

УДК 666.762.14

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АНДАЛУЗИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. А. БЫКОВ

Научный руководитель А. Р. ХАФИЗОВА

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Екатеринбург, Россия

Современная стекольная промышленность предъявляет жесткие требования к огнеупорным материалам. Футеровка печей работает в экстремальных условиях: температуры достигают 1500 °С...1600 °С, а расплавы стекла и щелочная газовая среда являются химически агрессивными.

Циклические термонагрузки и необходимость обеспечения высокой чистоты стекломассы диктуют потребность в материалах с высокой термостойкостью, низким термическим расширением, отличной коррозионной стойкостью и длительным сроком службы, обеспечивающим межремонтный ресурс 7–10 лет.

Традиционно применяемые корундовые и циркониевые (бадделеито-корундовые, AZS) огнеупоры обладают рядом недостатков, включая высокую стоимость (особенно для плотных марок AZS-41) и, в случае с корундом, повышенное термическое расширение. В связи с этим актуальной задачей является поиск и разработка альтернативных, эффективных материалов. Уникальность андалузита заключается в его способности при обжиге (начиная с ~1400 °С) преобразовываться в муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) с минимальным объемным расширением (4 %...5 %), формируя высокопрочную композитную структуру из переплетенных игл муллита и кремнеземистого стекла. Это обеспечивает материалу высокую вязкость разрушения, низкий коэффициент термического линейного расширения ($\text{ТКЛР } 4,5 \dots 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) и, как следствие, превосходную стойкость к термическому удару.

Целью работы является разработка составов и технологии андалузитовых изделий для футеровки рабочего слоя стекловаренных печей. В качестве исходных сырьевых материалов были выбраны: андалузит иранского месторождения, электрокорунд белый, плавленый муллит, глина Б-1 Березовского месторождения, в качестве связующего компонента – алюмохромфосфатная связка (вводилась сверх 100 % массы). Составы представлены в табл. 1.

Табл. 1. Исследуемые составы андалузитовых огнеупорных изделий

Компонент	Содержание, мас. %, в составе						
	1	2	3	4	5	6	7
Андалузит	95	75	75	45	25	45	70
Электрокорунд	–	20	–	50	50	–	–
Плавленый муллит	–	–	20	–	20	50	25
Глина Б-1	5	5	–	5	5	5	5
Связующее АХФС	5	5	5	5	5	5	5

Результаты физико-механических показателей образцов после сушки и обжига при 110 °С и 1450 °С соответственно представлены в табл. 2.

Табл. 2. Физико-механические свойства образцов

Показатель	Состав						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>T</i> = 110 °С							
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,43	2,63	2,45	2,75	2,70	2,40	2,65
Открытая пористость, %	16,0	15,7	16,4	16,7	17,2	15,7	15,0
Предел прочности при сжатии, МПа	3,8	6,0	4,8	5,8	4,5	4,7	6,5
<i>T</i> = 1450 °С							
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,42	2,55	2,40	2,74	2,73	2,41	2,56
Открытая пористость, %	15,6	15,9	16,6	17,3	18,1	16,1	14,2
Предел прочности при сжатии, МПа	33,3	34,3	31,1	40,5	35,4	29,1	53,6
$\Delta L/L$, %	–0,3	–0,1	–1,3	0,1	0,2	0,6	1,1
Остаточная прочность после 50 теплосмен, %	86,8	87,8	65,6	48,9	63,3	97,9	83,6

Выводы.

1. Анализ результатов открытой пористости и кажущейся плотности при температуре 110 °С и 1450 °С показал различный характер уплотнения составов. Наименьшая открытая пористость после финального обжига при 1450 °С была достигнута для составов 1, 2 и 7 (15,6 %, 15,9 % и 14,2 % соответственно), в которых используется плавленный муллит. Составы же на чисто андалузитовой и корундовой основе (составы 4 и 5), несмотря на высокую кажущуюся плотность (до 2,74 г/см³), сохраняют повышенную пористость (до 18,1 %).

2. Лучшими значениями прочности на сжатие закономерно обладают составы 4, 5, 7 с высокой плотностью и большим количеством муллитовой фазы, однако критическим фактором является тип связки, формирующейся при обжиге. Использование АХФС, образующей фосфат алюминия, вносит вклад в упрочнение на низкотемпературных стадиях.

3. Все разработанные составы продемонстрировали высокую стойкость к термоударам, успешно выдержав 50 теплосмен (950 °С – проточная вода) без серьезного разрушения и с сохранением геометрической целостности (остаточные изменения размеров не превысили 2 %...3 %). Этот результат полностью согласуется с литературными данными о высокой термостойкости андалузитовых огнеупоров.