

Общероссийский математический портал

А. В. Двуреченский, К. С. Мухамедьяров,  
В. А. Петров, В. Ю. Резник, Спектральная  
излучательная способность пирографита в ин-  
фракрасной области при высоких температурах,  
*ТВТ*, 1979, том 17, выпуск 5, 988–991

Использование Общероссийского математического портала Math-  
Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользова-  
тельским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.90

9 декабря 2024 г., 15:41:27



УДК 535.231.

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПИРОГРАФИТА В ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Двуреченский А. В., Мухамедьяров К. С., Петров В. А.,  
Резник В. Ю.*

Приводятся результаты экспериментального исследования спектральной нормальной излучательной способности пирографита в области 2–5,1 мкм в диапазоне 1073–1473 К для поверхности, параллельной поверхности осаждения. В этом интервале температур не обнаружено температурной зависимости спектральной излучательной способности пирографита.

Исследование излучательной способности пирографита представляет большие трудности, в значительной мере связанные с сильной анизотропией его свойств. Если в направлении, параллельном поверхности осаждения, теплопроводность может составлять несколько сотен Вт/м·град, то в направлении, перпендикулярном поверхности осаждения, она может быть менее 1 Вт/м·град. При измерении излучательной способности пирографита с поверхностью, параллельной поверхности осаждения (будем в дальнейшем называть ее  $a$ -поверхностью, поскольку параллельно ей выстраиваются  $a$ -оси кристаллов), наибольшую трудность представляет определение истинной температуры излучающей поверхности. Даже в тонком покрытии перепады температур могут достигать десятков и сотен градусов, поэтому практически нельзя внутри исследуемого образца создать модель черного тела, находящуюся при температуре, равной температуре излучающей поверхности. Это делает невозможным использование для измерений спектральной излучательной способности традиционного и весьма точного метода трубки, хорошо зарекомендовавшего себя при изучении металлов и других электропроводных материалов. В связи с этим не удивительно, что спектральная излучательная способность пирографита мало изучена [1].

Сложная задача изучения спектральной излучательной способности пирографита может быть решена лишь на основе методов, пригодных для исследования малотеплопроводных керамических материалов. Поэтому нами использовалась высокоскоростная установка, на которой проводилось исследование излучательных характеристик частично прозрачных материалов [2].

Особенность метода — раздельное последовательное измерение излучения модели черного тела и образца. Образец помещался на расстояние 2–4 мм от дна модели черного тела, выполненной в виде графитовой цилиндрической полости.

Образец до стационарного состояния нагревался непосредственно в модели черного тела. Перед измерением излучения образца печь сбрасывалась вниз и ее излучение перекрывалось водоохлаждаемым зачерненным экраном, что обеспечивало устранение попадания на приемник постороннего излучения. Для устранения влияния охлаждения образца на резуль-

таты измерений осуществлено быстрое сканирование спектра во всем исследуемом спектральном диапазоне (время сканирования 20 мс).

Большое значение при исследовании излучательной способности таким методом имеет создание и оценка степени совершенства модели черного тела, представляющей собой цилиндрическую полость из графита ВПП с отношением длины  $L$  к радиусу  $R$ , равным 4. Снаружи графитовую печь покрывали титановой фольгой, которая с одной стороны обеспечивала

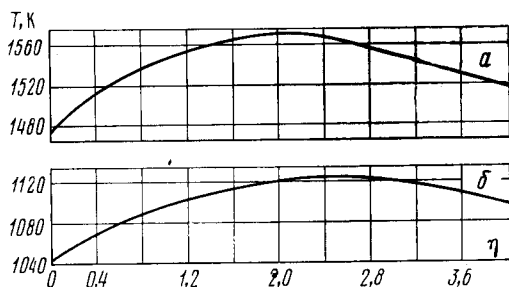


Рис. 1. Поле температур по образующей внутренней поверхности полости ( $\eta=L/R$ ): а - температура дна полости 1470; б - 1043 К

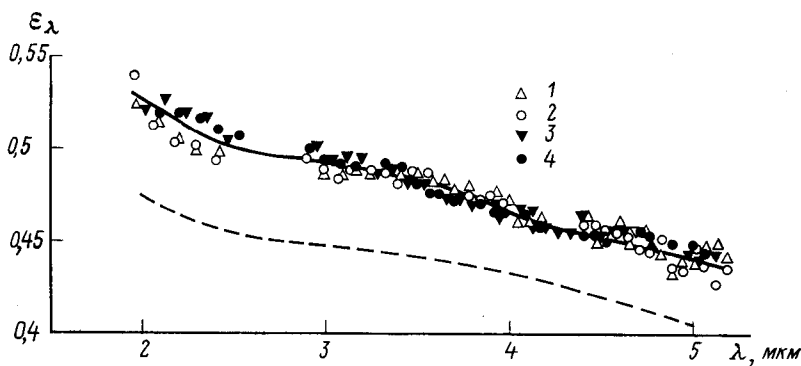


Рис. 2. Спектральная излучательная способность пирографита: 1, 2 - первая и вторая серии измерений при 1473 К; 3, 4 - первая и вторая серии измерений при 1073 К

повышение вакуума при высоких температурах, а с другой полностью экранировала образец от воздействия электромагнитного излучения. Печь помещалась в поле высокочастотного электромагнитного индуктора.

Поле температур по образующей внутренней поверхности полости для различных температур дна представлено на рис. 1.

