



СТРУКТУРНОФАЗОВІ ЗМІНИ КАМЕНЮ ЛУЖНИХ В'ЯЖУЧИХ СИСТЕМИ $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ПРИ ТВЕРДІННІ ТА НАГРІВАННІ

О. М. Єфремов

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: anna.lishenko@mail.ru

Отримана 8 жовтня 2012; прийнята 21 грудня 2012.

Анотація. У результаті виконаних в Донбаській НАБА експериментально-теоретичних досліджень кінетики та структуроутворення складів пропонованих вогнетривких бетонів встановлено, що при температурі до 950°C у вогнетривкій системі $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ у присутності 2–6 % Na_2O відбувається утворення зв'язки з лужних алюмосилікатів, що супроводжується кристалізацією вогнетривких фаз. При цьому тимчасова керамічна зв'язка складається з альбіту, нефеліну, алюмінату натрію або β -глинозему. У температурному інтервалі $1\ 000 - 1\ 200^\circ\text{C}$ лужні алюмосилікати перетворюються в розплав, а роль керамічної кристалічної зв'язки переходить до вогнетривких з'єднань, формування яких почалося до плавлення проміжних фаз і закінчується в температурному інтервалі $1\ 200 - 1\ 400^\circ\text{C}$. При температурі вище $1\ 200^\circ\text{C}$ керамічна зв'язка складається з муліту, корунду, алюмінату натрію або β -глинозему. Виявлені в ході досліджень закономірності впливу вмісту Na_2O на вогнетривкість і температуру деформації під навантаженням системи $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ дозволяють підбирати в'язучі композиції з прогнозованими вогневыми властивостями, порівнянними з властивостями заповнювачів бетону, що обумовлює більш раціональне використання вогнетривких заповнювачів і вогнетривких бетонів в цілому. Результати досліджень можуть бути використані для виготовлення вогнетривких будівельних матеріалів з відходів діючих виробництв підприємств чорної і кольорової металургії.

Ключові слова: вогнетривкі бетони на основі розчинних силікатів і алюмініатів натрію, вплив 2–6 % Na_2O на мінералоутворення системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$.

СТРУКТУРНОФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАМНЯ ЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ СИСТЕМЫ $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ПРИ ТВЕРДЕНИИ И НАГРЕВЕ

А. Н. Ефремов

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: anna.lishenko@mail.ru

Получена 8 октября 2012; принята 21 декабря 2012.

Аннотация. В результате выполненных в Донбасской НАСА экспериментально-теоретических исследований кинетики и структурообразования составов предлагаемых огнеупорных бетонов установлено, что при температуре до 950°C в огнеупорной системе $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ в присутствии 2–6 % Na_2O происходит образование связки из щелочных алюмосиликатов, сопровождающееся кристаллизацией огнеупорных фаз. При этом временная керамическая связка состоит из альбита, нефелина, алюмината натрия или β -глинозема. В температурном интервале $1\ 000 - 1\ 200^\circ\text{C}$ щелочные алюмосиликаты преобразуются в расплав, а роль керамической кристаллической связки переходит к огнеупорным соединениям, формирование которых началось до плавления промежуточных фаз и заканчивается в температурном интервале $1\ 200 - 1\ 400^\circ\text{C}$. При температуре выше $1\ 200^\circ\text{C}$ керамическая связка состоит из

муллита, корунда, алюмината натрия или β -глинозема. Выявленные в ходе исследований закономерности влияния содержания Na_2O на огнеупорность и температуру деформации под нагрузкой системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ позволяют подбирать вяжущие композиции с прогнозируемыми огневыми свойствами, сопоставимыми со свойствами заполнителей бетона, что обуславливает более рациональное использование огнеупорных заполнителей и огнеупорных бетонов в целом. Результаты исследований могут быть использованы для изготовления огнеупорных строительных материалов из отходов действующих производств предприятий черной и цветной металлургии.

Ключевые слова: огнеупорные бетоны на основе растворимых силикатов и алюминатов натрия, влияние 2–6 % Na_2O на минералообразование системы $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$.

