

Д. Т. Н. И. Д. Кашеев¹, К. Т. Н. К. Г. Земляной¹ (✉), С. А. Поморцев²,
А. А. Ряплова², Ю. А. Борисова³

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

³ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия

УДК 666.762.81-494:[666.762.32:621.746.329

АРМИРОВАНИЕ УГЛЕРОДИСТЫМИ ВОЛОКНАМИ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ

Рассмотрена возможность применения углеродных волокон как армирующего элемента в структуре периклазоуглеродистых огнеупоров. Приведены результаты лабораторных исследований.

Ключевые слова: углеродные волокна, армирование, периклазоуглеродистые огнеупоры, прочность, термостойкость.

В настоящее время углеродные волокна интенсивно разрабатываются в связи с демонстрируемыми ими высокими значениями модуля упругости и прочности и широким использованием в конструкционных материалах в качестве армирующих наполнителей. Композиты с полимерными матрицами по техническим характеристикам (прочности, модулю упругости, термостойкости) превосходят другие углеродные композиты [1].

Введение волокон в огнеупорную шихту обеспечивает трехмерное объемное упрочнение и повышение долговечности материала, снижение усадки в процессе термообработки, в результате чего значительно возрастают трещиностойкость и ударная вязкость и, как следствие, увеличивается стойкость огнеупоров [2–4].

Исходными материалами для проведения лабораторных исследований служили* плавный периклаз, содержащий не менее 97 мас. % MgO, в количестве 88–91 %; углеродные волокна ВМН-4 (ТУ 48-20-155-90), графит ГЭ-1 (ГОСТ 17022) и этиленгликоль (ГОСТ 19710) 1,3 %; СФП марки Р-050 (ТУ 6-05751768-35-94) 3,0 %. Содержание графита и волокон в шихтах изменяли в соответствии с таблицей. Длина волокон находилась в пределах от 0,9 до 4 мм с преобладающим размером 0,92 мм (рис. 1).

Для исследований были изготовлены образцы диаметром 50 и высотой 40 мм. Волокна вво-

дили в шихту в количестве 0,05 и 0,2 % двумя способами:

– путем предварительного перемешивания в этиленгликоле с последующим введением в периклазографитовую шихту (составы 1–8);

– введением в сухом виде в периклаз, увлажненный этиленгликолем (составы 9, 10).

Содержание графита в шихте изменяли от 4,0 до 7,0 мас. %.

Подготовку формовочной массы производили в лабораторном планетарном смесителе R02. Общая продолжительность подготовки формовочной массы составляла не менее 15 мин. Массу выдерживали в течение 2 ч, затем из нее на гидравлическом лабораторном прессе под давлением 150 МПа изготавливали образцы цилиндрической формы. Спрессованные образцы подвергали термообработке в воздушной среде при 220 °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 120 мин. На образцах определяли сравнительные показатели после термообработки, коксующего обжига и термических испытаний.



Рис. 1. Углеродистые волокна. Свет косой, отраженный. ×20

* Состав периклазоуглеродистых образцов соответствует содержанию компонентов в шихте изделий для футеровки сталеразливочного ковша.



К. Г. Земляной
E-mail: kir77766617@yandex.ru

Для оценки эксплуатационных свойств образцы подвергали восстановительному обжигу (кокующий обжиг) при 1000 °С и окислительным обжигам при 1200 °С в течение 5 ч и при 1450 °С в течение 2 ч.

Испытания проводили следующим образом: образцы нагревали в воздушной среде до 1200 °С с выдержкой 5 ч, затем охлаждали. Окисляемость определяли по степени изменения массы образца.

Для определения величины безуглеродного слоя образцы распиливали по оси цилиндра и определяли общую площадь распила S_1 и площадь науглеродженной зоны S_2 . Долю безуглеродженного слоя D_0 вычисляли по формуле

$$D_0 = (S_1 - S_2) / S_1.$$

Для определения термостойкости образец помещали в печь с инертной средой при 1300 °С и выдерживали 10 мин, затем охлаждали на воздухе в течение 10 мин. Циклирование проводили до потери 20 % массы образца.

Составы шихт и качественные показатели лабораторных образцов представлены в таблице.

Анализ полученных данных (см. таблицу) показывает, что при введении углеродных волокон повышается предел прочности при сжатии периклазоуглеродистых образцов с 57,5 до 80,0 МПа, при этом содержание графита в шихте может быть уменьшено с 7,0 до 4,0 мас. % — соответственно составы 1 и 8. Увеличение количества волокна в шихте с 0,05 до 0,2 мас. % не вызывает пропорционального повышения показателей образцов до коксования.

