

В. А. Кукарцев¹ (✉), А. И. Трунова¹, А. В. Кукарцев²

¹ ФГБОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

² ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева», г. Красноярск, Россия

УДК 622.377: 621.785.01]:669.186.3.043.1

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КВАРЦИТА, ИСПОЛЪЗУЕМОГО ДЛ Я ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Приведены результаты исследования влияния температуры на изменение энтальпии и теплоемкости кварцита, приводящее к изменениям его кристаллической решетки. Кварцит применяют в футеровке индукционных тигельных печей промышленной частоты. Выявлена закономерность изменения теплоемкости и энтальпии кварцита в процессе эксплуатации печи. Определена связь этого изменения с фазовыми превращениями в кристаллической решетке кварца и со свойствами материала, влияющими на стойкость футеровки.

Ключевые слова: кварцит, кристаллическая решетка кварцита, футеровка, индукционная печь промышленной частоты, энтальпия, теплоемкость.

Для индукционных тигельных печей промышленной частоты используют в основном кислую футеровку на основе кварцита, которая подвергается воздействию различных факторов: термических — высокая температура жидкого металла, резкие колебания температуры при нагреве и охлаждении, особенно при загрузке холодной шихты; механических — высокое давление жидкого металла, воздействие твердой шихты при загрузке в печь, эрозионное воздействие движущего расплава под влиянием электромагнитных сил, сжимающие и растягивающие усилия при повороте печи, вибрация индуктора; химических — реакции между расплавом, шлаком и материалом футеровки. Исходя из этого, изготовленная футеровка после уплотнения и спекания должна обладать следующими характеристиками:

— устойчивостью к воздействию жидкого расплава при его рабочей температуре и случайном ее превышении;

— обеспечивать выдержку рабочих температурных циклов и повторное расплавление металла после затвердевания;

— достаточной механической прочностью в холодном состоянии и при рабочей температуре плавки без значительной потери механических свойств;

— возможностью удаления футеровки без повреждения индуктора после окончания срока службы;

— высоким температурным градиентом между расплавом и индуктором, так как металл при проникновении в футеровку должен быстро закристаллизоваться (затвердеть) и не оплавить индуктор;

— сопротивляемостью эрозии и коррозии.

Кремнезем (кварцит) — именно тот материал, который (с учетом его стоимости) при определенных условиях может отвечать приведенным требованиям. Это обеспечивается его полиморфизмом: переход в более легкие модификации, сопровождающийся увеличением объема, компенсирует усадку футеровки при спекании и обеспечивает ее стабильный объем при частых теплосменах [1]. Технологические свойства кварцита определяются его химическим составом и в еще большей степени структурой и протекающими в нем фазовыми превращениями, которые сопровождаются изменениями энтальпии и теплоемкости. Характерная температура полиморфных превращений в кварците согласно ранее проведенным исследованиям: 117, 270, 573, 1025 и 1470 °С. Кроме того, при правильной эксплуатации индукционной тигельной печи промышленной частоты для выплавки чугуна необходимо знать, как будет работать футеровка при следующих температурах: 1550 °С — температура, при которой происходит выдержка футеровки по окончании процесса ее спекания; 1000–1050 °С — температура охлаждения печи при выпуске первой порции металла, без подзавал-



В. А. Кукарцев

E-mail: sarabernar777@mail.ru

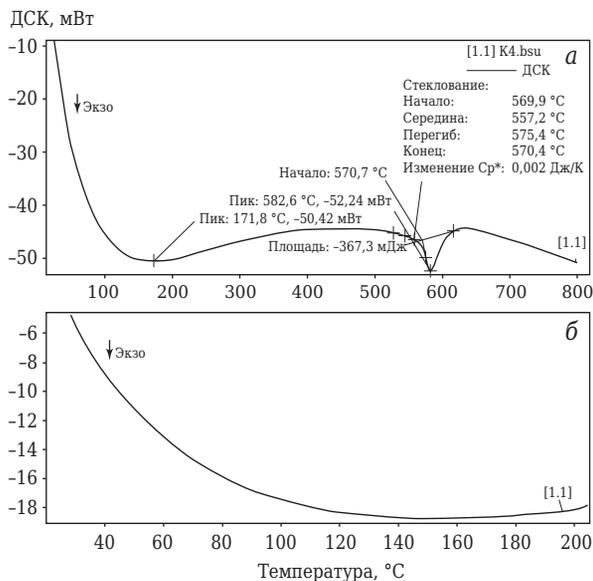


Рис. 1. Дериватограммы кварцита, прокаленного при 800 °С с выдержкой 2 ч (а) и при 200 °С с выдержкой 4 ч (б)