STRUCTURAL AND PHASES CHANGES OF STONE OF ALKALINE BINDERS OF SYSTEM $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ AT HARDENING AND HEATING

Alexander Yefremov

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: anna.lishenko@mail.ru

Received 8 October 2012; accepted 21 Desember 2012.

Abstract. It is set that temperature to 950 °C in the refractory system $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ in presence 2–6 % Na_2O formation of binder goes from alkaline aluminosilicates, crystallization of refractory phases begins, here a temporal ceramic binder consists of $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ or $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$. In the temperature interval of 1 000–1 200 °C alkaline aluminosilicates passes to fusion and role of ceramic crystalline binder passes to refractory connections forming of which began to melting of intermediate phases and is closed in the temperature interval of 1 200–1 400 °C. At a temperature higher a 1 200 °C ceramic binder consists of $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ or $\beta - \text{Al}_2\text{O}_3$. Regularity of influence of substance of Na_2O on refractory property and deformation points on load of system $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ has been carried out during researches. This regularity allows to select cementing material compositions with fire properties which consistent with concrete filler properties at all. The results of researches can be used for production of refractories from wastes of ferrous and nonferrous-metals industry.

Keywords: refractory concretes on the basis of soluble silicates and aluminates of sodium, influencing 2–6 % Na_2O on the mineralogenesis of the system $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$.

Введение

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработаны огнеупорные вяжущие системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ на основе жидкого стекла и его аналога – раствора алюмината натрия. Отвердителями, а точнее структурообразующими компонентами вяжущих на основе жидкого стекла служат предварительно обожженный каолин (метакаолин) или шамотно-каолиновая пыль-уноса (ШКП) с электрофильтров вращающихся печей Владимировского огнеупорного завода (Донецкая обл.), содержащие аморфный глинозем. Для отверждения вяжущих на основе раствора алюмината натрия использован аморфный микрокремнезем. Твердение обеих

композиций происходит в результате образования гидронефелина – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Ранее проведенные исследования [1] показывают, что основное влияние на физико-механические свойства камня разработанных вяжущих после прогрева при температуре выше 800 °C будут оказывать оксиды алюминия и натрия. Для прогнозирования этих свойств важно знать закономерности минералообразования при нагреве во вновь образующейся керамической вяжущей матрицы бетонов.

Цель работы

Исследовать влияние содержания глинозема и щелочного оксида на закономерности процессов

минералообразования керамической связки огнеупорной системы $Al_2O_3 - SiO_2$ при температурах 600–1400 °С, что позволит управлять структурой и прогнозировать максимальную температуру применения соответствующих вяжущих.

Объекты и методы исследований

В исследованиях в качестве исходных компонентов применялись следующие тонкодисперсные материалы: шамот марки ШКН – 2 (ТУУ 322-7-00190503-083-97), полученный обжигом во вращающихся печах Новоселицкого каолина; электрокорунд марки 14А завода «Запорожабразив» (ТУУ 3.02-0022225-59-94); кварцит марки ЗКТ-97 Овручского рудоуправления марки ЗКТ-97 (ТУ 14-8-92-74). Материалы отбирались из промышленных поставок; аморфный микрокремнезем сухого удаления Стахановского завода ферросплавов. Их тонкость помола и химический состав, определенные по стандартным методикам, приведены в табл. 1.

Введение необходимого количества щелочного оксида обеспечивалось затворением смесей растворами силиката, алюмината и гидроксида натрия либо их смесями. При этом концентрация растворов рассчитывалась, исходя из их плотности согласно данным, приведенным в литературе [2–4].

Образцы-цилиндры диаметром 3,6 и высотой около 5 см прессовались из полусухих смесей при давлении 40 МПа, высушивались до постоянной массы при температуре 110 °С, после чего нагревались со скоростью примерно 200 °С/час с выдержкой при конечной температуре 4 часа. Охлаждение образцов производилось вместе с печью со скоростью 300–400 °С/час. Для обжига использовались печи с нихромовыми и карбидокремневыми электронагревателями.

