

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

Volume 2, Number 422 (2017), 51 – 56

A.N. Zhakupova, A.K. Sviderskiy,
Y. Yevseyeva, A.K. Seitkhanova, M.Z. Muldakhmetov

Innovative University of Eurasia, Pavlodar, Kazakhstan
e-mail: ainura_khn@mail.ru, katsostyd@rambler.ru

MAGNETOELECTRICITY WEAR RESISTANT REFRACTORY FOR LINING THERMAL UNITS

Annotation. Refractory materials for lining thermal units are studied. Created magnesia-silicate refractory to the implementation of the interim repairs of the lining of the sintering zone of the rotary kilns of the cement industry. The basic components of the refractory magnesia-silicate was sintered dunite with content, wt. %: MgO 48,8; Fe₂O₃ 10,2; SiO₂ 39,9; sintered periclase powder containing, wt. %: MgO 92,2; CaO 2,6; SiO₂ 3,3; Fe₂O₃ 1,9; chrome-aluminum-iron concentrate containing, wt. %: Cr₂O₃ 36,4; Al₂O₃ 19,6; Fe₂O₃ + FeO 19,1; MgO 14,2; SiO₂ 6,8; CaO 2,2. Synthesis of magnesian chrome-alumina ferrous spineleted occurs in the firing process. Clinker-resistance and durability magnesia-silicate refractories determined by the results of industrial tests in the lining of the sintering zone of rotary cement kiln. Offered refractory is more resistant under operating conditions, provides a reasonable service lining taking into account the interim maintenance and has high durability.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, cement industry, lining of the sintering zone, durability

УДК 621.3.036.53

А.Н. Жакупова, А.К. Свидерский,
Е.Ю. Евсеева, А.К. Сейтханова, М.З. Мулдахметов

Инновационный Евразийский университет, Павлодар, Казахстан

ИЗНОСОУСТОЙЧИВЫЙ МАГНЕЗИАЛЬНОСИЛИКАТНЫЙ ОГНЕУПОР ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. В статье изучены огнеупорные материалы, предназначенные для футеровки тепловых агрегатов. Создан магнезиально-силикатный огнеупор для осуществления промежуточных ремонтов футеровки зоны спекания вращающихся печей цементной промышленности. Исходными компонентами магнезиальносиликатного огнеупора явились спеченный дунит с содержанием, мас. %: MgO 48,8; Fe₂O₃ 10,2; SiO₂ 39,9; спеченный периклазовый порошок с содержанием, мас. %: MgO 92,2; CaO 2,6; SiO₂ 3,3; Fe₂O₃ 1,9; хром алюможелезистый концентрат с содержанием, мас. %: Cr₂O₃ 36,4; Al₂O₃ 19,6; Fe₂O₃ + FeO 19,1; MgO 14,2; SiO₂ 6,8; CaO 2,2. Синтез магнезиально хром-алюможелезистого шпинелида происходит в процессе обжига. Клинкero-устойчивость и износостойчивость магнезиальносиликатных огнеупоров определены по результатам промышленных испытаний в футеровке зоны спекания вращающейся цементной печи. Предложенный огнеупорный материал является более устойчивым в условиях эксплуатации, обеспечивает рациональную службу футеровки с учетом промежуточных ремонтов и обладает высокой износостойкостью.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, цементная промышленность, футеровка зоны спекания, износостойчивость.

Введение. При производстве металлов, химических и нефтехимических продуктов и других материалов широко применяют различные тепловые агрегаты, которые работают при высоких температурах, используя огнеупорные, жаростойкие и теплоизоляционные материалы [1,2]. Строгое соблюдение технологической инструкции по кладке футеровок, тщательное изготовление

кладки, учет особенностей службы футеровок различных тепловых агрегатов является определяющим фактором их высокой износоустойчивости. Особо важное значение эти факторы приобретают для футеровок, работающих под металлом в сталеплавильных печах и сталеразливочных ковшах.

