по ГОСТ 10180-90 в части скорости нагружения.

Исследования температурной зависимости электропроводности проводились по методике, изложенной в [10]. Образцы имели форму кубиков с ребром 2 см. При формовании в них закладывались нихромовые электроды. Расстояние между электродами составляло 1,5 см. Проводники тока, подвергавшиеся нагреву, также были из нихромовой проволоки диаметром 0,9 мм. Для исключения саморазогрева подача напряжения на образцы производилась только при замерах проходящего через них тока в течение не более 10-15 сек.

Таблица 2. Зависимость прочности камня вяжущих при сжатии (Рсж.) от температуры прогрева.

№ состава по табл. 1	Рсж. (МПа-числитель, %-знаменатель) после прогрева при температуре, °С					
	110	600	800	1000	1200	1400
1	<u>50,2</u> 100	<u>57,7</u> 115	<u>79,3</u> 158	<u>83,3</u> 166	<u>88,4</u> 176	<u>93,9</u> 187
2	<u>47,2</u> 100	<u>49,6</u> 105	<u>69,4</u> 147	<u>75,5</u> 160	<u>84,5</u> 179	108,5 230
3	<u>37,4</u> 100	<u>47,9</u> 128	<u>92,4</u> 247	<u>98,5</u> 263	<u>115,9</u> 310	<u>125,6</u> 336
4	<u>44,9</u> 100	<u>53,9</u> 120	<u>70,04</u> 156	<u>80,8</u> 180	<u>103,7</u> 231	<u>133,4</u> 297
5	<u>55,0</u> 100	<u>37,9</u> 69	<u>48,9</u> 89	<u>51,1</u> 93	<u>58,9</u> 107	<u>93,2</u> 169
6	<u>43,5</u> 100	<u>28,7</u> 66	<u>28,0</u> 64	<u>22,0</u> 51	<u>61,6</u> 142	<u>119,6</u> 275
7	<u>53,7</u> 100	<u>46,2</u> 86	<u>55,3</u> 103	<u>69,4</u> 129	<u>79,5</u> 148	<u>94,5</u> 176

Линейные температурные деформации камня вяжущих изучались на dilatометре с трубкой и передающим стержнем из кварцевого стекла [10].

Объемная усадка определялась путем гидростатического взвешивания парафинированных образцов, открытая пористость - по методике ГОСТ 12730.3-78. Водостойкие составы насыщались водой, неводостойкие после сушки - керосином, а после прогрева при температуре 600°С и приобретения водостойкости - керосином и водой с последующим пересчетом показателей пористости при всех температурах обработки на объем воды.

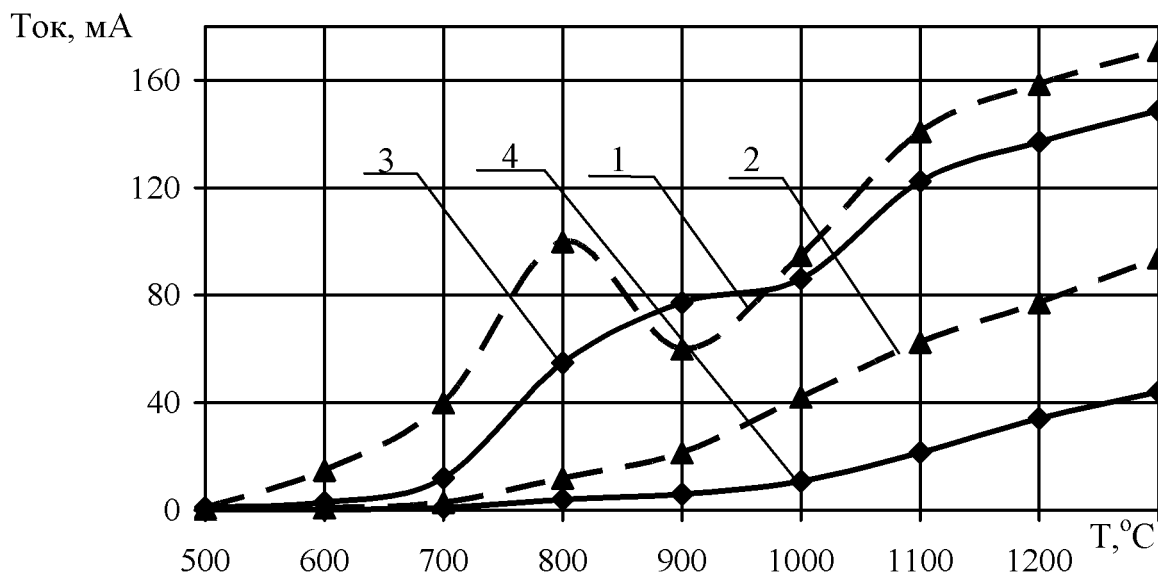
#### Анализ экспериментальных данных

Результаты исследования влияния температуры прогрева на прочность камня вяжущих приведены в табл. 2. Установлено, что спекание и рост прочности камня алюмосиликатных вяжущих начинается уже после прогрева в температурном интервале 600-800°С. По мере прогрева прочность непрерывно растет, достигая 105-247% от прочности образцов после сушки. Подъем температуры обжига до 1000°С вызывает дальнейший, хотя