Фазовый состав новообразований затвердевших вяжущих и продуктов их перекристаллиза-

ции в процессе нагрева исследовались комплексом дериватографического, рентгенофазового и инфракрасноспектроскопического методов. Дополнительно природа процессов, происходящих в камне вяжущих при нагреве выше 500 °С, изучалась по зависимостям электропроводности от температуры прогрева.

Рентгенофазовый анализ осуществлялся на установке УРС-50 ИМ. Съемка рентгенограмм проводилась в монохроматическом $Cu K_\alpha$ излучении в интервале углов $2\Theta = 5...70^\circ$ при скорости вращения счетчика и образца 2 град. в минуту. Расшифровка рентгенограмм производилась сравнением полученных данных с характеристиками минералов, приведенными в литературе [5–7].

Дифференциальные термический и термогравиметрический анализы проводились по методике А. Г. Берга [8]. Кривые регистрировались на дериватографе Q – 1500 (Венгрия) в режиме линейного повышения температуры в диапазоне 20–950 °С. Чувствительность весовой установки 0,248 мг/мм. Для идентификации результатов использовались данные, приведенные в литературе [9, 10].

Запись инфракрасных спектрограмм осуществлялась на спектрофотометре JR-75 Specord в области 400–4000 cm^{-1} . В качестве источника света использовался штифт Глобара, изготовленный из карбида кремния и нагретый до 1200–1400 °С. Расшифровка спектрограмм производилась с использованием данных, приведенных в литературе [11].

Исследования температурной зависимости электропроводности камня вяжущих производились по методике, изложенной в [12]. Образцы имели форму кубиков с ребром 2 см, при изготовлении которых в них закладывались сетчатые нихромовые электроды. Расстояние между электродами составляло 1,5 см. Проводники тока, подвергавшиеся нагреву, также были из нихромовой проволоки диаметром 0,9 мм.

Таблица 1. Химический состав и тонкость помола материалов

Материал	Содержание оксидов, % массы							Остаток на сите 0,08 мм, % массы
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	
Шамот	56,91	40,62	–	0,95	0,46	0,20	0,36	6,5
Электрокорунд	0,02	96,87	0,64	0,25	0,34	0,80	0,32	1,1
Кварцит	97,47	1,16	–	0,66	0,37	0,16	0,12	10,2
Микрокремнезем	94,90	1,62	1,12	0,35	0,09	2,03	–	–

Анализ результатов исследований

Дериватографические исследования метакаолина, полученного обжигом каолина при температуре 700 °С, показали, что он практически полностью дегидратировал (рис. 1). До температуры 935 °С на его термограмме нет никаких эффектов. Экзопик при 935 °С связан с кристаллизацией муллита [13]. Дифракционная кривая свидетельствует о полной аморфизации метакаолина.

На термограмме ШКП четко фиксируются эндоэффект дегидратации с максимумом при 525° и экзоэффект кристаллизации муллита при 935 °С. Общие потери массы составляют 3,1 %, т. е. в ШКП содержится около 22 % остаточного каолинита. Примерно 36 % потери массы приходится на температурный интервал 100–430 °С и 64 % на интервал 430–620 °С.

На рентгенограмме ШКП присутствуют четкие пики муллита (0,340; 0,338; 0,221; 0,253 нм), слабые пики β-кварца (0,332; 0,426; 0,181) и каолинита (0,234; 0,249; 0,25 нм). Это свидетельствует о недожженности исходного ШКП и о вероятном наличии в ней аморфного метакаолинита.

Теоретически можно было предположить, что природа структурообразования алюмосиликатных вяжущих аналогичных составов на основе низкомолекулярного жидкого стекла или алюмината натрия в композиции с микрокремнеземом при твердении и последующем нагреве будет одинакова. Предварительные исследования подтвердили это. Поэтому в настоящей работе приводится анализ структурнофазовых изменений на примере камня вяжущих, затворенных только низкомолекулярным жидким стеклом.