Изучение процессов горения в физической химии занимает особое место. Возможность быстрого достижения высокотемпературного состояния вещества, сопровождающееся разнообразными физико-химическими, фазовыми и структурными превращениями в волне горения, сделали горение не только объектом, но и одним из самых изящных методов физико-химических исследований. Для синтеза тугоплавких неорганических соединений впервые академиком РАН А.Г. Мержановым был применен метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [3-7]. За последующие годы круг продуктов СВС расширился настолько, что их количество сейчас не поддается точному подсчету. Известно только то, что счет идет на сотни. Поэтому в современном понимании СВС – это процесс горения любой химической природы, приводящий к образованию очень ценных в практическом отношении твердых материалов. Среда, способная реагировать в режиме СВС, может быть твердой, жидкой, газообразной или смешанной. Самое главное, чтобы остывший продукт горения представлял собой твердое вещество с полезными эксплуатационными свойствами.

Скорость и температура реакции СВС зависит от следующих физико-химических параметров:

- термодинамические параметры (теплота образования конечных продуктов синтеза, теплоемкости продуктов реакции, начальная температура процесса, состав исходной смеси);
- физические параметры (теплопроводность исходной смеси, плотность образца, внешнее давление газа, форма и размер частиц порошков, полидисперсность порошков, дефектность структуры частиц компонентов, наличие внешних воздействий);
- технологические параметры (равномерность перемешивания компонентов смеси, степень активации порошков);
- химические параметры (степень увлажненности порошков, концентрация в них адсорбированных примесей и растворенных газов).

В реальных технологиях СВС, оперируя этими параметрами, можно достигнуть желаемого результата, получив конечный продукт с прогнозируемыми свойствами за оптимальный период времени.

Рассмотрим преимущества метода СВС [3-5]:

1) низкое энергопотребление. Энергия здесь не потребляется извне, а наоборот выделяется внутри.

2) для метода СВС характерно простое и малогабаритное оборудование. Для реализации процесса СВС нет необходимости в длительном высокотемпературном внешнем нагреве, в громоздких печах с системами нагрева, теплозащиты и терморегуляции.

3) методу СВС присуща высокая производительность. В результате саморазогрева при горении достигаются очень высокие температуры, значительно превышающие температуры нагрева в процессах порошковой металлургии, поэтому скорость реакции синтеза значительно выше. Длительность синтеза занимает в реакторе СВС времена от нескольких секунд до нескольких минут, в то время как при печном синтезе эти времена составляют от нескольких десятков минут до нескольких часов.

4) метод СВС отличается высокой чистотой продуктов и экологической безопасностью. Это также связано с очень высокими температурами синтеза по сравнению с печным синтезом. При таких высоких температурах вредные примеси разлагаются и испаряются из продукта, обеспечивая его повышенную чистоту и экологическую безопасность процесса СВС.

5) метод СВС дает широкую гамму материалов: порошки, пористые материалы, беспористые компактные, литые, композиционные, наплавки и покрытия.

6) продукты СВС находят практическое применение во многих отраслях промышленности – в машиностроении (абразивы, твердые сплавы, инструментальные материалы); металлургии (огнеупоры, ферросплавы); электротехнике и электронике, медицине и др.

Недостатком СВС является требование высокой экзотермичности реакции взаимодействия исходных реагентов, чтобы реакция синтеза продуктов прошла в виде явления горения. Однако

достоинства процесса СВС значительно перевешивают его недостатки, и этот новый перспективный процесс привлекает большое внимание, как ученых, так и производителей [4-6]. Таким образом, выполненные за последние десятилетия исследования и технологические разработки учеными в области СВС заложили основы перспективных научно-технических предпосылок для детального изучения и разработки новых составов огнеупорных материалов, сочетающих в себе высокие эксплуатационные свойства и высокую экологическую чистоту конечных продуктов.

В цементной промышленности для футеровки зоны спекания широко применяются периклазошпинельные и периклазошпинелидные огнеупоры, которые являются устойчивыми к цементному клинкеру [8-10]. Однако при эксплуатации износ футеровки по длине зоны неравномерен, что обуславливает необходимость проведения промежуточного ремонта на отдельных участках футеровки. Промежуточный ремонт осуществляется обычно по истечении 40-60% общего срока кампании печи. При этом заменяется от 20 до 50% от начального объема футеровки. Ресурс службы новых участков, выполненных из высокостойких периклазошпинельных и периклазошпинелидных огнеупоров, используется наполовину, так как в дальнейшем вся футеровка выламывается, включая не до конца изношенную. В связи с этим применение для промежуточных ремонтов дорогостоящие высокостойкие огнеупоры крайне неэффективно.

