

УДК 544.31

**А. Н. КОРОГОДСКАЯ, Г. Н. ШАБАНОВА**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## **СТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ В ОБЛАСТИ СУБСОЛИДУСА**

В статье представлены результаты термодинамических и геометро-топологических расчетов, позволивших установить в трехкомпонентной системе  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  стабильные пары сосуществующих фаз и разбить систему на элементарные политопы. На основании проведенных расчетов обоснован выбор области системы, оптимальной с точки зрения получения огнеупорных коррозионностойких вяжущих материалов.

**трехкомпонентная система, алюминаты стронция, хромит стронция, сосуществующие фазы, геометро-топологические характеристики, субсолидусное строение, огнеупорность**

Огнеупорные неформованные материалы в последние десятилетия все чаще используются в металлургической, химической, нефтеперерабатывающей, энергетической отраслях промышленности. Повышенный интерес к данным материалам вызван широкими технологическими возможностями их применения: создание монолитных бесшовных футеровок сложной конфигурации; возможность вариации вещественного состава, что позволяет регулировать физико-механические и технические свойства готовых изделий в широких пределах; быстрое проведение плановых и аварийных ремонтов высокотемпературных агрегатов с вводом их в эксплуатацию.

Наиболее часто в огнеупорных неформованных материалах в качестве связки используют цементы, обладающие более низкой стоимостью и повышенными технологическими свойствами по сравнению с органическими или другими минеральными связующими. Возможность вариации фазового состава вяжущего материала позволяет добиться матричного сродства с основой заполнителя и наполнителя, что придает готовому материалу повышенную прочность, низкую пористость, огнеупорность, пониженное разупрочнение при высоких температурах, термостойкость, стойкость к воздействию агрессивных сред.

Наиболее распространенным вяжущим для производства огнеупорных неформованных изделий являются глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, основу которых составляют алюминаты кальция. Недостатком данных вяжущих материалов является сильный разогрев в начальный период твердения за счет повышенной скорости гидратации алюминатов кальция, а также перекристаллизация высокоосновных гидратных новообразований, приводящих в более поздние сроки твердения к появлению трещин и сбросу прочности до 40 %.

Значительно повысить огнеупорность и коррозионную стойкость вяжущего можно заменой алюминатов кальция на алюминаты стронция, а также вводом в состав цемента оксида хрома (III), образующего хромит стронция. Однако разработка оптимального состава такого цемента затрудняется отсутствием литературных данных о строении трехкомпонентной системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  в области субсолидуса. При исследовании многокомпонентных систем наиболее предпочтительным является термодинамический метод анализа, поскольку он позволяет теоретически осуществить разбиение системы на элементарные политопы путем использования сравнительно небольшого числа термических констант, участвующих в реакциях соединений, и несложного математического аппарата, не прибегая к трудоемким экспериментам. Таким образом, целью данного исследования является изучение субсолидусного строения трехкомпонентной системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ , являющейся основой для создания огнеупорных коррозионностойких высокопрочных вяжущих материалов.

Бинарные системы, входящие в состав исследуемой трехкомпонентной системы, изучены достаточно полно. Так, исследования различных авторов выявили, что в системе  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3$  существует 5

термодинамически стабильных соединений:  $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ ,  $\text{SrAl}_4\text{O}_7$ ,  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  и  $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$  [1–3]. Установлена аналогия между алюминатами стронция и кальция. Так,  $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  имеет кубическую структуру, тождественную  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ . Такие же аналогии наблюдаются между  $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$  (гексагональная сингония),  $\text{SrAl}_4\text{O}_7$  и  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$  (моноклинная сингония). Предполагаемая аналогия между соединениями  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  и  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  подтверждена не была [4]. Так, моноалюминат стронция по структуре аналогичен моноалюминату бария и имеет гексагональную структуру, тогда как моноалюминат кальция имеет моноклинную либо ромбическую структуру в зависимости от условий синтеза. Соединение  $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ , не имеющее аналога в кальциевой системе, имеет две модификации: высокотемпературную  $\alpha\text{-Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ , устойчивую в области температур 1 320–1 690 °С, и низкотемпературную  $\beta\text{-Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ , устойчивую в области температур 1 125–1 320 °С. Низкотемпературная модификация  $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$  образует твердые растворы с глиноземом (или  $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ) [2].