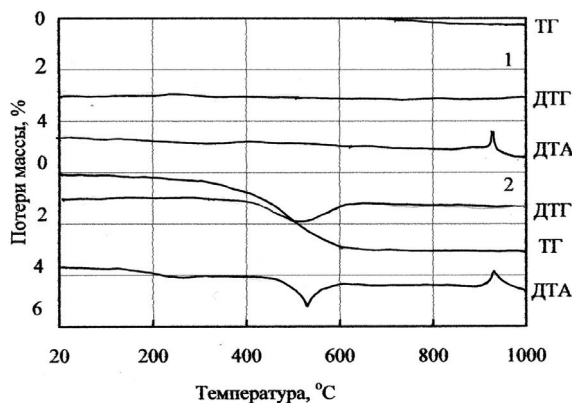


Рисунок 1. Дериватограммы структурообразующих добавок: 1 – метакаолин (Новоселецкий каолин, обожженный при 700 °С); 2 – ШКП.

Исследованиями подтверждены многочисленные данные [14–16] о том, что твердение композиций на основе низкомолекулярного жидкого стекла с использованием в качестве структурообразующих активных компонентов метакаолина и ШКП обусловлено синтезом гидронефелина. О его образовании свидетельствуют термограммы (рис. 2) и рентгенограммы. Так, на указанных термограммах фиксируются эндоэффекты в температурных интервалах 100–175, 230–300 и 400–600 °С. При первых двух интервалах температур удаляется цеолитная вода, в третьем – кристаллизационная [17]. Аналогичный вид имеют дериватограммы вяжущих с муллитокорундовым и корундовым наполнителями.

После 28 суток нормального твердения на рентгенограммах камня вяжущих «шамот + ШКП + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$ », «шамот + метакаолин + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$ », «муллитокорунд + метакаолин + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$ » и «корунд + метакаолин + $\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$ » фиксируются, хотя и очень слабые, но достаточно четкие отражения: $d = 0,638; 0,368; 0,280$ и $0,213$ нм, принадлежащие $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [7, 19].

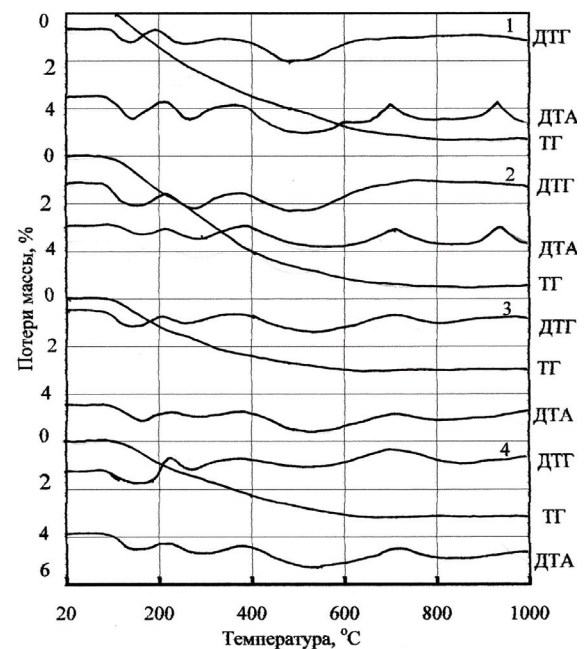


Рисунок 2. Дериватограммы камня алюмосиликатных вяжущих на $\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и последующей сушки при 110 °С: 1 – «шамот + ШКП = 75 + 25»; 2 – «шамот + метакаолин = 75 + 25»; 3 – «муллитокорунд + метакаолин = 90 + 10»; 4 – «корунд + метакаолин = 90 + 10».

Кроме того, на образование каркасного гидроралюмосиликата во всех композициях вяжущих указывают ИК-спектрограммы. На них зафиксированы острые пики при частоте $770\text{--}800\text{ см}^{-1}$ и впадиной в области $840\text{--}1\,250\text{ см}^{-1}$ (рис. 3). Первые пики свидетельствуют о связи $=\text{Al}^{\text{IV}} - \text{O}-$, а впадина характеризует валентные колебания $\equiv \text{Si} - \text{O} -$ тетраэдрических связей. Спектры с частотой колебаний $1\,500\text{--}1\,700\text{ см}^{-1}$ указывают на присутствие адсорбированной воды [11, 17].

