

К.Ф. Чмырков, Е.Н. Сигарев, Л.С. Молчанов, Е.В. Синегин
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
КАРБИДОКРЕМНИЕВЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ
БРИКЕТОВ**

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме исследования теплофизических свойств брикетов карбидкремния-железосодержащих. В ней представлена математическая модель зависимости коэффициента теплопроводности от состава брикетов. Для наиболее удачного состава карбидокремневых железосодержащих брикетов определены технологические свойства.

Ключевые слова: карбид кремния, шлам, шихта, коэффициент теплопроводности, математическая модель, служебные свойства

Постановка проблемы

Третье тысячелетие требует кардинального реформирования производственного процесса в целом и особенно технологических операций по производству стали, как одной из его составляющих. Повышение эффективности и снижения себестоимости конечной продукции на современных металлургических предприятиях достигается за счет внедрения инновационных технологических процессов или применения принципиально новых шихтовых материалов. Поэтому, в мировой практике широкое распространение получили синтетические шихтовые материалы, среди которых особое место занимает комплекс материалов содержащих карбид кремния.

Анализ последних исследований и публикаций

Известно о широком применении материалов содержащих карбид кремния при производстве стали в электрических печах [1, 2], кислородных конвертерах [3, 4] и в процессе выпечки [5, 6]. Карбид кремния является синтетическим материалом, производство которого требует значительных энерго- и ресурсозатрат, поэтому на данный момент актуальной является замена чистого карбида кремния на производственные отходы (карбидный шлам, пыль и т.д.).

Цель и задачи исследований

Учитывая, что технологические свойства материалов на базе шламов содержащих карбид кремния является малоизученными, то целью данного исследования является уточнение теплофизических характеристик брикетов карбидокремниевых железосодержащих (БКЖС).

Основная часть

Изучение теплофизических свойств БКЖС заключалось в определении функциональной зависимости коэффициент теплопроводности от химического состава и температуры. Решение такого рода задач в научно-исследовательской деятельности требует применения метода «Полного факторного эксперимента» [7]. В ходе проведения исследований содержание составляющих компонентов БКЖС изменялось в следующих диапазонах, % по массе: цемент – 10, карбидный шлам – 10-80, прокатная окалина 10-80 (были исследованы следующие содержания 10, 30, 45, 60 и 80 % по массе); температура изменялась в пределах 100 – 1600 °С (шаг изменения 100 °С).

Экспериментальное исследование теплопроводности БКЖС проводили методом полого цилиндра со стационарным тепловым потоком, генерируемым электрическим током [8]. В этом случае коэффициент теплопроводности рассчитывают по формуле:

$$\lambda = \frac{\ln \frac{r_1}{r_2}}{2\pi \cdot l_{об}} \cdot \frac{Q_{эл}}{T_2 - T_1}, \text{ (Вт/м}\cdot\text{К)} \quad (1)$$

где T_2 – температура горячей поверхности образца с радиусом r_2 , К;

T_1 – температура холодной поверхности образца с радиусом r_1 , К;

$Q_{эл}$ – тепловой поток, проходящий через слой исследуемого вещества, Вт;

$l_{об}$ – высота образца, м.

Экспериментальная установка (рисунок 1) состоит из центрального образца 1 и двух симметрично расположенных теплоизолирующих надставок 2. Образцы в виде цилиндра диаметром 70 мм и высотой 100 мм с центральным отверстием диаметром 14 мм вырезали из готовых брикетов, выполненных из смеси цемента, прокатной окалины и карбидного шлама состав которых приведен в таблице 1. В образце и верхней надставке выполнены отверстия для ввода термопар 8. Цепь измерения состоит из вольфрам-рениевых термопар

ВР 5/20, установленных на внутренней и наружной поверхностях исследуемого образца, и мультиметров DT – 838.

Таблица 1

Химический состав составных компонентов БКЖС

№	Материал	Содержание, %									
		SiC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	C	CaO	S	Fe (Mn)	Влага
1.	Карбидный шлак	76,59	11,32	3,15	-	-	-	-	-	-	8,94
2.	Прокатная окалина	-	0,3	-	50,2	32,07	0,76	2,2	0,035	12,7	1,735
3.	Цемент	-	22	6	1	3	-	67	-	-	1