Соединение  $\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$  плавится инконгруэнтно при температуре 1 880 °С с разложением на  $\text{SrO}$  и жидкость, обогащенную  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Соединения  $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  и  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  плавятся конгруэнтно при 1 820 и 2 015 °С соответственно. Соединения  $\text{SrAl}_4\text{O}_7$  и  $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$  плавятся инконгруэнтно при 1 830 и 1 960 °С соответственно [2, 5, 6].

В системе  $\text{SrO-Cr}_2\text{O}_3$  существует соединение  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$ . Тем не менее, до сих пор процесс его образования и свойства не изучены. Одной из причин этого является довольно интенсивное окисление оксида хрома до хромового ангидрида в присутствии  $\text{SrO}$ , вследствие чего синтез  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  в атмосфере воздуха затруднен, а продукт реакции содержит некоторое количество шестивалентного хрома [6]. Однако авторами [7] установлено, что кристаллы  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  принадлежат к псевдогексагональной симметрии с параметрами кристаллической решетки:  $a = 11,643 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,881 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,115 \text{ \AA}$ ; при этом его кристаллическая структура состоит из тетраэдрических слоев с центральным атомом хрома и атомами кислорода в его вершинах, разделенных атомами стронция. Плотность  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  составляет 4 850 кг/м<sup>3</sup>. Соединение  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  синтезируется в стехиометрической смеси чистых оксидов при температурах свыше 2 000 °С. В работе [7] указывается на наличие магнитоструктурной связи умеренной степени в кристаллах  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  при изменении структурной плоскости треугольной решетки  $\text{Cr}^{3+}$  во время сдвига ее к октаэдрам  $\text{Cr}^{6+}$ , при этом наблюдается орторомбическое искажение гексагональной симметрии.

Приведенные данные о существующих бинарных соединениях и отсутствие данных о трехкомпонентных соединениях позволяют перейти к триангуляции трехкомпонентной системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  в области субсолидуса.

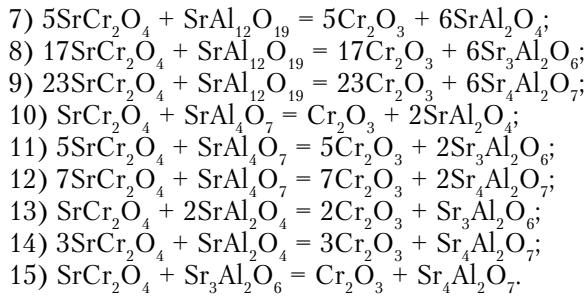
Для проведения расчетов по установлению субсолидусного строения системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  были использованы термодинамические данные, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1** – Термодинамические константы соединений системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$

Соединение	$-\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К	$C_p = a + b \cdot T + c \cdot T^{-2}$ , Дж/моль·К			Интервал температур, К	Источник
			a	$b \cdot 10^3$	$-c \cdot 10^{-5}$		
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	1 675,61	50,92	114,77	12,08	35,44	298–1 800	[1]
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	1 128,43	81,17	119,37	9,21	15,65	298–1 800	[8]
$\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$	11 289,09	360,26	755,04	57,51	291,50	298–2 233	[9, 10]
$\text{SrAl}_4\text{O}_7$	3 911,31	156,23	273,40	30,45	82,82	298–2 103	[9, 10]
$\text{SrAl}_2\text{O}_4$	2 326,72	106,69	154,6	22,47	35,10	298–2 288	[1, 2, 9]
$\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	3 546,78	217,56	237,44	41,09	31,34	298–2 093	[2, 9, 10]
$\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$	4 119,57	271,96	253,72	96,34	–	298–1 593	[2, 9]
			398,15	11,02		1 593–2 153	[2, 9]
$\text{SrCr}_2\text{O}_4$	1 804,73	131,85	147,35	40,25	25,68	298–2 273	[11]