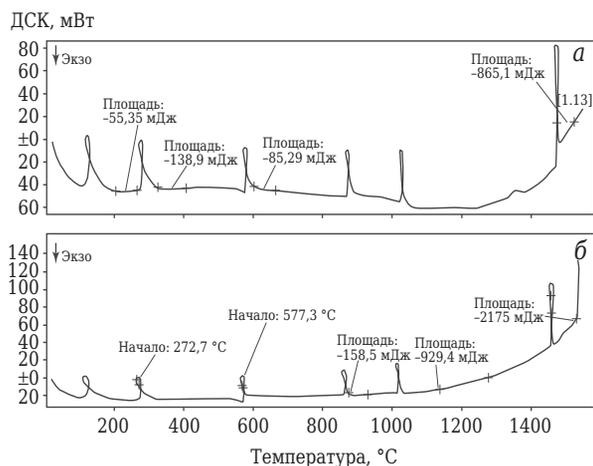


Рис. 2. Дериватограммы кварцита, прокаленного при 800 (а) и 200 °С (б) и подвергнутого спеканию в составе футеровки индукционной печи

ки; 1450–1470 °С — температура слива металла в зависимости от его марки; 800–900 °С — температура охлаждения футеровки при сливе металла и загрузке печи новой порцией шихты.

Цель экспериментов — выявление закономерностей изменения кристаллической решетки кварцита при его нагреве во время спекания и изменении температурного режима в процессе эксплуатации печи. В качестве исследуемого материала применяли кварцит марки ПКМИ-2 производства ОАО «Динур» по ТУ 1511-022-00190495–2003. Синхронный термический анализ проводили на приборе «NETZSCH STA 449C Jupiter» при скорости нагрева 10 К/мин. Скорость сбора точек — 100 точек/мин.

Использовали два корундовых тигля, в один был помещен исследуемый образец, другой тигель служил эталоном. Материал тигля определялся максимальной температурой нагрева образца и исследуемым веществом, которое не должно реагировать с тиглем. Для высокой точности измерений обеспечивали максимально возможную область контакта между исследуемым образцом и дном тигля и как можно более равномерное распределение исследуемого материала по тиглю [2]. Вначале были проведены два исследования, представляющие следующие режимы сушки (прокаливания) сырого кварцита: 1 — нагрев до 800 °С и выдержка в течение 2 ч; 2 — нагрев до 200 °С и выдержка в течение 4 ч. Результаты показаны на рис. 1.

В кварците, прокаленном по режиму 1, при 570 °С произошло интенсивное фазовое превращение с выделением тепла. На дериватограмме оно характеризуется площадью пика, или площадью термического эффекта образования новой фазы (энтальпией), численно равной –367,3 мДж. Фазовое превращение сопровождалось возникновением более разреженного агрегатного состояния (увеличением объема и снижением плотности за счет расширения кристаллической решетки). В кварците, прокаленном по режиму 2, таких изменений не зафиксировано.

После сушки и охлаждения кварцита готовили футеровочную массу в соответствии с общепринятой технологией, производили ее набивку и спекание по специальному графику. Максимальная температура спекания 1500–1550 °С. Изменения, происходящие в кварците (в процессе спекания футеровки), показаны на рис. 2. При нагреве до 1550 °С происходили фазовые превращения с выделением тепла, причем у кварцита, прокаленного при 800 °С, они примерно в 2 раза выше (по абсолютной величине).

Следующий этап — исследования кварцита при температурах, соответствующих температурам службы футеровки в процессе плавки (1470–1250–870 °С), непосредственно после спекания (исследовали 4 цикла плавки). Эти режимы сохраняются до полного технологического износа футеровки, т. е. до момента ее удаления. При правильной эксплуатации футеровка может выдержать 350–380 плавков в зависимости от вместимости печи [3]. Поэтому дальнейшему исследованию при указанных температурных режимах были подвергнуты обе разновидности кварцита (рис. 3). На основании полученных данных построены графики изменения энтальпии и теплоемкости кварцита (рис. 4), из которых можно сделать следующие выводы:

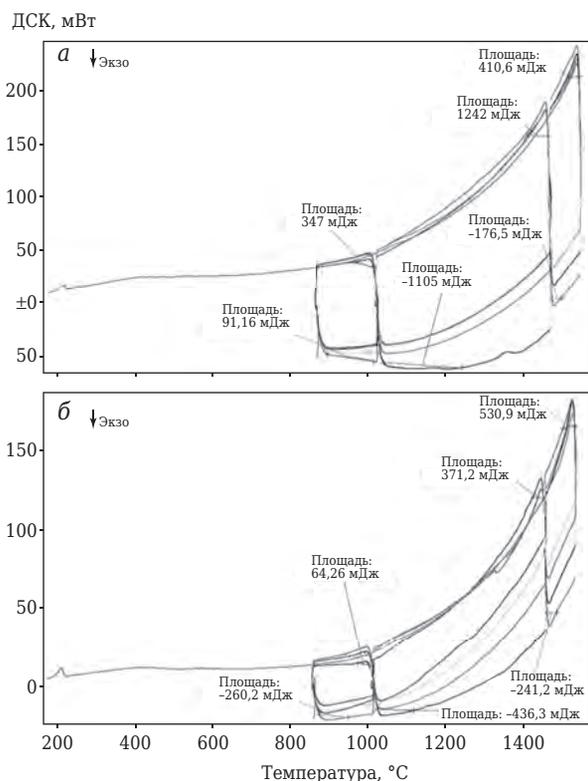


Рис. 3. Дериватограммы кварцита, прокаленного при 800 (а) и 200 °С (б) и подвергнутого после спекания рабочим режимам выплавки сплава

— из анализа графика изменения энтальпии кварцита, прокаленного при 200 °С, построенного по значениям площадей пиков, пропорциональных величине теплового эффекта или энтальпии, можно сделать вывод, что процесс поглощения теплоты практически в 2 раза превышает процесс ее передачи. По этой причине уменьшение объема превышает его увеличение и образуются фазы с большей плотностью;

— график изменения теплоемкости показывает, что λ-образные скачки, связанные с фазовыми превращениями, достаточно велики. Это означает, что образующаяся фаза имеет более плотную атомную упаковку;

— у кварцита, прокаленного при 800 °С, процесс передачи теплоты на 130 % превышает про-

Библиографический список

1. Платонов, Б. П. Индукционные печи для плавки чугуна / Б. П. Платонов, А. Д. Акименко, С. М. Багуцкая [и др.]. — М. : Машиностроение, 1976. — 176 с.
2. Топор, Н. Д. Термический анализ минералов и неорганических соединений / Н. Д. Топор [и др.]. — М. : МГК, 1987.
3. Кукарцев, В. А. Исследование рентгеновскими методами влияния температуры на межплоскостные расстояния кристаллической решетки первоуральского кварцита, используемого для футеровки

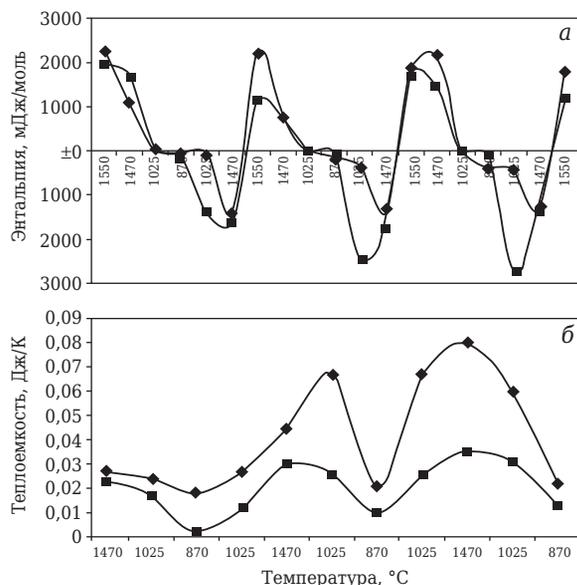


Рис. 4. Зависимости энтальпии (а) и теплоемкости (б) от температуры: ■ — кварцит, прокаленный при 800 °С; ◆ — кварцит, прокаленный при 200 °С

цесс ее поглощения. Суммарная теплота на фазовые превращения на 17,7 % больше, а λ-образные скачки на графике теплоемкости на 20 % ниже, чем у кварцита, прокаленного при 200 °С;

— все изменения происходят в слое футеровки, который подвергается спеканию (спекенный слой). Слой должен обладать высокой плотностью и как можно меньше отдавать теплоты в неспекенный или буферный слой. Этот слой должен компенсировать объемные изменения в футеровке, препятствуя появлению глубоких трещин, в которые может проникнуть жидкий металл. Исходя из этого, кварцит, прокаленный при 200 °С, лучше сопротивляется истиранию футеровки жидким металлом, меньше передает тепла в полуспеченный слой и замедляет износ футеровки;

— с экономической точки зрения применение кварцита, прокаленного при 200 °С, дает существенную экономию, так как обеспечивает снижение расхода электроэнергии, позволяет использовать низкотемпературные печи и не применять тару из жаростойких сплавов.

индукционных печей / В. А. Кукарцев, А. К. Абкьян // Новые огнеупоры. — 2013. — № 10. — С. 44–46.

Kukartsev, V. A. Study by X-ray methods of the effect of temperature on crystal lattice interplanar distances of pervoural'sk quartzite used for induction furnace lining / V. A. Kukartsev, A. K. Abkaryan // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 5. — P. 413–415. ■

Получено 25.02.14

© В. А. Кукарцев, А. И. Трунова, А. В. Кукарцев, 2014 г.