Магнезиальносиликатный огнеупор, изготовленный из шихты, содержащей спеченный периклазовый порошок (15-20%), хромшпинелид (10-20%), обожженный дунит, имеет термостойкость в режиме 1300°C и используется в насадках регенераторов мартеновских печей, однако химическая устойчивость не позволяет применять его в футеровках вращающихся цементных печей [9-11]. Эти огнеупоры так же содержат в своем составе оксид магния MgO, но он входит в состав минерала форстерита $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, который и служит огнеупорной основой для них. Сырьем для производства форстеритовых огнеупоров служат оливины, сергентины, дуниты, тальк и др. магнезиально-силикатные породы. Кроме форстерита эти породы (минералы) содержат различные примеси (CaO, Al_2O_3 , Cr_2O_3 , FeO, Fe_2O_3 и др.) [12-14]. Поэтому при составлении шихты в нее вводят периклазовый порошок в необходимых количествах. В общем случае, чем выше содержание MgO в шихте, тем выше качество изделий. В зависимости от качества исходного сырья количество вводимого в шихту периклаза изменяется от 10-15 до 40-50 %. Если используется магнезит в виде периклаза, сырец подвергают спеканию при температуре 1600-1700°C. Такие изделия обладают достаточно высокой огнеупорностью – 1850-1900°C, выдерживают 1-2 водяные теплосмены и хорошо противостоят воздействию железистых шламов [15-18].

Магнезиальносиликатный огнеупор, состоящий из форстерита (39-58%), магнезиальнохром-алюможелезистого шпинелида (30-40%), периклаза (10-15%) и клиноэнстатита (2-6%), обладает повышенной устойчивостью к медеплавильным шлакам и высокой термостойкостью, но его применение в футеровке зоны спекания вращающихся печей ограничено из-за низкой клинкероустойчивости.

Определено, что разрушение огнеупора при взаимодействии с реагентами цементного клинкера происходит по мелкокристаллической межзеренной составляющей, которая в данном огнеупоре представлена реакционноспособными по отношению к клинкерным минералам магнезиальнохром-алюможелезистым шпинелидом и клиноэнстатитом при пониженном содержании периклаза. Это предопределяет низкую стойкость известного огнеупора в данных условиях эксплуатации, в связи с чем будет сокращена длительность кампании печи из-за опережающего износа отремонтированных участков [16-19].

Целью данной работы является создание магнезиальносиликатного огнеупора, предназначенного для промежуточных ремонтов зоны спекания вращающихся цементных печей, обеспечивающего равностойкость участков оставшейся футеровки с отремонтированными участками и рациональную службу футеровки тепловых агрегатов.

Методы исследования. Методы исследования по синтезу магнезиальносиликатных огнеупорных композиций описаны в [2,9]. Исходные компоненты магнезиальносиликатного огнеупора, включающего спеченный дунит с содержанием, мас. %: MgO 48,8; Fe_2O_3 10,2; SiO_2 39,9; спеченный периклазовый порошок с содержанием, мас. %: MgO 92,2; CaO 2,6; SiO_2 3,3; Fe_2O_3 1,9; хромалюможелезистый концентрат с содержанием, мас. %: Cr_2O_3 36,4; Al_2O_3 19,6; Fe_2O_3 + FeO 19,1; MgO 14,2; SiO_2 6,8; CaO 2,2, смешивали в соотношениях, указанных в таблице. Полученную смесь

увлажняли раствором лигносульфоната (плотность 1,22 г/см³) в количестве 5-6 мас.%. Из полученной шихты под давлением 100 Н/мм² прессовали изделия и сушили до остаточной влажности менее 1%.