Термодинамический анализ субсолидусного строения изучаемой трехкомпонентной системы проводился путем сопоставления величины свободной энергии Гиббса в интервале температур 800–2 000 К по методике, представленной в [1], для следующих модельных реакций обмена:

- 1)  $\text{SrCr}_2\text{O}_4 + 6\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ ;
- 2)  $\text{SrCr}_2\text{O}_4 + 2\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{SrAl}_4\text{O}_7$ ;
- 3)  $\text{SrCr}_2\text{O}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{SrAl}_2\text{O}_4$ ;
- 4)  $3\text{SrCr}_2\text{O}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 3\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ;
- 5)  $4\text{SrCr}_2\text{O}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 4\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ ;
- 6)  $2\text{SrCr}_2\text{O}_4 + \text{SrAl}_{12}\text{O}_{19} = 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{SrAl}_4\text{O}_7$ ;



Результаты расчета представлены в таблице 2.

**Таблица 2** – Результаты расчета величины свободной энергии Гиббса модельных реакций системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$

№ реакции	Величина свободной энергии Гиббса, Дж/моль, при температуре, К						
	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000
1	-579,8	-590,5	-601,1	-611,3	-620,9	-629,7	-637,6
2	111,3	110,1	108,9	108,2	108,1	108,6	109,7
3	22,3	22,1	22,3	23,1	24,3	26,1	28,4
4	149,1	148,7	149,6	151,7	155,4	160,7	167,8
5	226,4	207,6	187,2	166,2	145,4	125,4	106,7
6	914,2	920,3	927,8	936,0	945,3	955,4	966,6
7	712,8	722,7	735,1	749,8	766,8	786,3	808,2
8	1 474,2	1 482,9	1 498,5	1 521,8	1 553,5	1 594,2	1 644,2
9	1 938,5	1836,0	1 724,1	1 608,5	1 493,4	1 382,3	1 277,7
10	-67,2	-65,9	-64,2	-62,1	-59,5	-56,4	-52,8
11	186,7	187,5	190,2	195,3	202,7	212,9	225,9
12	341,4	305,2	265,4	224,1	182,7	142,3	109,7
13	126,9	126,7	127,2	128,7	131,1	134,6	139,3
14	204,3	185,5	164,8	143,1	121,1	99,3	78,3
15	77,4	58,8	37,6	14,4	-10,0	-35,3	-61,1

Анализ результатов расчета величины свободной энергии Гиббса для блока реакций (1)–(5) указывает на термодинамическую стабильность комбинации фаз  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SrAl}_{12}\text{O}_{19}$  по реакции (1) по сравнению с менее термодинамически стабильной комбинацией хромита стронция с корундом по реакциям (2)–(5).