После коксующего обжига увеличивается пористость образцов до 14,6 %, т. е. почти в 3 раза, предел прочности при сжатии снижается с 57,5 до 25,9 МПа (состав 1). Общая тенденция снижения прочности наблюдается в образцах всех остальных составов шихт в таком же соотношении, но при уменьшении концентрации графита предел прочности при сжатии возрастает с 25,9 до 34,8 МПа, причем содержание углеродистых волокон практически не отражается на величине предела прочности при сжатии образцов.

При сухом способе введения волокон (составы 9 и 10) повышения прочности образцов после коксующего обжига в отличие от предыдущих опытов не получено, несмотря на увеличение прочности в сравнении с этим показателем контрольного образца 11-К.

Термическая стойкость образцов с введением углеродных волокон повышается с 9 (состав 1) до 13 (состав 8) теплосмен при концентрации волокон 0,2 мас. %.

Исследовано влияние термической обработки периклазоуглеродистых образцов составов 11-К, 4, 8 и 9 (рис. 2) на изменение их размеров. Введение углеродистых волокон заметно отра-

Свойства образцов, изготовленных с использованием опытных волокон

Состав (образец)	Массовая доля компонентов в составе шихты, %		Термостой- кость, % теплосмены	Окисляемость, %	Доля обезугле- роженного слоя, %	Качественные показатели					
						до коксования		после коксования			
	волокон	графита				открытая пористость, %	кажущаяся плотность, г/см ³	предел проч- ности при сжатии, МПа	открытая пористость, %	кажущаяся плотность, г/см ³	предел проч- ности при сжатии, МПа
11-К	0,0	7,0	9	7,4	68,4	5,5	2,97	57,5	13,8	2,89	25,9
1	0,05	7,0	Не опр.	8,6	70,1	5,3	2,90	57,5	14,1	2,90	23,3
2	0,20	7,0	»	9,0	70,8	5,5	2,97	58,3	14,6	2,88	22,5
3	0,05	6,0	»	7,0	68,5	4,6	3,02	67,4	13,1	2,94	28,7
4	0,20	6,0	»	7,6	68,5	5,5	2,99	63,7	13,8	2,91	28,2
5	0,05	5,0	»	7,0	69,7	4,8	3,00	76,0	13,4	2,93	28,2
6	0,20	5,0	12	7,3	68,7	5,2	3,01	73,5	13,9	2,93	28,2
7	0,05	4,0	Не опр.	5,8	70,5	5,3	3,03	80,0	13,1	2,97	34,8
8	0,20	4,0	13	6,2	68,3	5,0	3,03	78,7	13,7	2,95	36,2
9*	0,05	4,0	Не опр.	6,1	74,2	5,6	3,03	82,6	13,3	2,97	28,9
10*	0,20	4,0	12	6,4	72,5	5,4	3,03	76,5	13,7	2,95	31,1

* Добавка волокон в сухом виде.

* Добавка волокон в сухом виде.