После обжига при температуре 800 °C на рентгенограммах всех алюмосиликатных вяжущих фиксируются отражения с $d=0,420; 0,328; 0,302\text{ нм}$, принадлежащие нефелину [7, 17]. Кристаллизация нефелина на термограммах фиксируется, вероятно, сравнительно слабым, пологим экзоэффектом в области температур $650\text{--}730\text{ °C}$ (рис. 2). Дальнейшее повышение температуры прогрева камня шамотных вяжущих, которые характеризуются избытком кремнезема по отношению как к мулиту, так и нефелину, вызывает появление экзоэффекта при температуре 930 °C . По данным рентгенофазового анализа этот экзоэффект связан с появлением слабых, но достаточно четких линий альбита с межплоскостными расстояниями: $d = 0,410; 0,321; 0,315; 0,292\text{ нм}$ [7, 17]. В высокоглиноземистых композициях альбит не фиксируется, но усиливаются дифракционные максимумы нефелина.

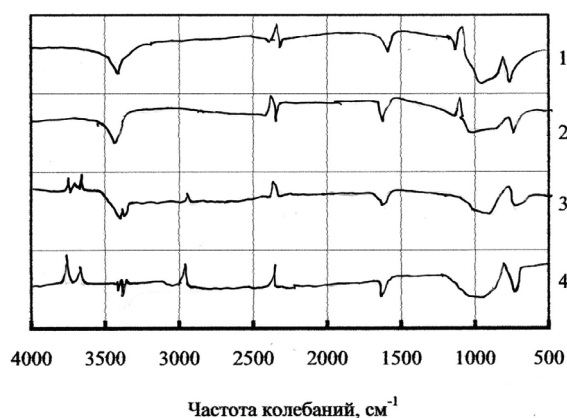


Рисунок 3. ИК – спектрограммы камня алюмосиликатных вяжущих на $\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и сушки при 110 °C : 1 – «шамот + ШКП = $80 + 20$ »; 2 – «шамот + метакаолин = $80 + 20$ »; 3 – «муллитокорунд + метакаолин = $90 + 10$ »; 4 – «корунд + метакаолин = $90 + 10$ ».

Исследование влияния температуры нагрева на электропроводность камня алюмосиликатных вяжущих композиций подтвердило предположение о скачкообразном росте подвижности катионов натрия при нагреве выше температуры 600 °C (рис. 4). В температурном интервале $550\text{--}600\text{ °C}$ камень всех составов становится электропроводным. Эта электропроводность резко возрастает при нагреве образцов до температуры 800 °C .

При последующем подъеме температуры изменение электропроводности определяется составом вяжущих. При первом нагреве шамотных композиций в температурном интервале $800\text{--}950\text{ °C}$ происходит существенный спад электропроводности. Связано это, вероятно, с насыщением нефелина кремнеземом, что усиливает связь катионов натрия с силикатным каркасом, снижает подвижность катионов натрия и электропроводность камня вяжущего. Заканчивается этот процесс при 930 °C перекристаллизацией нефелина в альбит.

Для композиции с муллитокорундовым наполнителем характерен существенно меньший спад электропроводности, причем только в температурном интервале $800\text{--}900\text{ °C}$. Замена муллитокорунда корундом приводит к тому, что при подъеме температуры от 800 до 900 °C происходит только замедление, а при последующем повышении температуры до $1\,000\text{ °C}$ практическая остановка роста электропроводности.