и незначительный, прирост прочности, составляющий дополнительно 8-24%. Последующее повышение температуры прогрева до 1200-1400°С, переход щелочных соединений в расплав существенно интенсифицирует процесс спекания и рост прочности камня, достигающий 187-297% от исходной.

Исследование влияния температуры нагрева на электропроводность камня вяжущих подтвердило предположение о скачкообразном росте подвижности катионов натрия при нагреве выше температуры 600°С. Типичные для алюмосиликатных композиций кривые зависимости электропроводности от температуры прогрева приведены на рис. 1. При первом нагреве для них характерен перегиб при температуре 800°С. По данным рентгенофазового анализа, он свидетельствует о начале насыщения глиноземом щелочных алюмосиликатов, образующихся после дегидратации продуктов твердения вяжущих и находящихся в пиропластическом состоянии.

При использовании в качестве наполнителя муллитокорунда, содержащего высокоглиноземистое стекло, в температурном интервале 800-900 °С наблюдается значительный спад



**Рис. 1.** Зависимость электропроводности камня алюмосиликатных вяжущих на алюминате натрия от температуры нагрева (Т): 1 - "муллитокорунд + микрокремнезем", первый нагрев; 2 - то же, второй нагрев; 3 - "корунд + микрокремнезем", первый нагрев; 4 - то же, второй нагрев.

электропроводности, связанный с кристаллизацией нефелина -  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  и снижением подвижности катионов натрия. В отличие от аналогичного состава с корундом высокоглиноземистое стекло муллитокорунда существенно ускоряет этот процесс.

При температуре 1000-1100°C электросопротивление обеих композиций снова возрастает, что связано с образованием щелочноалюмосиликатных легкоплавких эвтектик [11]. Полный переход щелочи в расплав при температуре выше 1100°C стабилизирует зависимости проводимости камня вяжущих от дальнейшего повышения температуры, о чем свидетельствует характер этих зависимостей для обеих композиций как при первом, так и при втором нагревах.

Указанные особенности процесса спекания алюмосиликатных вяжущих при сравнительно низких температурах хорошо согласуются с результатами исследования линейных температурных деформаций, приведенными в табл. 3. При первом нагреве наибольшая усадка камня происходит в температурном интервале 600-900°C. При подъеме температуры до 1000°C изменение размеров образцов практически не происходит, т.к. состав щелочных алюмосиликатов стабилизировался. Об этом свидетельствует также

равномерное, прямопропорциональное температуре расширение образцов при повторных нагревах.

Образование временной керамической связки из щелочных соединений при средних температурах 700-800°C характерно также и для вяжущих композиций на основе молотого периклаза, затворенного жидким стеклом либо раствором алюмината натрия. Об этом свидетельствует практическая остановка роста электропроводности камня при первом нагреве, связанная по данным рентгенофазового анализа с образованием: в первом случае  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  и  $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , во втором -  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  с вовлечением, вероятно, примесного  $\text{SiO}_2$  (рис. 2).

Свидетельством активного взаимодействия периклаза со щелочесодержащими силикатами при первом нагреве в температурном интервале выше 700°C является переход от сокращения к расширению образцов (табл. 3, составы 5 и 6). Это расширение связано с переводом высокоплотного периклаза в менее плотные щелочно-магнезиальный силикат и форстерит. Характерно, что сокращение образца магнезиального вяжущего состава 7, твердение которого происходит за счет образования гидронефелина -  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , продолжает прогрессировать.

Таблица 3. Линейные температурные деформации камня вяжущих.