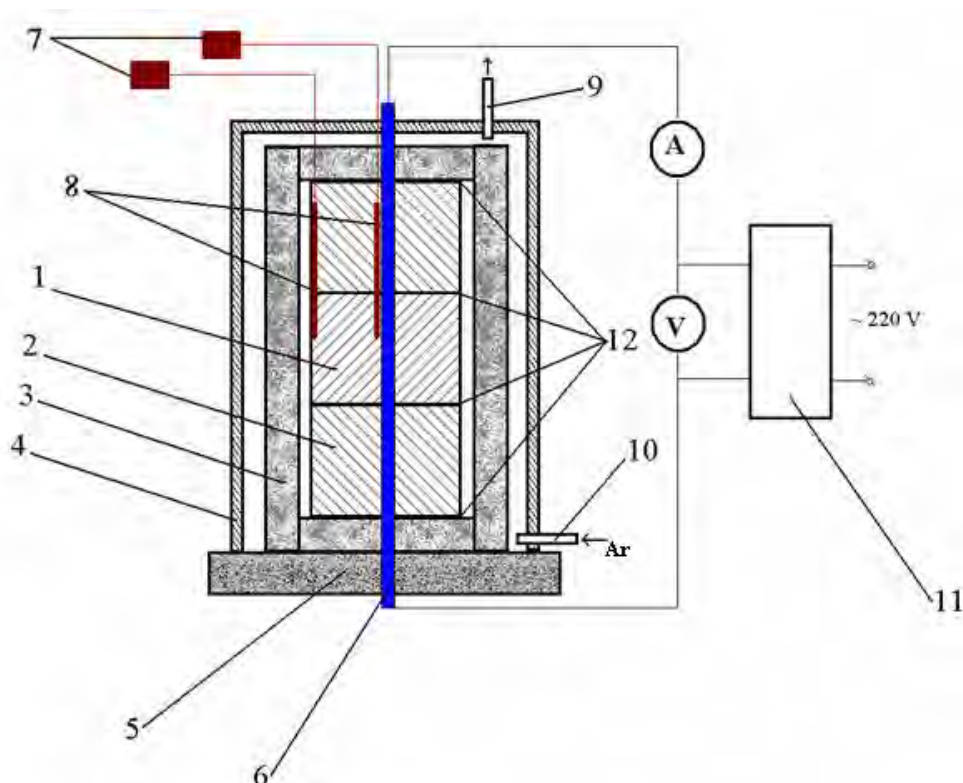


Рисунок 1 – Установка для определения коэффициента теплопроводности образца:

- 1 – исследуемый образец; 2 – теплоизолирующие наставки;
 3 – теплозащитный экран; 4 – металлический кожух; 5 – огнеупорная плита; 6 – нагреватель; 7 – мультиметр DT – 838; 8 – термопары;
 9 – выпускной клапан; 10 – штуцер для подачи аргона; 11 – реостат;
 12 – асбестовые прокладки

При помощи регулятора напряжения ориентировочно устанавливали необходимое значение напряжения. Когда температура горячей поверхности образца достигала необходимой и образец начинал нагреваться, постепенно, вручную снижали напряжение до тех пор, пока не устанавливался стационарный поток, то есть температура горячей и холодной поверхностей образца не изменялась при неизменной мощности теплового потока. После этого выполняли три замера через каждые 10 мин.

О тепловом потоке судили по изменению электрической мощности, выделяемой нагревателем. Согласно закону Ленца - Джоуля количество тепла, выделяемого электрическим током в проводнике равно:

$$Q_{эл} = R_{пр} \cdot I^2 \quad (2)$$

где $R_{пр}$ - сопротивление проводника, Ом;

I – сила тока, А.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил сформулировать математическое уравнение зависимости коэффициента теплопроводности от состава БКЖС и температуры, имеющее следующий вид:

$$\lambda = 1,79101 \cdot 10^{13} \cdot Ц - 1,99002 \cdot 10^{12} \cdot КШ - 1,99002 \cdot 10^{12} \cdot ПО - 0,001057 \cdot Т, \\ R^2 = 0,989, \quad (3)$$

где Ц, КШ и ПО – содержание цемента, карбидного шлама и прокатной окалины в БКЖС, %;

Т – температура, °С.

Графическая зависимость коэффициента теплопроводности БКЖС от химического состава и температуры приведена на рисунке 2. Согласно данным представленных на нем наиболее подходящим с позиций теплофизических характеристик является БКЖС состава 3. Поскольку в данном случае прирост коэффициента теплопроводности определяется температурой, что позволяет разработанному материалу более равномерно взаимодействовать с компонентами металлических и шлаковых расплавов. Таким образом, для последующих исследований был применен БКЖС следующего состава, % по массе: цемент – 10, карбидный шлам – 45, прокатная окалина – 45.