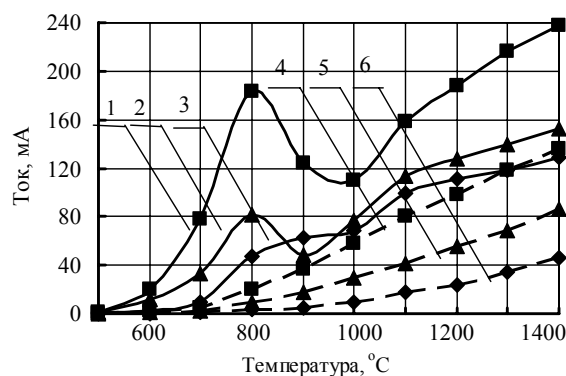


Рисунок 4. Зависимость электропроводности камня алюмосиликатных вяжущих на $\text{Na}_2\text{O} \cdot 1,5\text{SiO}_2$ от температуры нагрева: 1 – «шамот + ШКП = $80 + 20$ », первый нагрев; 2 – «муллитокорунд + метакаолин = $90 + 10$ », первый нагрев; 3 – «корунд + метакаолин = $90 + 10$ », первый нагрев; 4 – «шамот + ШКП = $80 + 20$ », второй нагрев; 5 – «муллитокорунд + метакаолин = $90 + 10$ », второй нагрев; 6 – «корунд + метакаолин = $90 + 10$ », второй нагрев.

Указанные отличия в зависимости электропроводности высокоглиноземистых композиций, по сравнению с шамотными, объясняется сравнительно более медленным взаимодействием высокоглиноземистых наполнителей с аморфизированным нефелином. По сравнению с составом на корунде, наличие высокоглиноземистого алюмосиликатного стекла в исходном муллитокорунде интенсифицирует этот процесс и сдвигает его в область более низких температур. При использовании корунда идет, вероятно, значительно более медленное насыщение щелочного алюмосиликата глиноземом. Однако в конечном итоге при температуре 1 000 °С и выше электропроводность этой композиции становится минимальной.

При температуре 1 000–1 100 °С электросопротивление камня всех составов снова резко падает, что связано с образованием щелочноалюмосиликатных легкоплавких эвтектик [18]. Полный переход щелочи в расплав при температуре выше 1 100 °С стабилизирует зависимости проводимости камня вяжущих от дальнейшего повышения температуры. Эти зависимости становятся практически прямопропорциональными температуре и одинаковыми как при первом, так и при втором нагревах.

Анализ низкощелочной части диаграммы состояния $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ [18] показывает, что образование промежуточной щелочноалюмосиликатной связки из нефелина или альбита при температуре выше 800 °С зависит не столько от наличия кремнезема, сколько от соотношения определяющих оксидов – Na_2O и Al_2O_3 . При этом в композициях, попадающих в поля кристаллизации основных огнеупорных фаз – муллита и корунда, вероятность образования нефелина возрастает с повышением содержания обоих оксидов, особенно щелочного.

Таким образом, твердение алюмосиликатных вяжущих происходит в результате образования аморфизированного гидронфелина, который, за счет скачкообразного роста подвижности кати-

онов натрия при температуре выше 600 °С, проявляет высокую активность по отношению к избыточным кремнезему и глинозему наполнителей. В результате усиливается связь $\text{Na} - \text{O} -$, идет упорядочение структуры и образование дополнительного количества щелочесодержащих минералов, в т. ч. тугоплавких и огнеупорных. Это снижает количество легкоплавких минералов и эвтектик, обеспечивая, до появления критического количества расплава, образование после обжига при 1 400 °С основных огнеупорных фаз согласно схеме, приведенной в табл. 2.

Выводы

1. При средних температурах до 900–950 °С в огнеупорной системе $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ в присутствии 2–6 % Na_2O идет образование связки из щелочных алюмосиликатов, начинается кристаллизация огнеупорных фаз, при этом временная керамическая связка сформирована альбитом, нефелином, алюминатом натрия или β -глиноземом.
2. В температурном интервале 1 000–1 200 °С щелочные алюмосиликаты переходят в расплав и роль керамической кристаллической связки переходит к огнеупорным соединениям, формирование которых началось до плавления промежуточных фаз и заканчивается, в основном, в температурном интервале 1 200–1 400 °С. При температуре выше 1 200 °С керамическая связка сформирована муллитом, корундом, алюминатом натрия или β -глиноземом.
3. Установленные закономерности влияния содержания Na_2O на огнеупорность и температуру деформации под нагрузкой системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ позволяют подбирать вяжущие композиции с прогнозируемыми огневыми свойствами, сопоставимыми со свойствами заполнителей бетона. Это дает возможность более рационально использовать огнеупорные заполнители и бетоны в целом.