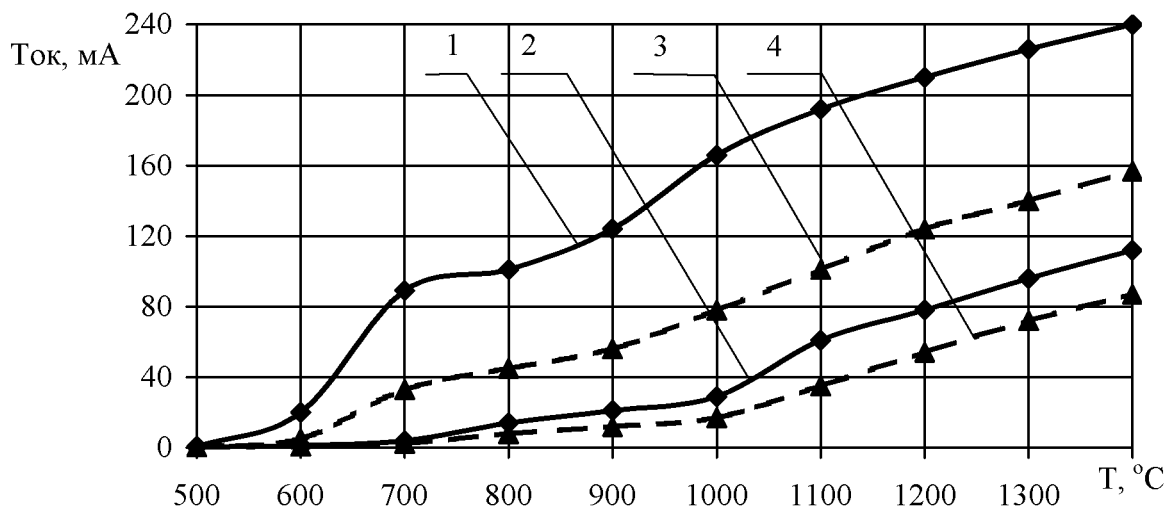
№ состава по табл. 1	Относительная линейная деформация, %, при температуре, °С (числитель - первый нагрев, знаменатель - второй нагрев после обжига при 1400°С)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	$\frac{0,01}{0,05}$	$\frac{0,03}{0,12}$	$\frac{-0,07}{0,19}$	$\frac{-0,26}{0,26}$	$\frac{-0,36}{0,33}$	$\frac{-0,41}{0,39}$	$\frac{-0,58}{0,46}$	$\frac{-0,81}{0,53}$	$\frac{-1,06}{0,60}$	$\frac{-1,19}{0,67}$
2	$\frac{0,01}{0,06}$	$\frac{0,03}{0,12}$	$\frac{-0,07}{0,19}$	$\frac{-0,25}{0,26}$	$\frac{-0,30}{0,33}$	$\frac{-0,35}{0,40}$	$\frac{-0,44}{0,47}$	$\frac{-0,63}{0,54}$	$\frac{-0,93}{0,61}$	$\frac{-1,26}{0,68}$
3	$\frac{0,02}{0,05}$	$\frac{0,040,}{11}$	$\frac{-0,05}{0,18}$	$\frac{-0,19}{0,24}$	$\frac{-0,26}{0,30}$	$\frac{-0,39}{0,36}$	$\frac{-0,56}{0,43}$	$\frac{-0,82}{0,49}$	$\frac{-1,01}{0,55}$	$\frac{-1,14}{0,62}$
4	$\frac{0,02}{0,05}$	$\frac{0,03}{0,12}$	$\frac{-0,05}{0,19}$	$\frac{-0,17}{0,25}$	$\frac{-0,20}{0,32}$	$\frac{-0,36}{0,39}$	$\frac{-0,55}{0,45}$	$\frac{-0,80}{0,52}$	$\frac{-0,99}{0,59}$	$\frac{-1,11}{0,65}$
5	$\frac{0,01}{0,09}$	$\frac{0,01}{0,19}$	$\frac{-0,01}{0,29}$	$\frac{-0,02}{0,39}$	$\frac{-0,35}{0,48}$	$\frac{-0,37}{0,58}$	$\frac{-0,36}{0,68}$	$\frac{-0,32}{0,78}$	$\frac{-0,26}{0,89}$	$\frac{-0,20}{1,00}$
6	$\frac{0,01}{0,05}$	$\frac{0,02}{0,12}$	$\frac{-0,02}{0,18}$	$\frac{-0,03}{0,25}$	$\frac{-0,16}{0,31}$	$\frac{-0,20}{0,38}$	$\frac{-0,40}{0,44}$	$\frac{-0,40}{0,51}$	$\frac{-0,40}{0,57}$	$\frac{-0,38}{0,64}$
7	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{-0,07}{0,20}$	$\frac{-0,27}{0,32}$	$\frac{-0,38}{0,43}$	$\frac{-0,42}{0,55}$	$\frac{-0,49}{0,69}$	$\frac{-0,51}{0,80}$	$\frac{-0,53}{0,92}$	$\frac{-0,60}{1,03}$	$\frac{-0,68}{1,12}$

Таблица 4. Зависимость объемной усадки камня вяжущих от температуры прогрева.