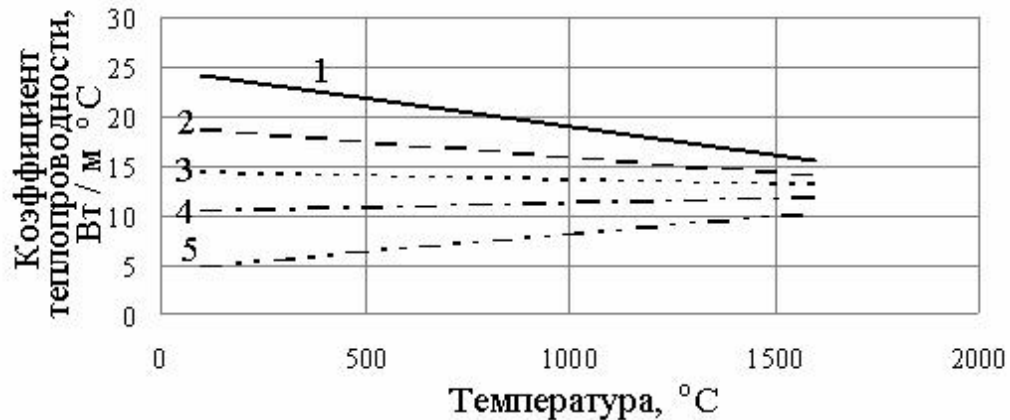


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплопроводности БКЖС от температуры и состава:

- 1 – 80 % содержание карбидного шлама; 2 – 60 % содержание карбидного шлама; 3 – 45 % содержание карбидного шлама;
 4 – 30 % содержание карбидного шлама;
 5 – 10 % содержание карбидного шлама

Учитывая, что в сталеплавильных цехах современной конструкции, подача шихтовых материалов осуществляется по тракту сыпучих материалов, то к БКЖС предъявляются особые требования по прочности, пористости и плотности.

Исследование их физико-механических свойств проводились по известной методике [9] и заключалось в определении истинной плотности, водопоглощения и предела прочности на сжатие. Полученные в ходе исследования результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технологические характеристики БКЖС

№	Показатель	Значение			
		1 эксперимент	2 эксперимент	3 эксперимент	среднее
1.	Предел прочности, МПа/см ²	2,70	3,07	3,52	3,10
2.	Водопоглощение, %	6,49	7,49	5,41	6,46
3.	Пористость, %	15,47	17,44	12,73	15,21
4.	Кажущаяся плотность, г/см ³	2,38	2,33	2,35	2,35

Таким образом, сравнивая полученные показатели (таблица 2) и соответствующие для известняка и плавикового шпата марки ФК-75 [10, 11], можно сделать вывод о том, что основные технологиче-

ские свойства БКЖС находятся на уровне материалов широко применяемых в металлургии.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. Экспериментальным путём определено уравнение зависимости коэффициента теплопроводности БКЖС от состава и температуры.

2. Определён рациональный состав БКЖС с теплофизической позиции.

3. Подтверждено соответствие технологических свойств БКЖС требованиям, предъявляемым к основным шихтовым материалам сталеплавильного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гасик М.И., Овчарук А.Н., Семенов И.А., Дервянко И.В. Прогрессивные технологии выплавки электростали с заменой чугуна CSiC-брикетами // Сталь. – 2004. - №4. – С. 31 – 36
2. Гасик М.И., Михалев А.И., Овчарук А.Н., Дервянко И.В. Неметаллические включения и качество электростали 20ГЛ, выплавленной с использованием CSiC-брикетов взамен чугуна // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. - №6. – С. 24 – 26.
3. Металлолом в шихте кислородных конвертеров / Баптизманский В.И., Бойченко Б.М., Третьяков Е.В. – М.: Металлургия, 1982. – 136с.
4. Тепловая работа кислородных конвертеров / Баптизманский В.И., Бойченко Б.М., Черевко В.П. – М.: Металлургия, 1988. – 174с.
5. Кисиленко В.В., Дюдкин Д.А., Минченков А.В., Душкин А.В., Злепко Е.В. Использование карбида кремния при внепечной обработке чугуна порошковыми проволоками // Металл и литье Украины. – 2009. - №1 – 2. – С. 64 – 66
6. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В. Современная технология производства стали. – М.: Теплотехник, 2007. – 528с.
7. Организация эксперимента: Учебное пособие / Баптизманский В.И., Яковлев Ю.Н., Паниотов Ю.С. – К.: УМК ВО, 1992. – 244с.
8. Пустовалов В.В. Теплопроводность огнеупоров М.: Металлургия. 1966. – 84с.
9. Гавриш Д.И. Огнеупорное производство: Справочник, Том 2. — М.: Металлургия, 1965. — 584 с.
10. Сырьевая и топливная база черной металлургии: учебное пособие для вузов / Л.И. Леонтьев, Ю.С. Юсфин, Т.Я. Малышева и др. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 304с.
11. Производство стали / Борнацкий И.И., Михневич В.Ф. Яргин С.А. – М.: Металлургия, 1991. – 400с.