Таблица 2. Структурнофазовые изменения алюмосиликатных композиций при 1 400 °С

Содержание, % массы	Al_2O_3	30–40	50	60	50	60	70	80	70	80	90	90	95
	Na_2O	2–6	2–4	2	6	4–6	2–4	2	6	4–6	2	4–6	2–4
Кристаллические фазы связки		муллит			муллит + корунд			корунд			корунд + β -глинозем		

Литература

1. Ефремов, А. Н. Влияние содержания щелочных плавней на огневые свойства жидкостекольных алюмосиликатных вяжущих [Текст] / А. Н. Ефремов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса : Місто майстрів, 2006. – Вип. № 23. – С. 82–87.
2. Лайнер, А. И. Производство глинозема [Текст] / А. И. Лайнер. – М. : Metallurgizdat, 1961. – 620 с.
3. Григорьев, П. Н. Растворимое стекло [Текст] / П. Н. Григорьев. – М. : Промстройиздат, 1956. – 443 с.
4. Гороновский, И. Т. Краткий справочник химика [Текст] / И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – К. : Наукова думка, 1974. – 991 с.
5. Минералогические таблицы [Текст] / Под ред. Е. И. Семенова. – М. : Недра, 1981. – 398 с.
6. Миркин, Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов [Текст] / Л. И. Миркин. – М. : Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1961. – 863 с.
7. Семушин, В. Н. Рентгенографический определитель цеолитов [Текст] / В. Н. Семушин. – Новосибирск : Наука, 1986. – 128 с.
8. Берг, Л. Г. Введение в термографию [Текст] / Л. Г. Берг. – М. : Изд-во АН СССР, 1969. – 395 с.
9. Рамачадран, В. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов [Текст] / В. Рамачадран. – М. : Стройиздат, 1977. – 407 с.
10. Горшков, В. С. Термография строительных материалов [Текст] / В. С. Горшков. – М. : Стройиздат, 1968. – 239 с.
11. Плюсица, И. И. Инфракрасные спектры минералов / И. И. Плюсица. – М. : Изд-во МГУ, 1976. – 175 с.
12. Практикум по технологии огнеупоров и керамики / В. С. Бакунов, В. Л. Балкевич, И. Я. Гузман и др. ; Под ред. Д. Н. Полубаяринова и Р. Я. Попильского. – М. : Стройиздат, 1972. – 352 с.
13. Августиник, А. И. Керамика [Текст] / А. И. Августиник. – Л. : Стройиздат, 1975. – 592 с.
14. Krivenko, P. Hydration-Dehydration Structure Formation Processes in Geo-cements [Текст] / P. Krivenko, G. Kovalchuk // Geopolymer Binders – Interdependence of composition, structure and properties. Workshop Proceedings, 18–19.09.2006, Weimar / Anja Buchwald, Katja Dombrowski, Marcel Weil (Eds.). – Aachen: Shaker Verlag, 2007. – P. 97–118.
15. Palomo, A. Nature of Alkali Aluminosilicate Polimers. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers [Текст] / A. Palomo, A. Fernandez-Jimenez // 2007 International conference Alkali Activated Materials Research, Production and Utilization : Proceedings / Zeithamlova Milena (editor). – Praha : Czech development Agency, 2007. – P. 509–522.
16. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers / J.S.J. Van Deventer, J. L. Provis,