№ состава по табл. 1	Усадка в % при температуре прогрева, °С				
	600	800	1000	1200	1400
1	1,21	4,32	6,86	12,48	23,86
2	1,08	4,21	7,92	11,69	25,34
3	0,69	3,12	5,45	11,23	19,76
4	0,63	2,89	5,12	9,76	20,40
5	2,81	3,28	3,58	8,05	17,50
6	1,80	2,65	3,10	8,88	19,25
7	3,45	4,20	5,34	7,96	12,26

Таблица 5. Зависимость открытой пористости камня вяжущих от температуры прогрева.

№ состава по табл. 1	Открытая пористость в % при температуре прогрева, °С					
	110	600	800	1000	1200	1400
1	32,4	30,1	25,5	15,3	8,7	6,4
2	31,2	30,0	25,1	17,4	11,8	5,2
3	25,6	24,4	21,6	14,2	7,5	5,5
4	24,5	23,6	21,8	15,6	9,4	3,8
5	17,7	22,4	23,2	23,4	17,1	5,2
6	18,1	29,5	31,4	29,6	18,7	4,2
7	14,9	18,6	19,7	18,8	12,0	5,6



**Рис. 2.** Зависимость электропроводности камня магниальных вяжущих от температуры нагрева (Т): 1 – «периклаз + жидкое стекло», первый нагрев; 2 – то же, второй нагрев; 3 – «периклаз + алюминат натрия», первый нагрев; 4 – то же, второй нагрев.

Дегидратация и сокращение диаметра капилляров в температурном интервале 110-600°C вызывает умеренную объемную усадку (табл. 4) и незначительное, но стабильное, сокращение открытой пористости камня алюмосиликатных вяжущих (табл. 5). Последующий подъем температуры до 1000°C сопровождается согласованным с уплотнением существенным сокращением открытой пористости образцов. В температурном интервале 600-1000°C объемная усадка камня алюмосиликатных вяжущих возрастает на 4,49-6,84%, а открытая пористость снижается на 8,0-14,8%. При этом жидкостекольные композиции составов 1 и 2 подвержены уплотнению и депоризации в большей степени, чем их аналоги на основе алюмината натрия.

В отличие от алюмосиликатных дегидратация магниальных вяжущих в температурном интервале 110-600°C сопровождается значительно большей объемной усадкой, составляющей для композиций 5 и 7 соответственно 2,81 и 3,45%, а для периклазового состава на основе алюмината натрия – 1,80%. При этом открытая пористость образцов составов 5 и 7 возрастает соответственно на 4, и 3,7%, а периклазового вяжущего на основе алюмината натрия – на 11,4%.

Последующий прогрев камня магниальных вяжущих до температуры 1000°C, наоборот, сопровождается умеренной объемной усадкой,

составляющей 0,77-1,89%, и незначительным ростом открытой пористости, равным 0,1-1,0%.

Образование эвтектических расплавов при температуре выше 1000°C и плавление щелочных соединений при прогреве до 1200-1400°C вызывает интенсивное «жидкостное» спекание, происходит рекристаллизация твердых огнеупорных фаз, растворение в расплаве более огнеупорных фаз и перевод легкоплавких эвтектик в более тугоплавкое состояние. Это сопровождается стабильным ростом электропроводности и значительным уплотнением и снижением пористости камня всех вяжущих. Общая объемная усадка алюмосиликатных составов достигает 19,76-25,34%, а магниальных – 12,26-19,25%. При этом взаимосвязь усадки и открытой пористости наблюдается уже для всех вяжущих: пористость алюмосиликатных составов снижается до 3,8-6,4%, а магниальных – до 4,2-5,6%.

### Выводы

Таким образом, «опасный», с точки зрения дегидратации и разупрочнения продуктов твердения, интервал температур 600-1000°C одновременно является потенциально реакционно-благоприятным с точки зрения не только образования щелочных алюмосиликатов, но и замены ослабленных, деформированных связей

Na-O-Si- на более сильные, например Mg-O-Si-. Введение в щелочные вяжущие соответствующих огнеупорных наполнителей, особенно аморфизированных, уже при этих, средних температурах способствует упорядочению структуры щелочных алюмосиликатов и щелочно-щелочеземельных силикатов, образованию керамической связки за счет кристаллизации более огнеупорных фаз. Плавление щелочных соединений при температуре 1000-1400°C вызывает интенсивное “жидкостное” спекание, происходит рекристаллизация твердых огнеупорных фаз, растворение в расплаве более огнеупорных фаз и перевод легкоплавких эвтектик в более тугоплавкое состояние.

