

*Д-р техн. наук В. В. Примаченко,
канд. техн. наук В. В. Мартыненко,
канд. техн. наук П. П. Криворучко,
канд. техн. наук Ю. Е. Мишнева, Е. И. Синюкова
(ПАО «УКРНИИ ОГНЕУПОРОВ ИМ. А. С. БЕРЕЖНОГО»,
г. Харьков, Украина)*

Влияние влажности и давления прессования на прессуемость хромоксидных масс

Введение

Для футеровки бассейна и фидерной системы стекловаренных печей производства стекловолокна из алюмоборосиликатного стекла «Е» в ПАО «УКРНИИ ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» разработаны и изготавливаются высокоогнеупорные хромоксидные уплотненные изделия, обладающие наиболее высокой коррозионной стойкостью к стеклу «Е» и предназначенные для службы на контакте с его расплавом. Также разработаны и изготавливаются высокоогнеупорные хромоксидные среднеплотные изделия с добавкой диоксида циркония, характеризующиеся повышенной термостойкостью и применяемые в участках стекловаренных печей, находящихся при эксплуатации в условиях воздействия смены температур [1—5]. Формование этих изделий осуществляют методом одноосного полусухого прессования. Высокие показатели свойств прессованных изделий могут быть достигнуты за счет оптимальных параметров их формования, прежде всего влажности массы и давления прессования [6—8]. Известно [6], что существуют оптимальные влажность массы и давление прессования, при которых сырец имеет минимальную пористость. Увеличение или уменьшение влажности массы приводит к повышению пористости сырца. Однако вопросы оптимизации таких взаимосвязанных параметров, как влажность массы и давление прессования, исследованы еще недостаточно.

В настоящей статье изложены результаты исследований по оптимизации влажности массы и давления прессования для хромоксидных и хромоксидных с добавкой диоксида циркония огнеупоров.

Экспериментальная часть

При проведении исследований для изготовления образцов обоих видов огнеупоров использовали следующие сырьевые материалы: хромоксидный материал, представляющий собой твердый раствор TiO_2 в Cr_2O_3 с содержанием Cr_2O_3 93,7 %, TiO_2 4,1 %, изготовленный в ПАО «УКРНННО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО», металлургический оксид хрома марки ОХМ-1 (ГОСТ 2912—79) с содержанием Cr_2O_3 99,0 % и пигментный диоксид титана марки SumTITAN R-203 (ТУ У 24.1-05766356-054:2005) с содержанием TiO_2 98,9 %, бадделит марки ПБ-ХО (ТУ 1762-003-00186759-2000) с содержанием $\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2$ 99,3 %.

Для изготовления образцов были приняты те же составы шихт, которые используются в ПАО «УКРНННО ИМЕНИ А. С. БЕРЕЖНОГО» при выпуске опытных партий хромоксидных и хромоксидных с добавкой диоксида циркония огнеупоров.

На первом этапе исследования определяли влияние влажности масс на кажущуюся плотность высушенного сырца и свойства обожженных образцов, изготовленных при постоянном давлении прессования. На втором этапе исследовали зависимость свойств образцов, изготавливаемых из масс с оптимальной влажностью, от давления прессования. Прессуемость масс оценивали по максимальной кажущейся плотности высушенного сырца, полученной при определенных значениях влажности массы и давления прессования.

Для проведения исследований изготавливали образцы в виде кубов размером $40 \times 40 \times 40$ мм методом полусухого прессования на гидравлическом прессе при различных значениях влажности прессовочных масс и давления прессования. Обжиг проводили в периодической камерной печи при температуре 1580°C с выдержкой 8 ч в восстановительной (в присутствии засыпки криптола) атмосфере для хромоксидных уплотненных образцов и окислительной (воздушной) атмосфере для хромоксидных с добавкой диоксида циркония среднеплотных образцов.

Влажность масс определяли по ГОСТ 28584—90. Водопоглощение, открытую пористость, кажущуюся плотность зернистого хромоксидного материала и обожженных образцов определяли по ГОСТ 2409—95, предел прочности при сжатии образцов — по ГОСТ 4071.1—94 (ISO 10059-1-92). Термостойкость образцов определяли по ГОСТ 7875.2—94 по режиму 950°C — вода.

Результаты и их обсуждение

Свойства образцов, изготовленных из масс с различной влажностью, приведены в табл. 1. Как следует из табл. 1, увеличение влажности масс для прессования хромоксидных огнеупоров от 2 до 6 %, а хромоксидных с добавкой диоксида циркония огнеупоров — от 2 до 5 % обеспечивает улучшение прессуемости масс (при этих значениях влажности масс получены максимальные значения кажущейся плотности высушенного сырца). Улучшение прессуемости масс приводит к уменьшению открытой пористости обожженных образцов, их линейной усадки, а также к увеличению кажущейся плотности и предела прочности при сжатии. При дальнейшем увеличении влажности масс кажущаяся плотность высушенного сырца постепенно уменьшается, что объясняется наличием избыточной влаги в массах.