Результаты исследования. Важнейшей и завершающей стадией производства огнеупорных изделий, при которой происходит формирование качественных характеристик и эксплуатационных свойств, является обжиг [18-20]. В процессе обжига происходит синтез магнезиально-хромалооможелезистого шпинелида. Клинкероустойчивость и износоустойчивость магнезиально-силикатных огнеупоров определяли по результатам промышленных испытаний в футеровке зоны спекания вращающейся цементной печи диаметром 5 и длиной 185 м. Футеровка толщиной 230 мм была выполнена из периклазохромитовых огнеупоров. Состав портландцементного клинкера, мас. %: СаО 66,30; SiO₂ 22,45; Al₂O₃ 4,70; Fe₂O₃ 4,40; R₂O 0,75; MgO 0,80; SO₃ 0,70. После 117 суток эксплуатации печь была остановлена для промежуточного ремонта. После осмотра футеровки установлено, что остаточная толщина периклазохромитовых огнеупоров составляла в среднем 134-175 мм, однако имелся участок протяженностью 12 м с остаточной толщиной 40-70 мм. Указанный участок был полностью заменен магнезиальносиликатными огнеупорами, при этом 1/2 участка по оси печи зафутеровали огнеупорами предложенного состава (составы 1-3), а другую половину - известным магнезиальносиликатным огнеупором (таблица, состав 4).

Таблица - Составы шихт для изготовления магнезиальносиликатных огнеупоров

Компоненты	Содержание, мас.%			
	Примеры выполнения			
	Предлагаемый			Известный
	1	2	3	
Спеченный дунит, фракции 3-0 мм	60	60	55	50
Хромалооможелезистый концентрат, фракции 4-0,5 мм	18	15	12	18
Спеченный периклазовый порошок, фракции менее 0,063 мм	22	25	30	-
Периклазошпинелидный клинкер, фракции менее 0,063 мм	-	-	-	28
Кварцит, фракции менее 0,063 мм	-	-	-	4

После 248 суток эксплуатации печь была остановлена вследствие появления прогаров в участках футеровки, соответствующей составу 4. Остаточная толщина футеровки по окончании кампании печи составила для: периклазохромитовых огнеупоров 75-83 мм; предлагаемых огнеупоров составы 1, 2, 3 соответственно - 100-106; 92-98 и 80-86 мм; известного огнеупора - 22-43 мм (рыхлая структура, аварийное состояние). Проведенные технологические мероприятия привели к снижению химической агрессивности шлака по отношению к футеровке и, как следствие, к достижению максимальной стойкости. Отсюда следует, что предлагаемые магнезиальносиликатные огнеупоры более устойчивы в футеровке зоны спекания, чем известный огнеупор (эталон сравнения) (состав 4).

Выводы. Сопоставление остаточных толщин участков, отремонтированных огнеупорными изделиями составов 1-3 показывает, что данные участки характеризуются равностойкостью, а предлагаемый магнезиальносиликатный огнеупор обеспечивает рациональную службу футеровки с учетом промежуточных ремонтов. Согласно анализа экспериментальных данных, магнезиально-силикатные огнеупоры предложенного состава могут быть рекомендованы для промежуточных ремонтов футеровок зон спекания вращающихся цементных печей, что позволит снизить стоимость ремонтов без сокращения срока эксплуатации футеровки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сатбаев Б.Н., Нухулы А., Сви́дерский А.К., Нуркенов О.А. Огнеупорные СВС-материалы и их применение в металлургии, Павлодар: ЭКО, 2008, 275 с.
- [2] Нухулы А., Сатбаев Б.Н., Нуркенов О.А., Сви́дерский А.К. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез новых огнеупорных материалов, Павлодар: ПГПИ, 2007, 207с.
- [3] Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: о прошлом, настоящем и будущем, Цветная металлургия, 2006, № 5, С. 4-8.