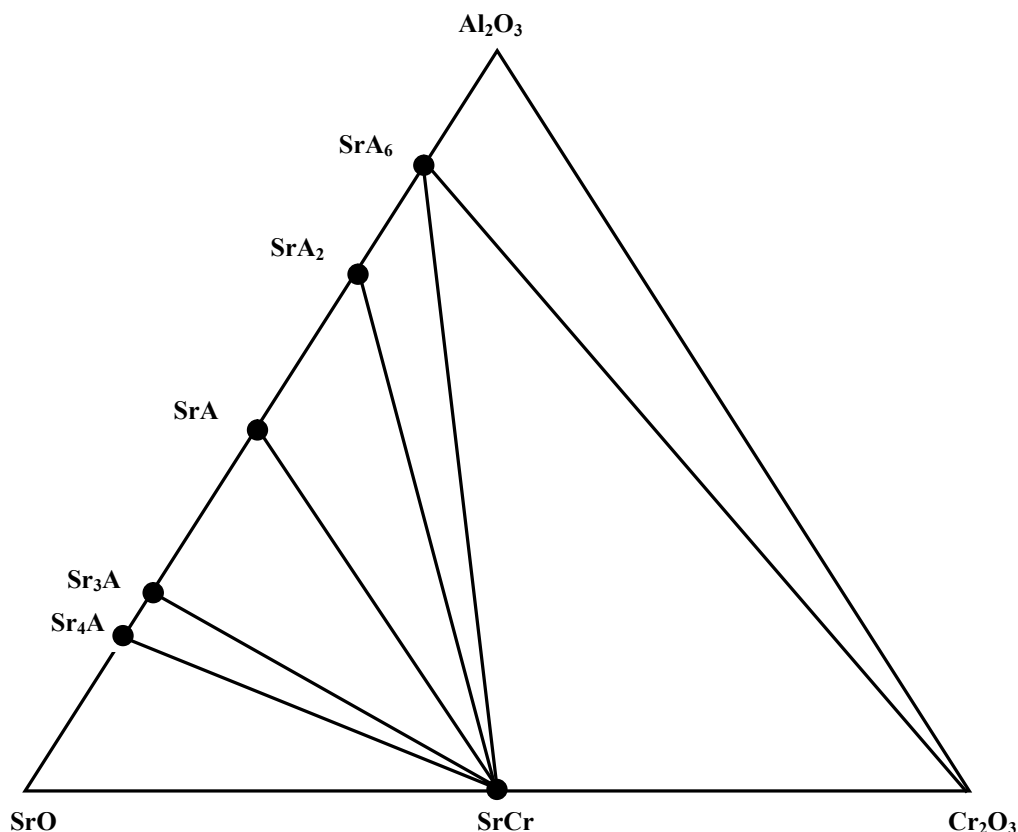
Анализ результатов расчета величины свободной энергии Гиббса для блока реакций (6)–(9) также однозначно замыкает конноду  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_{12}\text{O}_{19}$ .

По результатам анализа результатов расчета величины свободной энергии Гиббса для блока реакций (10)–(12) сосуществующими являются фазы  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  и  $\text{SrAl}_4\text{O}_7$  (по реакциям (11) и (12)) по сравнению с комбинацией фаз  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SrAl}_2\text{O}_4$  по реакции (10), для которой изменение свободной энергии Гиббса хоть и является отрицательным, однако модульное ее значение является более высоким по сравнению с данными для реакций (11) и (12) и имеет тенденцию к увеличению в сторону положительных значений.

Блок реакций (13) и (14) является определяющим по отношению к сосуществованию фаз  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  и  $\text{SrAl}_4\text{O}_7$ , что отвечает наличию данной конноды в субсолидусном строении трехкомпонентной системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ .

Реакция (15) является неоднозначной, поскольку она обратима при температуре 1 535 К. Согласно данным расчетов до приведенной температуры стабильной является комбинация фаз  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ , а свыше – комбинация  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$ . Однако сопоставление полученных данных с результатами расчетов по реакциям (5), (9), (12) и (14) показало, что комбинация фаз  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$  является термодинамически невозможной во всем исследуемом интервале температур. Кроме того, замыкание конноды  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4$  в концентрационном треугольнике  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  приводит к безальтернативному существованию коннод  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  и  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$  из геометро-топологических принципов в псевдосечении  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_4\text{O}_7\text{-SrO}$ .

Приведенные термодинамические исследования позволяют произвести триангуляцию трехкомпонентной системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ , субсолидусное строение которой приведено на рисунке.



**Рисунок** – Строение трехкомпонентной системы  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}_2\text{O}_3$  в области субсолидуса.

Правильность разбиения системы подтверждается выполнением правила Курнакова [8]:

$$X_3 = 1 + \Sigma C_2 + 2 \cdot \Sigma C_3$$

$$7 = 1 + 6 + 2 \cdot 0,$$

где  $\Sigma C_2$  – суммарное число бинарных соединений в рассматриваемой системе,  
а  $\Sigma C_3$  – суммарное число трехкомпонентных соединений.

