

$$t_{г.в} = t_{в} + \frac{Q}{c_{в} V_{в}}, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

ВЫВОД

Предложен метод теплового расчета газомазутной горелки для двух-ступенчатого сжигания природного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошпольский В. И., Несенчук А. П., Трусова И. А. Промышленные теплотехнологии. - Мн.: Выш. шк., 1998. - Ч. 3. - 422 с.
2. Шевелюк М. И. Теоретические основы проектирования жидкостных ракетных двигателей. - М.: Оборонгиз, 1960 - 684 с.
3. Липов Ю. М., Самойлов Ю. Ф., Виленский Т. В. Компоновка и тепловой расчет парового котла. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 208 с.
4. Жихар Г. И. Физико-химические процессы в газомазутных котлах. - Мн.: Тэхналогія, 2002. - 325 с.
5. Маршак Ю. Л., Рыжиков А. В.. Шиповые экраны топок паровых котлов. - М.: Энергия, 1969. - 240 с.
6. Шатиль А. А. Сжигание природного газа в камерах газотурбинных установок. - Л.: Недра, 1972.-232 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 3.02.2003

УДК 536.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Докт. техн. наук, проф. ТАЙМАРОВ М.А., инж. ЛАВИРКО Ю.В., ТАЙМАРОВ В.М

Казанский государственный энергетический университет

Имеющиеся в научной и справочной литературе данные по интегральной степени черноты материалов сильно различаются между собой [1,2]. Это обусловлено не только инструментальной погрешностью экспериментов, но и неточностями в описании исходного состояния поверхности, скоростью нагрева, химического состава исследуемых материалов [3,4]. Важным этапом получения надежных данных является разработка методики получения повышенных температур излучающей поверхности при исследовании степени черноты.

В настоящей работе предлагается методика экспериментального исследования интегральной степени черноты материалов при нагреве на воздухе с помощью пропано-кислородной горелки (рис. 1).

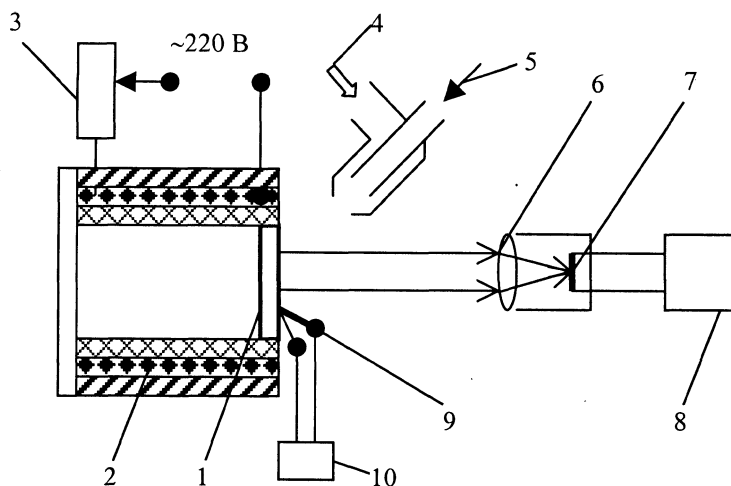


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и измерений при нагреве образцов материалов в области температур 1000...2000 К: 1 – образец; 2 – спираль электронагрева трубочатой печи; 3 – трансформатор типа ЛАТР; 4 – подача пропана; 5 – подача кислорода; 6 – флюоритовая линза; 7 – приемник излучения (термостолбик); 8, 10 – регистрирующий вторичный прибор; 9 – термопара

Реализация этого метода нагрева выполнена в двух вариантах. В первом – горелка размещалась с тыльной стороны образцов по отношению к приемнику излучения.

В этом случае достигалась температура на поверхности образцов до 1200 К в зависимости от их толщины и теплопроводности. Пламя пропано-кислородной горелки при измерениях потока излучения не попадало в поле зрения приемника излучения, а продукты сгорания отсасывались вентилятором.

Во втором варианте для получения высоких температур на излучающей поверхности образцов горелка устанавливалась со стороны приемника излучения (рис. 1). Для обеспечения равномерности прогрева образцов здесь применен дополнительный обогрев образцов с тыльной стороны при помощи трубочатой электропечи.

Диаметр изотермической (в пределах $\pm 7^\circ\text{C}$) площадки поверхности образца при нагреве пламенем горелки в 2,5 раза превышал диаметр площадки визирования приемника теплового излучения. Поэтому влияние резкого градиента температур по поверхности образца на границе пламени исключалось.