- [4] Мержанов А.Г., Хайкин Б.И. О горении вещества с твердыми реакционным слоем, Доклады АН СССР, 1967, Т. 173, № 6, С.1382–1385.
- [5] Бойко В.И., Демянюк Д.Г., Долматов О.Ю., Шаманин И.В., Исаченко Д.С. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез поглощающих материалов для ядерных энергетических установок, Известия Томского политехнического университета, 2005, Т. 308, № 4, С.78–81.
- [6] Левашов Е.А., Рогачев А.С., Юхвид В.И., Боровинская И.П. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, М.: Изд-во «БИНОМ», 1999, 176 с.
- [7] Рябов А.И., Примаченко В.В., Мартыненко В.В., Питак Н.В. Состояние и основные задачи по созданию современных огнеупоров для металлургической промышленности. // Металлург. и горнорудн. промышленность. 1998. №2. С.69-71.
- [8] Сутула И.Г. Смешанные магниезильные вяжущие из низкообжигового брусита и материалы на их основе: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Барнаул, 2008, 98 с.
- [9] Свидерский А.К., Садвокасова М.К. Отқа төзімді материалдардың өздігінен таралатын жоғары температуралық синтездің фазалық тепе-теңдігін зерттеу үшін шихтаны дайындау // Вестник Инновационного Евразийского университета, 2009, № 1, С. 184-188.
- [10] Свидерский А.К., Эпчанова З.Р. Физико-химические исследования СВС систем шамот - аллюминий, муллитокорунд-аллюминий, Вестник Инновационного Евразийского университета, 2009, № 1, С. 188-192.
- [11] Бондаренко И.А., Турьгин А.К., Артамошин А.Л., Венгура А.В., Феклистов А.В., Данилов Д.В. Повышение стойкости футеровки тепловых агрегатов при использовании о магниезильно-известкового флюса в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», Литье и металлургия. 2013, №2(70), С.78-80.
- [12] Магнезиальные огнеупоры: Справ. изд. / Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В.А. Коконев, М.: Интермет Инжиниринг, 2001.
- [13] Купеерман Ю.Е., Вислогузова Е.А., Шевцов А.Л. и др. Магнезиально-силикатные огнеупоры на основе дунитового агломерата, Огнеупоры, 1983, № 3, с.50-53.
- [14] Выдрин С.А., Андросенко В.Г., Вислогузова Э.А. и др. Производство безобжиговых форстеритовых стаканов и их служба при разливке стали с применением пиберных затворов, Огнеупоры, 1981, № 12, С.5-6.
- [15] Джавахишвили Н.Г. Процессы получения и службы форстеритовых огнеупоров на основе Кавказского магниезильно-силикатного сырья: автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Тбилиси: 1971, 23с.
- [16] Андрианов Н.Т., Стрельникова С.С., Дягилец С.М., Федорова С.Ю. Влияние исходных компонентов на синтез форстерита, полученного зольгель методом, Стекло и керамика, 2002, № 6, С.16-19.
- [17] Андронов И.Н., Алейников С.Г., Богданов И.П. и др. Экспериментальные методы оценки скорости ползучести и долговечности металлоконструкций при сложном напряженном состоянии, Материаловедение, 2003, №8, С.17-20.
- [18] Цингер В.Д., Пиндрин Б.Е. Технология форстеритового «огнеупора», Огнеупоры, 1985, №5, С.208-209.
- [19] Цингер В.Д., Пиндрин Б.Е. Технология форстеритового «огнеупора», Огнеупоры, 1985, №5, С.209-210.
- [20] Попель С.И., Сотников А.И., Бороненков В.Н. Теория металлургических процессов, М.: Металлургия, 1986.

REFERENCES

- [1] Satbayev B.N., Nukhuly A., Sviderskiy A.K., Nurkenov O.A. Fire-resistant SVS-materials and their application in metallurgy. Pavlodar: EKO, 2008. 275p. (in Russ.).
- [2] Nukhuly A., Satbayev B.N., Nurkenov O.A., Sviderskiy A.K. The self-extending high-temperature synthesis of new fire-resistant materials. Pavlodar: PGPI, 2007, 207p. (in Russ.).
- [3] Merzhanov A.G. The self-extending high-temperature synthesis: about last, real and future, *Nonferrous metallurgy*, 2006. No. 5. P.4-8 (in Russ.).
- [4] Merzhanov A.G., Khaykin B.I. *Reports of Academy of Sciences of the USSR*, 1967, Т. 173. No.6. P.1382-1385. (in Russ.).
- [5] Quickly V.I., Demyanyuk D.G., Dolmatov O.Yu., Shamanin I.V., Isachenko D.S. *News of the Tomsk polytechnical university*, 2005. Т.308. No.4, P.78-81. (in Russ.).
- [6] Levashov E.A., Rogachyov A.S., Yuxhvid V.I., Borovinsky I.P. Fiziko chemical and technological bases самораспространяющегося high-temperature synthesis. М.: BINOM publishing house, 1999.176 p. (in Russ.).
- [7] Ryabov A.I., Primachenko V.V., Martynenko V.V., Pitak N.V. *Metallurgical and ore mining industry*. 1998. No. 2. P.69-71. (in Russ.).
- [8] Sutula I.G. Smeshannye magnesian knitting from a low-calcination brusit and materials on their basis is round-shouldered: the abstract of the thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences, Barnaul, 2008. 98 p. (in Russ.).
- [9] Sviderskiy A.K., Sadvokasova M.K. *Bulletin of Innovative Euroasian university*, 2009. No.1. P.184-188.
- [10] Sviderskiy A.K., Eshchanova Z.R. *Bulletin of Innovative Euroasian university*, 2009. No. 1. P.188-192. (in Russ.).
- [11] Bondarenko I.A., Turygin A.K., Artamoshin A.L., Vengura A.V., Feklistov A.V., Danilov D.V. *Casting and metallurgy*. 2013, No. 2(70), P.78-80. (in Russ.).
- [12] Magnesian refractory materials: Справ. prod. / Л.Б. Khoroshavin, V.A. Perepelitsyn, V.A. Kokonov, М.: Internet Engineering, 2001. (in Russ.).
- [13] Kupeerman Yu. E., Visloguzova E.A., Shevtsov A.L., etc. *Refractory materials*, 1983. No. 3. P.50-53. (in Russ.).
- [14] Vydrina S.A., Androsenko V.G., Visloguzov E.A., etc. *Refractory materials*, 1981. No. 12. P.5-6. (in Russ.).
- [15] Dzhavakhishvili N.G. Processes of obtaining and service the forsteritovykh of refractory materials on the basis of the Caucasian магниезильно-silicate raw materials: abstract yew. for a degree of Candidate of Technical Sciences, Tbilisi: 1971, 23 p. (in Russ.).