Вследствие отсутствия в системе  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}_2\text{O}_3$  тройных соединений топологический граф взаимосвязи элементарных треугольников вырождается в прямую линию.

Наличие в системе коннод, соединяющих гидравлически активные алюминаты стронция с хромом стронция, имеющим высокую температуру плавления, позволяет предположить вероятность синтеза на основе соединений области  $\text{SrCr}_2\text{O}_4-\text{SrAl}_4\text{O}_7-\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  огнеупорных коррозионностойких вяжущих материалов с комплексом заданных эксплуатационных характеристик. Для подтверждения данного вывода был проведен геометро-топологический анализ системы  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Результаты расчетов площадей элементарных треугольников системы  $\text{SrO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Cr}_2\text{O}_3$ , а также степеней их асимметрии приведены в таблице 3.

Как видно из приведенных результатов расчета, наибольшие площади существования имеют треугольники, содержащие в своем составе один из оксидов системы. В выбранной оптимальной области наибольшую площадь имеет треугольник  $\text{SrCr}_2\text{O}_4-\text{SrAl}_2\text{O}_4-\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  (148,1 %). По имеющимся литературным данным комбинация фаз  $\text{SrAl}_2\text{O}_4-\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  имеет весьма значительную механическую прочность, почти вдвое большую, чем прочность отдельно взятых соединений  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  и  $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ , что обусловлено явлением синергетического воздействия [12].

При анализе степени асимметрии треугольников установлено, что выбранный оптимальный треугольник отличается наименьшей степенью асимметрии в системе, что позволяет свободно дозировать исходные сырьевые компоненты.

Результаты геометро-топологического анализа фаз представлены в таблице 4.

**Таблица 3** – Характеристика элементарных треугольников системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 

№ п/п	Элементарный треугольник	Площадь, %	Степень асимметрии
1	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-SrAl}_{12}\text{O}_{19}$	144,8	6,91
2	$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SrAl}_{12}\text{O}_{19}\text{-SrCr}_2\text{O}_4$	346,7	2,31
3	$\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}\text{-SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_4\text{O}_7$	114,2	3,95
4	$\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_4\text{O}_7\text{-SrAl}_2\text{O}_4$	99,3	3,78
5	$\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	148,1	2,22
6	$\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6\text{-Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$	29,5	10,58
7	$\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7\text{-SrO}$	117,4	3,01
Сумма	–	1 000,0	–
Max	–	346,7	10,58
Min	–	29,5	2,22

**Таблица 4** – Геометро-топологическая характеристика фаз системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 

Соединение	Со сколькими фазами сосуществует	В скольких треугольниках существует	Площадь существования, $S_i$ , %	Вероятность существования, $\omega$ , %
SrO	2	1	117,4	39,1
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2	1	144,8	48,3
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	3	2	491,5	163,8
$\text{SrCr}_2\text{O}_4$	7	6	855,2	285,0
$\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$	4	3	605,7	201,9
$\text{SrAl}_4\text{O}_7$	3	2	213,5	71,2
$\text{SrAl}_2\text{O}_4$	3	2	247,4	82,5
$\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	3	2	177,6	59,2
$\text{Sr}_4\text{Al}_2\text{O}_7$	3	2	146,9	49,0
Сумма	–	–	3 000,0	1 000,0
Max	7	6	855,2	285,0
Min	2	1	117,4	39,1

Из полученных результатов следует, что для получения огнеупорных материалов с температурами эксплуатации свыше  $1\,650\text{ }^\circ\text{C}$  необходимо корректировать задаваемый фазовый состав материала в сторону увеличения содержания фаз  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  и  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ .

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшей вероятностью существования в системе  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  обладают фазы  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , входящие в состав треугольника с максимальной площадью. Выбранные треугольники оптимальной области содержат алюминаты стронция с незначительной вероятностью существования. Таким образом, при разработке составов цементов на основе соединений сечения  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  системы  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  необходимо добиваться максимально возможного содержания  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  в составе вяжущего материала, поскольку его наличие будет обеспечивать сосуществование гидравлически активных алюминатов стронция.