References

1. Yefremov, A. N. The influence of substance of neutralizing fluxing agents on fire properties of hydronic and glass aluminosilicate bonding materials. In: *Vestnyk Odesa State Academy of building and Architecture*. Odesa: Location of craftsman, 2006. Issue 23, p. 82–87. (in Russian)
2. Lainer, A. I. Argil production. Moscow: Metallurgizdat, 1961. 620 p. (in Russian)
3. Grigorev, P. N. Soluble glass. Moscow: Promstroizdat, 1956. 443 p. (in Russian)
4. Goronovskii, I. T.; Nazarenko, Yu. P.; Nekriach, E. F. Chemist abstract. Kyiv: Naukova dumka, 1974. 991 p. (in Russian)
5. Mineralogic table. Edited by E. I. Semenova. Moscow: Nedra, 1981. 398 p. (in Russian)
6. Mirkin, L. I. Reference book for X-ray structure analysis of polycrystal. Moscow: State edition of physic-mathematical literature, 1961. 863 p. (in Russian)
7. Semushin, V. N. X-ray determinant of zeolites. Novosibirsk: Nauka, 1986. 128 p. (in Russian)
8. Berg, L. G. Introduction into thermographic printing. Moscow: Publishing house AN USSR, 1969. 395 p. (in Russian)
9. Ramachadran, V. The usage of differential thermal analysis in cement chemistry. Moscow: Stroiizdat, 1977. 407 p. (in Russian)
10. Gorshkov, V. S. Thermographic of building materials. Moscow: Stroiizdat, 1968. 239 p. (in Russian)
11. Plusina, I. I. Infrared spectrum of minerals. Moscow: MGU, 1976. 175 p. (in Russian)
12. Bakunov, V. S.; Balkevich, V. L.; Guzman, I. Ja. et al. Edited by Polubaiarinov D. N. and R. Ya. Popilskii Practicum on refractory and ceramic engineering. Moscow: Stroiizdat, 1972. 352 p. (in Russian)
13. Avgustinik, A. I. Ceramic. Leningrad: Stroiizdat, 1975. 592 p. (in Russian)
14. Krivenko, P.; Kovalchuk, G. Hydration-Dehydration Structure Formation Processes in Geo-cements. In: *Geopolymer Binders – Interdependence of composition, structure and properties. Workshop Proceedings, 18–19.09.2006, Weimar / Anja Buchwald, Katja Dombrowski, Marcel Weil (Eds.)*. Aachen: Shaker Verlag, 2007, p. 97–118.
15. Palomo, A.; Fernandez-Jimenez, A. Nature of Alkali Aluminosilicate Polimers. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers. In: *2007 International conference Alkali Activated Materials Research, Production and Utilization: Proceedings / Zeithamlova Milena (editor)*. Praha: Czech development Agency, 2007, p. 509–522.
16. Van Deventer, J.S.J.; Provis, J. L.; Rees, C. A. et al. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers. In: *2007 International conference Alkali Activated Materials Research, Production and Utilization: Proceedings / Zeithamlova Milena (editor)*. Praha: Czech development Agency, 2007, p. 725–734.
17. Gluhovskii, V. D.; Petrenko, I. Yu.; Skurchinskaia, Zh. V. About physical and chemical characteristics of

- C. A. Rees et al. // 2007 International conference Alkali Activated Materials Research, Production and Utilization : Proceedings / Zeithamlova Milena (editor). – Praha : Czech development Agency, 2007. – P. 725–734.
17. Глуховский, В. Д. О физико-химических характеристиках искусственных минералов системы $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ / В. Д. Глуховский, И. Ю. Петренко, Ж. В. Скурчинская // Геологический журнал. – 1974. – Т. 34, Вып. 2. – С. 133–137.
18. Диаграммы состояния силикатных систем [Текст] : справочник / АН СССР. Ин-т химии силикатов им. И. В. Гребенщикова. – Л. : Наука, 1972. – 448 с. – (Вып. 3 : Тройные системы / Н. А.Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лашин и др.).
- artificial minerals of system. $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$. In: *Geologic journal*, 1974, T. 34, Issue 2, p. 133–137. (in Russian)
18. Diagram of silicate system state: reference book. Issue 3: ternary system / N. A. Toropov, V. P. Barzakovskii, V. V. Lapin et al. Leningrad: Nauka, 1972. 448 p. (in Russian)

Єфремов Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, жаростійкі і вогнетривкі бетони.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Alexander Yefremov – DSc (Eng.), Professor; Technology of Building Constructs, Articles and Materials Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, refractory concretes.