- [16] Andrianov N.T., Strelnikova S.S., Dyagilets S.M., Fedorov Page Yu. *Glass and ceramics*, **2002**, No. 6. P.16-19. (in Russ.).
- [17] Andronov I.N., Aleynikov S.G., Bogdanov I.P., etc. *Materials science*, **2003**, No.8. P.17-20. (in Russ.).
- [18] Tsinger V.D., Pindrin B.E. *Refractory materials*, **1985**, No.5. P.208-209. (in Russ.).
- [19] Tsinger V.D., Pindrin B.E. *Refractory materials*, **1985**, No.5. P.209-210. (in Russ.).
- [20] Popel S.I., Sotnikov A.I., Boronenkov V.N. *Theory of metallurgical processes*. M.: Metallurgy, 1986. (in Russ.).

А.Н. Жакыпова, А.К. Свицерский, Е.Ю. Евсева А.Қ. Сейтханова, М.З. Мулдахметов

Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар қ.

ЖЫЛУ АГРЕГАТТАРЫН ФУТЕРЛЕУГЕ ТИІМДІ ОТҚА ТӨЗІМДІ МАГНЕЗИАЛСИЛИКАТЫ

Аннотация. Мақалада жылу агрегаттарын қаптауға арналған отқатөзімді заттарды зерттеу қарастырылған. Цемент өндірісіндегі айналмалы пештердің қабысу аймақтарын аралықты жөндеулерде қолданылатын магнезиалды-огнеупордың бастапқы құрамбөліктері болып келесі күйдірілген дуниттер қарастырылды, мас. %: MgO 48,8; Fe₂O₃ 10,2; SiO₂ 39,9; күйдірілген периклазды ұнтақ, құрамы мас. %: MgO 92,2; CaO 2,6; SiO₂ 3,3; Fe₂O₃ 1,9; хром алюмотемірлі концентрат, құрамы мас. %: Cr₂O₃ 36,4; Al₂O₃ 19,6; Fe₂O₃ + FeO 19,1; MgO 14,2; SiO₂ 6,8; CaO 2,2. Магнезиалды хромалюмотемірлі шпинелидің синтезі қатты күйдіру жағдайында жүргізілді. Магнезиалды хромалюмотемірлі шпинелидің клинкерлік тұрақтылығы мен қолданыстық беріктілігі айналмалы цементтік пештердің қапталмалы аймағында өндірістік тексеру нәтиже-сінде анықталды. Ұсынылған отқатөзімді материал қолданыста өте тұрақты, футеровкалардың жөндеу аралық қолданыс ұзақтығы мен жоғары тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Тірек сөздер: өзара таралатын жоғары температуралы синтез, цементті өндіріс, пісірілу аймағының қаптамасы, отқатөзімділік.