Для установления максимально возможной температуры эксплуатации материалов, разрабатываемых на основе композиций выбранного оптимального треугольника, были рассчитаны температуры и составы эвтектик бинарных и тройного сечения  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  по методике [13]. Результаты расчетов представлены в таблице 5.

**Таблица 5** – Характеристики эвтектических точек сечения  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ 

№ п/п	Сечение	$T_{\text{эвт}},\text{ }^\circ\text{C}$	Состав эвтектики, мол. %		
			$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	$\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4$	1 802	51,0	49,0	–
2	$\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	1 730	39,0	61,0	–
3	$\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	1 665	29,9	28,1	42,0

Таким образом, в результате комплекса проведенных расчетов установлено, что в трехкомпонентной оксидной системе  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  оптимальным по термодинамическим и геометро-топологическим характеристикам с точки зрения получения огнеупорных вяжущих материалов является тройное псевдосечение  $\text{SrCr}_2\text{O}_4\text{-SrAl}_2\text{O}_4\text{-Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ , содержащее фазы, обладающие гидравлической

активностью ( $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  и  $\text{Sr}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ), огнеупорностью и коррозионной устойчивостью ( $\text{SrCr}_2\text{O}_4$ ). Значительная площадь существования данного треугольника в системе и высокие значения вероятностей существования фаз, входящих в состав треугольника, позволяют предполагать, что на основании его композиций возможно получение вяжущих материалов специального назначения с комплексом стабильных эксплуатационных характеристик.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкин, В. И. Термодинамика силикатов [Текст] / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян. – М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.
2. Диаграммы состояния силикатных систем [Текст] : Справочник. Вып. 1. Двойные системы / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин, Н. М. Курцева. – Л. : Наука, 1969. – 822 с.
3. Thermodynamic Description of  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3$  System and Comparison with Similar Systems [Текст] / Y. Xinyu, Zh. Weidong, W. Jingfang [et al.] // J. Phase Eq. and Diff. – 2007. – V. 28, № 4. – P. 362–368.
4. Glasser, F. P. Crystal Chemistry of Some  $\text{AB}_2\text{O}_4$  Compounds [Текст] / F. P. Glasser, L. S. Dent Glasser // J. Amer. Ceram. Soc. – 1963. – V. 46, I. 8. – P. 377–380.
5. Журавлев, В. Ф. Химия вяжущих веществ [Текст] / В. Ф. Журавлев. – Л.-М. : Госхимиздат, 1951. – 207 с.
6. Будников, П. П. Реакции в смесях твердых веществ [Текст] / П. П. Будников, А. М. Гинстлинг. – М. : Стройиздат, 1971. – 487 с.
7. Von, H. Pausch Ein neuer Bautyp zur Formel  $\text{Me}^{2+}\text{M}^{23+}\text{O}_4$ . Die Kristallsfruktur von  $\text{SrCr}_2\text{O}_4$  [Текст] / Von H. Pausch, Hk. Müller-Buschbaum // Z. anorg. Allg. Chemie. – 1974. – Bd. 405, Heft 1. – S. 1–7.
8. Бережной, А. С. Многокомпонентные системы окислов [Текст] / А. С. Бережной. – К. : Наукова думка, 1970. – 544 с.
9. Корогодская, А. Н. Термодинамическая база данных огнеупорных алюминатов стронция [Текст] / А. Н. Корогодская, Г. Н. Шабанова // Збірник наукових праць ПАТ «УкрНДІВогнетривів ім. А. С. Бережного». – 2012. – № 112. – С. 208–213.
10. Термические константы веществ [Текст] : Справочник. В 9-ти томах. Т. 9 / В. П. Глушко, В. А. Медведева, Г. Н. Бергман и др. ; под ред. В. П. Глушко. – М. : Изд-во АН СССР, 1979. – 574 с.
11. Термодинамическая база данных соединений типа  $\text{RO-Cr}_2\text{O}_3$  ( $\text{R-Mg, Ca, Sr, Ba}$ ) [Текст] / А. Н. Корогодская, Г. Н. Шабанова, З. И. Ткачева и др. // Збірник наукових праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів імені А. С. Бережного». – 2007. – № 107. – С. 147–155.
12. Журавлев, В. Ф. Химия вяжущих веществ [Текст] / В. Ф. Журавлев. – Л.-М. : Госхимиздат, 1951. – 207 с.
13. Epstein, L. F. Binary mixture of  $\text{UO}_2$  on other oxiden [Text] / L. F. Epstein, W. H. Howland // J. Amer. Ceram. Soc. – 1953. – V. 36, № 10. – P. 334–335.