Кажущаяся плотность и предел прочности при сжатии обожженных образцов также уменьшаются, открытая пористость увеличивается, при этом их линейная усадка практически не изменяется. Увеличение влажности масс для прессования хромоксидных образцов до 8 %, хромоксидных с добавкой диоксида циркония образцов до 10 % приводит к возникновению в образцах перепрессовочных трещин и снижению показателей свойств образцов. Термостойкость хромоксидных с добавкой диоксида циркония образцов остается высокой при возрастании влажности прессовочных масс и снижается только у образцов, изготовленных из массы с влажностью 10 %, в которых образовались перепрессовочные трещины.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что оптимальная влажность масс при прессовании хромоксидных огнеупоров составляет 6 %, при прессовании хромоксидных с добавкой диоксида циркония огнеупоров — 5 %.

В табл. 2 приведены свойства образцов, изготовленных из масс с оптимальной влажностью при различном давлении прессования. Как следует из табл. 2, увеличение давления прессования хромоксидных огнеупоров от 40 до 80 Н/мм² и хромоксидных с добавкой диоксида циркония огнеупоров от 80 до 120 Н/мм² способствует увеличению кажущейся плотности высушенного сырца и обожженных образцов. При обжиге происходит уменьшение открытой пористости образцов и увеличение их предела прочности при сжатии, что связано с увеличением уплотнения образцов при прессовании. Термостойкость хромоксидных с добавкой диоксида циркония образцов

Таблица 1

Свойства хромоксидных и хромоксидных с добавкой диоксида циркония образцов, изготовленных из масс с различной влажностью, при постоянном давлении прессования

Номер серии образцов	Влажность массы, W, %	Давление прессования, Н/мм ²	Кажущаяся плотность высушенного сырца, г/см ³	Кажущаяся плотность пористая, г/см ³	Открытая пористость, %	Линейная усадка, %	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	Термостойкость по режиму 950 °С — вода, теплосмен		Примечание
								появление 1-й трещины	разрушение	
Свойства образцов после обжига при 1580 °С, выдержка 8 ч										
Хромоксидные огнеупоры										
1	2	50	3,62	4,15	19,0	5,1	118	—	—	—
2	4	50	3,65	4,17	18,9	5,2	214	—	—	—
3	6	50	3,67	4,19	18,6	5,2	284	—	—	—
4	7	50	3,66	4,18	18,8	5,2	227	—	—	—
5	8	50	3,56	4,05	21,5	5,1	67	—	—	Перепрессовочные трещины
Хромоксидные с добавкой диоксида циркония огнеупоры										
6	2	100	3,75	3,83	26,7	1,7	67	8	> 20	> 20
7	4	100	3,77	3,84	26,4	1,6	69	9	> 20	> 20
8	5	100	3,80	3,85	26,1	1,5	79	9	> 20	> 20
9	6	100	3,78	3,84	26,3	1,5	75	9	> 20	> 20
10	8	100	3,76	3,82	26,6	1,6	62	9	> 20	> 20
11	10	100	3,60	3,69	27,9	1,2	43	5	13	Перепрессовочные трещины

Таблица 2

Свойства хромоксидных и хромоксидных с добавкой диоксида циркония образцов, изготовленных из масс с оптимальной влажностью, при различном давлении прессования

Номер серии образцов	Влажность массы, W, %	Давление прессования, Н/мм ²	Кажущаяся плотность высушенного сырья, г/см ³	Свойства после обжига при 1580 °С, выдержка 8 ч					Термостойкость по режиму 950 °С — вода, теплосмен	
				Кажущаяся плотность, г/см ³	Открытая пористость, %	Линейная усадка, %	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	Появление 1-й трещины	Разрушение	
Хромоксидные уплотненные огнеупоры										
12	6	40	3,66	4,16	18,9	5,3	266	—	—	
3	6	50	3,67	4,19	18,6	5,2	284	—	—	
13	6	60	3,73	4,22	17,9	5,1	297	—	—	
14	6	80	3,74	4,25	16,8	5,1	307	—	—	
15	6	100	3,73	4,24	17,0	5,1	270	—	—	
Хромоксидные с добавкой диоксида циркония среднеплотные огнеупоры										
16	5	80	3,76	3,80	26,4	1,5	76	9	16	
8	5	100	3,80	3,85	26,1	1,5	79	9	> 20	
17	5	120	3,81	3,86	25,9	1,5	95	8	> 20	
18	5	140	3,82	3,86	26,0	1,5	86	8	> 20	

также возрастает при увеличении давления прессования от 80 до 100 Н/мм², а затем, при увеличении давления прессования до 120 Н/мм², остается стабильно высокой, хотя образование первой трещины в испытуемых образцах происходит раньше. При увеличении давления прессования свыше 80 Н/мм² для хромоксидных огнеупоров и свыше 120 Н/мм² для хромоксидных с добавкой диоксида циркония огнеупоров не происходит существенного повышения показателей свойств образцов.

