

К. т. н. М. А. Вартанян¹ (✉), Р. И. Герасимов¹, О. В. Пыренкин²,
К. т. н. И. Б. Долбилова², А. В. Ойстрах³, А. А. Сомов³

¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия

² ООО «ПКФ «Цемогнеупор», г. Подольск Московской обл., Россия

³ ООО «Теплопромпроект», Москва, Россия

УДК 666.762.1.043.2:536.21

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ПРОВОЛОКИ

Рассмотрена возможность применения метода горячей проволоки (метода крестовины) для определения теплопроводности теплоизоляционных материалов при высоких температурах. Проведенные испытания показали, что различие показателей, полученных методом горячей проволоки и стационарным стандартным, не превышает 12–15 %.

Ключевые слова: теплопроводность, метод горячей проволоки, теплоизоляционные материалы.

В последние годы взамен стационарных методов исследования теплофизических свойств (в частности, теплопроводности) керамических огнеупорных материалов различного назначения все чаще применяют нестационарные методы — метод зонда (нагретой нити), метод монотонного нагрева и метод температурных волн. Метод горячей проволоки, представляющий собой один из вариантов метода зонда, получил наиболее широкое распространение для определения теплофизических свойств огнеупоров в значительном интервале температур.

Метод горячей проволоки основан на закономерностях прогрева неограниченной среды, внутри которой помещена тонкая нить, разогреваемая электрическим током постоянной мощности. Преимуществами метода при определении теплопроводности огнеупоров являются простая форма образца (кирпич или его части в виде параллелепипеда), отсутствие ограничений на минимальную теплопроводность испытываемых материалов, возможность ограничиться одним датчиком температуры. Важно также, что в опыте рабочее изменение температуры мало и измеряется теплопроводность материала в условиях, близких к таковым при эксплуатации огнеупорного изделия в печи. Погрешность измерений при этом невелика (5–10 % для теплоизоляционных материалов) и зависит от качества регулирования температуры образца, его теплопроводности, точности измерений. Методом горячей проволоки можно с удовлетво-

рительной точностью определять теплопроводность при малых ее значениях — от 0,05 до 2,5 Вт/(м·К); по методике ГОСТ 12170 нижний предел определения теплопроводности огнеупоров составляет 0,18 Вт/(м·К). Данный метод удобен для определения теплопроводности зернистых и порошкообразных огнеупоров. Недостатками метода, ограничивающими его применение, являются значительная (до 15–20 %) погрешность измерений при испытаниях плотных огнеупоров с повышенной теплопроводностью (более 2,5 Вт/(м·К)), повышенные требования к квалификации оператора, а также сложность аппаратуры, обусловленная необходимостью точного регулирования температуры образца в процессе изотермической выдержки. Затруднено применение этого метода для определения теплопроводности анизотропных материалов [1]. Вместе с тем достоинства метода обусловили его широкое применение при испытании теплоизоляционных огнеупоров и позволили рекомендовать его в качестве международного стандарта (ISO 8894).

На кафедре химической технологии керамики и огнеупоров РХТУ им. Д. И. Менделеева разработан испытательный стенд, на котором реализуется один из вариантов метода горячей проволоки — метод крестовины с возможностью проведения испытаний до 1200 °С. Ранее с помощью данного стенда были выполнены исследования теплоизоляционных шамотных огнеупоров [2]. При этом получена убедительная сходимость значений эффективной теплопроводности с показателями материалов этого типа, определенными в стационарном режиме, погрешность измерений не более 10 %. В настоящей работе метод крестовины применили для определения эффективной теплопроводности



М. А. Вартанян
E-mail: mariavartanyan@mail.ru

сти теплоизоляционных материалов двух различных видов: волокнистых, на основе муллитокремнеземистого волокна, и неформованной теплоизоляции (керамзитобетонов) плотностью 96–300 и 600–1000 кг/м³ соответственно.

Подготовку образцов теплоизоляционных материалов и проведение испытаний осуществляли, как описано в статье [2]; испытания проводили в интервале 300–1200 °С. Результаты определения температурной зависимости эффективной теплопроводности исследуемых материалов приведены в табл. 1 и 2.

Различие экспериментальных результатов и имеющихся данных о теплопроводности исследуемых материалов, полученных при указанных температурах стационарным методом, не превышает 12–15 %, что делает метод горячей проволоки перспективным для определения теплопроводности теплоизоляционных материалов при высоких (до 1200 °С) температурах.

Библиографический список

1. **Lienhard IV, J. H.** A Heat Transfer Textbook. 4th ed. / J. H. Lienhard IV, J. H. Lienhard V. — Cambridge : Phlogiston Press, 2012. — 766 p.
 2. **Скидан, Б. С.** Высокотемпературные испытания теплоизоляционных огнеупорных материалов на тепло-

Таблица 1. Зависимость теплопроводности волокнистой теплоизоляции от температуры

Температура испытания, °С	Эффективная теплопроводность, Вт/(м·К), образцов плотностью, кг/м ³		
	96	128	300
600	0,11	0,11	0,10
800	0,11	0,12	0,11
1000	0,19	0,12	0,12
1200	0,25	0,14	0,11

Таблица 2. Зависимость теплопроводности керамзитобетона от температуры

Температура испытания, °С	Эффективная теплопроводность, Вт/(м·К), образцов плотностью, кг/м ³		
	580	830	1010
20	0,11	0,21	0,21
300	0,08	0,19	0,14
600	0,10	0,11	0,15
900	0,08	0,13	0,16

проводность / Б. С. Скидан, С. А. Борисов // Огнеупоры и техническая керамика. — 1999. — № 4. — С. 38–41. ■

Получено 23.05.16

© М. А. Вартамян, Р. И. Герасимов, О. В. Пыренькин, И. Б. Долбилова, А. В. Ойстрах, А. А. Сомов, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Shaping VI – Sixth International Conference on Shaping of Advanced Ceramics



Шейпинг VI – 6-я Международная конференция по получению высокотемпературной керамики

18–20 июля 2016 г.
г. Монпелье, Франция





Тематика:

- ◆ Порошковая технология (сверхтонкое дробление, гранулирование)
- ◆ Аддитивные технологии производства
- ◆ Формование из порошков (шликерное литье, замораживающее литье, гель-литье, сушка, горячее прессование, микроволновое спекание, SPS-спекание)
- ◆ Технологии быстрого прототипирования (стереолитография, струйная печать, применение лазера для формования, 3D печать)
- ◆ Пластическое формование (экструзия, литье под давлением)
- ◆ (Нано)волоконно-пряжильная технология (формование из расплава, электроформование)
- ◆ Пленкообразующие технологии (окувание, пленочное литье, покрытие распылением)
- ◆ Распыление (спрей-пиролиз, литье распылением)
- ◆ Электрофоретическое формование
- ◆ Процесс репликации, вспенивание, шаблонные методы (сублимационное литье с применением льда, мягкий шаблон)
- ◆ Численное моделирование / реология
- ◆ Керамические мембранные технологии
- ◆ Полимерные производные керамики

www.shaping6.org