Получено 17.05.2013

А. М. КОРОГОДСЬКА, Г. М. ШАБАНОВА  
 БУДОВА СИСТЕМИ  $\text{SRO-AL}_2\text{O}_3\text{-CR}_2\text{O}_3$  У ЗОНІ СУБСОЛІДУСА  
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

У статті наведені результати термодинамічних та геометро-топологічних розрахунків, що дозволили встановити у трикомпонентній системі  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  стабільні пари співіснуючих фаз та розбити систему на елементарні політопи. На основі проведених розрахунків обґрунтовано вибір зони системи, оптимальної з точки зору отримання вогнетривких корозійностійких в'язучих матеріалів.

**трикомпонентна система, алюмінати стронцію, хроміт стронцію, співіснуючі фази, геометро-топологічні характеристики, субсолидусна будова, вогнетривкість**

ALLA KOROHODSKAYA, GALINA SHABANOVA  
 THE STRUCTURE OF  $\text{SRO-AL}_2\text{O}_3\text{-CR}_2\text{O}_3$  SYSTEM IN SUB SOLIDUS AREA  
 National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»

The results of thermodynamic and geometro-topological calculations, thus establishing a ternary system  $\text{SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$  stable pair of coexisting phases and break the system into elementary polytopes are presented. On the basis of the calculations justify the choice of the system, the optimum from the point of view of obtaining refractory corrosion resistant binding materials has been proved.

**three-component system, strontium aluminate, strontium chromite, coexisting phases, geometro-topological characteristics, sub solidus structure, fire resistance**

**Корогодська Алла Миколаївна** – кандидат технічних наук, докторант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Наукові інтереси: дослідження багатокомпонентних оксидних систем для отримання спеціальних в'язучих матеріалів поліфункціонального призначення з комплексом заданих експлуатаційних характеристик.

**Шабанова Галина Миколаївна** – доктор технічних наук, професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Професор зі спеціальності 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів. Наукові інтереси: створення поліфункціональних в'язучих матеріалів спеціального призначення: радіаційностійких, вогнетривких, корозійностійких, тампонажних.

**Корогодская Алла Николаевна** – кандидат технических наук, докторант кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Научные интересы: исследование многокомпонентных оксидных систем для получения специальных вязущих материалов полифункционального назначения с комплексом заданных эксплуатационных характеристик.

**Шабанова Галина Николаевна** – доктор технических наук, профессор кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Профессор по специальности 05.17.11 – технология тугоплавких неметаллических материалов. Научные интересы: создание полифункциональных вязущих материалов специального назначения: радиационностойких огнеупорных, коррозионностойких, тампонажных.

**Korohodskaya Alla** – candidate of engineering science, doctoral student, Ceramics, Refractories, Glass and Enamels Technology Department, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute». Scientific interests: a study of multi-component oxide systems for special-purpose multi-functional binders with a complex of performance characteristics.

**Shabanova Galina** – doctor of engineering sciences, professor, Ceramics, Refractories, Glass and Enamels Technology Department, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute». Professor in the specialty 05.17.11 – technology of refractory non-metallic materials. Scientific interests: development of multifunctional binding materials for special applications: radiation-resistant, refractory, corrosion-resistant, oil-well tamping.