Таким образом, из полученных данных следует, что показатели свойств хромоксидных образцов достигают достаточно высоких значений уже при давлении прессования 60 Н/мм², а хромоксидных с добавкой диоксида циркония образцов — при давлении прессования 100 Н/мм². Поэтому оптимальным давлением прессования для хромоксидных огнеупоров следует считать 60—80 Н/мм², а для хромоксидных с добавкой диоксида циркония огнеупоров — 100—120 Н/мм².

Заключение

Проведено исследование прессуемости хромоксидных и хромоксидных с добавкой диоксида циркония масс в зависимости от их влажности и давления при полусухом прессовании. Установлено, что оптимальные влажность масс и давление при прессовании хромоксидных уплотненных огнеупоров составляют 6 % и 60—80 Н/мм², а при прессовании хромоксидных с добавкой диоксида циркония среднеплотных огнеупоров — 5 % и 100—120 Н/мм² соответственно.

Применение оптимальных влажности масс и давления прессования позволяет получить огнеупоры с высокими показателями свойств: хромоксидные огнеупоры с кажущейся плотностью высушенного сырца 3,73—3,74 г/см³, кажущейся плотностью после обжига при температуре 1580 °С с выдержкой 8 ч 4,22—4,25 г/см³, открытой пористостью 16,8—17,9 %, пределом прочности при сжатии ~ 300 Н/мм² при линейной усадке ~ 5 %; хромоксидные с добавкой диоксида циркония огнеупоры с кажущейся плотностью высушенного сырца 3,80—3,81 г/см³, кажущейся плотностью после обжига при температуре 1580 °С с выдержкой 8 ч 3,85—3,86 г/см³, открытой пористостью 25,9—26,1 %, пределом прочности при сжатии ~ 80—95 Н/мм², термостойкостью по режиму 950 °С — вода > 20 теплосмен при линейной усадке 1,5 %.

Полученные результаты использованы при изготовлении хромоксидных и хромоксидных с добавкой диоксида циркония изделий для промышленных стекловаренных печей производства стекловолокна из стекла «Е».

Библиографический список

1. Пат. 100023 Україна, МПК С04 В 35/12. Шихта для виготовлення хромоксидних вогнетривів / Примаченко В. В., Криворучко П. П., Мішньова Ю. Є., Синюкова О. І., Кузьменко О. М.; заявник і патентовласник ПАТ «УКРНДІВ ІМЕНІ А. С. БЕРЕЖНОГО». — № а 201000132; заявл. 11.01.10; опубл. 11.07.11, Бюл. № 13.

2. Хромоксидные огнеупоры с повышенной термостойкостью для щелевых блоков стекловаренных печей производства стекловолокна / В. В. Примаченко, П. П. Криворучко, Ю. Е. Мишневa [и др.] // Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности: междунар. науч.-технич. конф., Харьков, 26—27 апр. 2011 г.: тез. докл. — Х. : Каравелла, 2011. — С. 3—4.

3. Влияние ряда технологических факторов на термостойкость среднеплотных хромоксидных огнеупоров / В. В. Примаченко, П. П. Криворучко, Ю. Е. Мишневa [и др.] // 36. наук. пр. ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО». — Х. : ПАТ «УКРНДІ ВОГНЕТРИВІВ ІМ. А. С. БЕРЕЖНОГО», 2011. — № 111. — С. 21—28.

4. Chromic oxide-zirconia bushing blocks for the fiberglass production furnace / V. V. Primachenko, V. V. Martynenko, P. P. Kryvoruchko [etc.] // Unified International Technical Conference on Refractories «Unitec 2011», 12th Biennial Worldwide Congress, Kyoto, Japan, 30.10—02.11.11: proceedings. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. — 1-Е-2.

5. Пат. 101507 Україна, МПК С04 В 35/12. Шихта для виготовлення хромоксидних вогнетривів / Примаченко В. В., Криворучко П. П., Мішньова Ю. Є., Синюкова О. І., Кузьменко О. М.; заявник і патентовласник ПАТ «УКРНДІВ ІМЕНІ А. С. БЕРЕЖНОГО». — № а 201100169; заявл. 04.01.11; опубл. 10.07.12, Бюл. № 13.

6. Химическая технология керамики и огнеупоров / П. П. Будников, В. Л. Балкевич, А. С. Березной [и др.]; под ред. П. П. Будникова и Д. Н. Полу бояринова. — М. : Стройиздат, 1972. — 552 с.

7. *Кайнарский И. С.* Процессы технологии огнеупоров. Теоретические основы производства огнеупорных изделий / И. С. Кайнарский. — М. : Металлургия, 1969. — 352 с.

8. *Попильский Р. Я.* Прессование керамических порошков / Р. Я. Попильский, Ф. В. Кондрашев. — М. : Металлургия, 1968. — 272 с.

Рецензент канд. техн. наук Гальченко Т. Г.