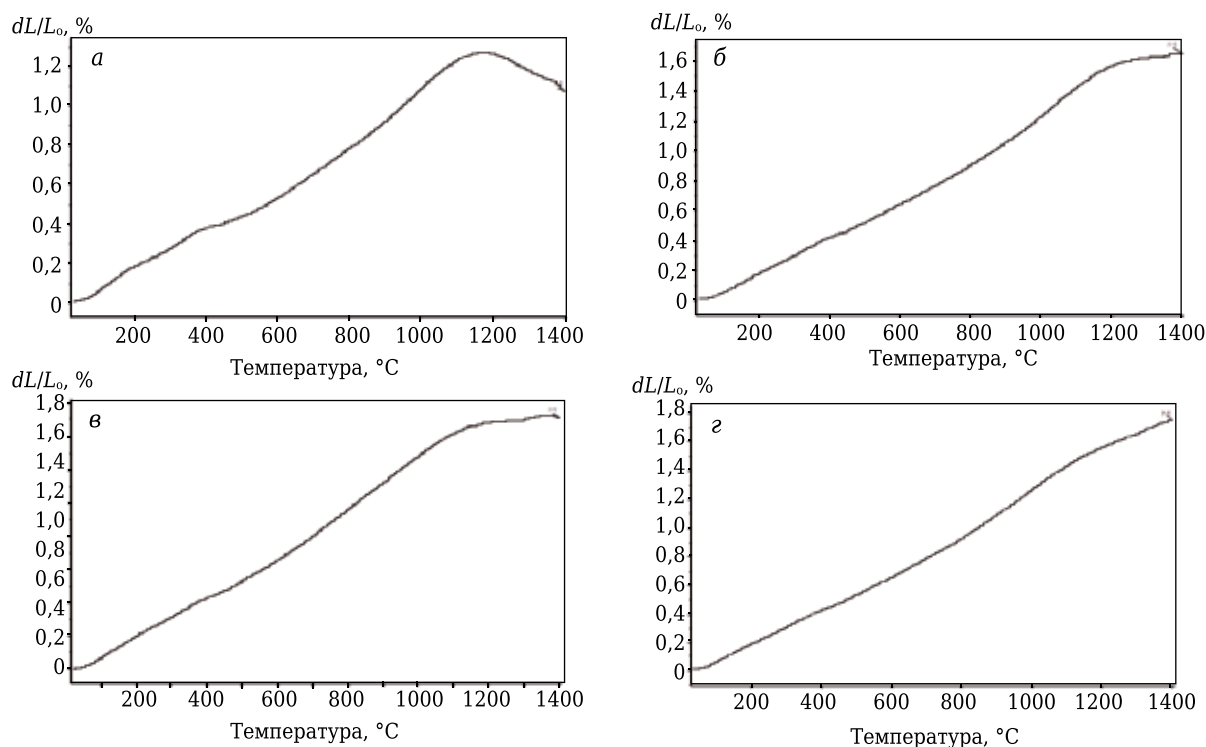


Рис. 2. Тепловое расширение образцов: №11-К (а), № 4 (б), № 8 (в), № 9 (г)

жается на высокотемпературной усадке. Так, при нагревании образца 11-К происходит его расширение до 1200 °С, при этом максимальное расширение составляет 1,3 %. Затем при приближении к температуре 1400 °С наблюдается усадка до 1,1 %.

Введение волокон как сухим способом (см. рис. 2, г, состав 9), так и совместно с этиленгликолем (см. рис. 2, б, в, составы 4 и 8) соответственно в количестве 0,05 и 0,2 мас. % предотвращает высокотемпературную усадку периклазоуглеродистых огнеупоров. Величины расширения при 1400 °С составляют: 1,1, 1,7, 1,5 и 1,8 % соответственно для образцов составов 11-К, 4, 8 и 9.

Таким образом, углеродные волокна, введенные в состав периклазоуглеродистой шихты, предотвращают усадку огнеупора при нагреве

выше 1200 °С, повышают термостойкость с 9 до 13 теплосмен и предел прочности при сжатии после коксующего обжига с 25,9 до 36,2 МПа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При введении углеродных волокон в шихту периклазоуглеродистых огнеупоров для футеровки сталеразливочных ковшей при лабораторных испытаниях достигается эффективное армирование. Увеличиваются термостойкость, трещиностойкость, ударная вязкость и долговечность огнеупоров.

С целью подтверждения результатов лабораторных исследований по армированию структуры периклазоуглеродистых изделий для сталеразливочных ковшей планируется проведение опытно-промышленных испытаний.

Библиографический список

1. Алфимов, М. В. Углеродное волокно. Перспективы применения / М. В. Алфимов // Российские нанотехнологии. — 2010. — № 7/8. — С. 2.
2. Кащеев, И. Д. Использование углеродных волокон в огнеупорных материалах / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, С. А. Подкопаев [и др.] // Новые огнеупоры. — 2009. — № 10. — С. 15–19.
- Kashcheev I. D. Use of carbon fibers in refractory materials / I. D. Kashcheev, K. G. Zemlyanoi, S. A. Podkopaev [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2009. — Vol. 50, № 5. — P. 335–339.
3. Кащеев, И. Д. Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М. : Интернет Инжиниринг, 2007. — 752 с.

4. Земляной, К. Г. Исследование возможности оценки технологических свойств графита / К. Г. Земляной, И. Д. Кащеев, В. М. Устьянцев // Новые огнеупоры. — 2015. — № 3. — С. 101–108.

Zemlyanoi, K. G. Study of the feasibility of evaluating the processing properties of graphite / K. G. Zemlyanoi, I. D. Kashcheev, V. M. Ust'yantsev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2015. — Vol. 56, № 2. — P. 144–150. ■

Получено 13.07.15

© И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, С. А. Поморцев, А. А. Рялова, Ю. А. Борисова, 2015 г.