\* Вычисление спектральной эффективной излучательной способности данной неизотермической модели абсолютного черного тела проводили на основании решения интегральных уравнений лучистого теплообмена в предположении о диффузном характере излучения и отражения при постоянной температуре дна\*. Спектральная излучательная способность материала полости взята из [1] и для длин волн 2, 3, 4 и 5 мкм ее значения соответственно 0,91, 0,80, 0,86, 0,80. Для проверки правильности работы программы результаты расчета эффективной излучательной способности модели черного тела для изотермической и неизотермической полостей (для  $L/R=8$ ,  $\epsilon=0,75$  и коэффициента неизотермичности 0 и 0,3) сравнивались с литературными данными [3-5]. Максимальное расхождение не превышало  $\pm 0,1\%$ .

\* Расчеты проводились на ЭВМ БЭСМ-6 по методике и программе, предложенной С. П. Русиним [3], которому авторы выражают искреннюю благодарность за помощь.

В табл. 1 приведены результаты расчета эффективной спектральной излучательной способности центра дна используемой модели черного тела. В процессе обработки экспериментальных данных вводилась поправка на отличие эффективной спектральной излучательной способности от единицы. Исследуемые образцы пирогрфита с излучающей  $a$ -поверхностью представляли собой шайбы диаметром 40 и толщиной 2 мм. Важным методическим аспектом в проведенных исследованиях является условие равенства температуры образца и температуры дна печи. О его выполнении свидетельствовало совпадение показаний инфракрасного пирометра, работающего в интервале 4,8–5,6 мкм, который градуировался по черному

Таблица 1

Эффективная излучательная способность центра дна модели черного тела

T, К	$\lambda$ , мкм			
	2	3	4	5
1043	1,0251	1,0151	1,0128	1,0112
1470	1,0154	1,0090	1,0071	1,0052

телу и визировался сверху на подвешенный в полость образец, и показаний радиационного пирометра РАПИР, который визировался на дно полости снизу. Кроме того, об отсутствии систематической погрешности, вызванной возможным отличием температуры образца от температуры дна модели черного тела, косвенно свидетельствовало совпадение (в пределах 1%) результатов измерений излучательной способности одного и того же образца поликристаллического графита на двух различных установках [6].

Исходный пирогрфит, полученный при температуре осаждения 2400 К,

Таблица 2

Спектральная излучательная способность пирогрфита

$\lambda$ , мкм	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
$\epsilon_\lambda$	0,528	0,522	0,516	0,511	0,506	0,502	0,499	0,498	0,496	0,494	0,492	0,491	0,489	0,487	0,485	0,483
$\lambda$ , мкм	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1
$\epsilon_\lambda$	0,480	0,477	0,474	0,470	0,467	0,463	0,460	0,457	0,455	0,453	0,451	0,449	0,446	0,444	0,442	0,440

подвергался термомеханической обработке при давлении  $29,4 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> и температуре 3173 К в течение 30 мин. Тем самым удалось получить достаточно совершенную структуру, по свойствам приближающуюся к структуре монокристалла. Плотность составляла 2,24–2,26 г/см<sup>3</sup>, размер кристаллитов по оси  $a$  – 30–40 мкм, межслоевое расстояние – 3,355 Å.

Проведено по две серии измерений при температурах: 1073 и 1473 К. Погрешность полученных экспериментальных данных (рис. 2) при 95%-й доверительной вероятности составляла 4–6%.

Как видно из рис. 2, описать температурную зависимость спектральной излучательной способности в исследованном интервале температур весьма трудно. Полученные опытные точки для температур 1073 и 1473 К осреднены одной кривой, при этом разброс точек относительной кривой не превышал 2,5%. Осредненные данные приведены в табл. 2.

Как следует из обзора, приведенного в [1], спектральная нормальная излучательная способность  $a$ -поверхности пирогрфита подробно изучена

лишь в работах Аутио и Скала [7, 8], в интервале 1100—1400 К эти авторы также не обнаружили температурной зависимости  $\epsilon$ . Данные [8] для пирографита, прошедшего термомеханическую обработку при 3173 К и  $27,6 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, показаны на рис. 2. Расхождения в значениях спектральной излучательной способности наших данных и данных [8] не превышают 10%, что можно объяснить возможным влиянием в [8] охлаждения образца во время его перемещения к водоохлаждаемой смотровой трубе, которое длилось  $\sim 3$  с.

Полученные в данной работе результаты, по-видимому, можно считать характеристикой монокристаллического графита, к которому близка структура исследованных образцов. Образцы для исследований любезно предоставлены Е. Н. Люкшиным, которому авторы выражают глубокую благодарность.

Институт высоких температур  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
12 II 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спр. Излучательные свойства твердых материалов (под ред. А. Е. Шейндлина), «Наука», 1974.
  2. А. В. Дзуреченский, В. А. Петров, В. Ю. Резник. Измерительная техника, № 10, 1977.
  3. С. П. Русин. ИФЖ, 25, № 2, 1974.
  4. Е. М. Спэрроу, Е. Эккерт, Л. В. Алберс. Теплопередача, № 1, 1962.
  5. В. Реаву. J. Res. Nat. Bur. Stand., C. Engin. and Instrum., 70C, № 2, 1966.
  6. В. А. Петров, В. Ю. Резник. ТВТ, 10, № 2, 1972.
  7. G. W. Autio, E. Scala. Carbon, 4, 13, 1966.
  8. G. W. Autio, E. Scala. Carbon, 6, 41, 1968.
-