### Литература

1. Ефремов А.Н. Влияние содержания щелочных плавней на огнеупорность алюмосиликатных материалов // Сучасні будівельні конструкції і матеріали. Вісник ДонНАБА.- Вип. 2006 – 5 (61). - Макіївка: ДНАБА, 2006. – С. 186-189.
2. Ефремов А.Н. Влияние содержания щелочных плавней на огневые свойства жидкостекольных алюмосиликатных вяжущих // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. №23.-Одеса: Місто майстрів, 2006. - С.82-87.
3. Yefremov A.N. Alkaline binders for refractory concretes on the basis of soluble silicates and aluminates of sodium // 2007-International conference alkali activated Materials-Research, Production and Utilization. - Praha: Zeithamlova Vilena, Ing., 2007. - 717-724.
4. Белов Н.В. Строение стекла в свете кристаллохимии силикатов / Стеклообразное состояние. - М. - Л.: Изд. АН СССР, 1960.- С. 91-98.
5. Есин О.А., Гельд П.В. Физическая химия пирометаллургических процессов. Часть 2. – М.: Металлургия, 1966. – 703 с.
6. Бартенев Г.М. Строение и механические свойства неорганических стекол. - М.: Стройиздат, 1966. - 216 с.
7. Аппен А.А. Химия стекла. - Л.: Химия, 1970. - 351 с.
8. Белов Н.В. Кристаллохимии силикатов с крупными катионами. - М.: Изд. АН СССР, 1961. - 68 с.
9. Ферсман А.Е. Избранные труды. Т.2. - М.: Изд. АН СССР, 1953. - 768 с.
10. Бакунов В.С., Балкевич В.Л., Гузман И.Я. и др. Практикум по технологии огнеупоров и керамики / Под ред. Полубаяринова Д.Н. и Попильского Р.Я. – М.: Стройиздат, 1972. – 352 с.
11. Диаграммы состояния силикатных систем. Вып. третий. Тройные силикатные системы / Н.А.Торопов, В.П.Барзаковский, В.В.Лапин и др.– Л.: Наука, 1972. – 448 с.

**Ефремов Олександр Миколайович** – к.т.н., працює доцентом кафедри «Технології будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: теоретичне і експериментальне дослідження в'язучих і бетонів на основі промислових відходів; вивчення властивостей жаростійких і вогнетривких бетонів.

**Ширинова Катерина Таєрівна** – асистент, аспірант кафедри «Технології будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження термомеханічних властивостей вогнетривких магnezійних в'язучих і бетонів на основі розчинного силікату і алюмінату натрію.

**Киценко Тетяна Петрівна** – к.т.н., працює доцентом кафедри «Технології будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження вогнетривких і високовогнетривких алюмосиликатних і кремнеземних бетонів на основі розчинного силікату натрію з підвищеними термомеханічними властивостями.



**Ефремов Александр Николаевич** – к.т.н., работает доцентом кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: теоретическое и экспериментальное исследование вяжущих и бетонов на основе промышленных отходов; изучение свойств жаростойких и огнеупорных бетонов.

**Ширинова Екатерина Тасровна** – ассистент, аспирант кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование термомеханических свойств огнеупорных магнезиальных вяжущих и бетонов на основе растворимых силиката и алюмината натрия.

**Киценко Татьяна Петровна** – к.т.н., работает доцентом кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование огнеупорных и высокоогнеупорных алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов на основе растворимого силиката натрия с повышенными термомеханическими свойствами.

**Efremov Alexander N.** – a Ph. D. (Eng.), an associated professor at the Department of Building Materials and Products Technology and Automobile Roads of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: theoretical and experimental research of binders and concretes on the basis of industrial wastes; study of properties of heat-resistant and refractory concretes.

**Shirinova Ekaterina T.** – an assistant professor, a post graduate at the Department of Building Materials and Products Technology and Automobile Roads of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of thermo-mechanical properties heat-resistant astringent of magnesia binders and concretes on the basis of soluble silicate and sodium aluminate.

**Kitsenko Tat'yana P.** – a Ph. D. (Eng.), an associated professor at the Department of Building Materials and Products Technology and Automobile Roads of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of refractory and high-heat-resistant silica-alumina and siliceous concretes on the basis of a soluble sodium aluminate with higher thermo-mechanical properties.