Температура образцов в первом варианте измерялась с помощью трех хромель-алюмелевых термопар, во втором – с помощью платино-родиевых термопар ПР-30/6 с диаметром термоэлектродов 0,3 мм.

При работе с металлическими образцами рабочие спаи термопар зачеканивались заподлицо с поверхностью образцов; с огнеупорами – термопары укладывались в канавки глубиной 0,5, 0,8, 1,1 мм и покрывались сверху огнеупорным составом. Значения температур на излучающей по-

верхности образцов определялись путем экстраполяции показаний термопар на нулевую глубину размещения термопар от поверхности.

Оптическая часть установки выполнена по рефракторной схеме с применением в качестве фокусирующей тонкой флюоритовой линзы 6 (рис. 1). В установке использован термостолбик типа «звездочка», составленный из 10 хромель-копелевых термопар с диаметром термоэлектродов 0,07 мм.

Для компенсации колебаний температуры окружающей среды параллельно термостолбику включено сопротивление из очень тонкой медной проволоки. Подобрано оно таким образом, чтобы за счет изменения его проводимости при колебаниях температуры окружающего воздуха компенсировалось изменение термо-ЭДС по сравнению с градуировочным значением.

В процессе градуирования приемника излучения на установке во втором варианте (рис. 1) при экспериментах с образцами огнеупоров полость модели абсолютно черного тела на выходе дополнительно подогревалась пламенем пропано-кислородной горелки для создания условий, идентичных условиям при нагреве образцов огнеупоров.

Уравнения тепловых балансов на приемнике имеют вид:

- для фонового излучения

$$dE_{\phi 1-1} + dE_{\phi 1-2} - E_n = KC_1; \quad (1)$$

- для излучения абсолютно черного тела (АЧТ) без горелки

$$dE^0 + dE_{\phi 2-1} + dE_{\phi 2-2} - E_n = KC_2; \quad (2)$$

- для излучения образца при нагреве его без горелки со стороны приемника излучения

$$d\varepsilon E^0 + dE_{\phi 3-1} + dE_{\phi 3-2} + drE_{\phi 3-1} + drE_{\phi 3-2} - E_n = KC_3, \quad (3)$$

где d , K , C , E_n – пропускательная способность, постоянная, сигнал и обратный поток приемника; $E_{\phi 1-1}$, $E_{\phi 1-2}$ – плотности фонового излучения на участках до и после горелки; E^0 – плотность излучения АЧТ; ε , r – излучательная и отражательная способности образца.

С погрешностью $\pm 0,07$ % по отношению к излучению АЧТ при $T = 800$ К можно принять: $E_{\phi 1-1} = E_{\phi 2-1}$, $E_{\phi 1-2} = E_{\phi 2-2}$.

Тогда из совместного решения (1) и (2) можно получить

$$DE^0 = K(C_2 - C_1). \quad (4)$$

Из уравнений (1) и (3) имеем

$$d\varepsilon E^0 + drE_{\phi 3-1} + d\varepsilon E_{\phi 3-2} = K(C_3 - C_1). \quad (5)$$

С погрешностью метода $\pm 1,1$ % при температуре образца $T = 900$ К можно принять

$$\varepsilon = (C_3 - C_1)/(C_2 - C_1). \quad (6)$$

Уравнения тепловых балансов при нагреве образцов огнеупоров пламенем со стороны приемника излучения записываются в виде:

- для излучения горелки

$$dE_r + da_r E_{\phi 4-1} + dE_{\phi 4-2} - E_n = KC_4; \quad (7)$$

- для излучения АЧТ с горелкой

$$da_r E^0 + dE_r + da_r E_{\phi 5-1} + dE_{\phi 5-2} - E_n = KC_5; \quad (8)$$

- для излучения образца с горелкой

$$d\epsilon a_{r6} E^0 + dra_{r6} E_{\phi 6-1} + dE_{r6} + dra_{r6} a_{r6} E_{r6} + dra_{r6} a_{r6} E_{\phi 6-2} + dE_{\phi 6-2} - E_n = KC_6, \quad (9)$$

где E_r , a_r , E_{r6} , a_{r6} – плотность излучения и поглощательная способность пламени горелки перед образцом и пламени, отклоненного поверхностью образца.

Из совместного решения уравнений (7) и (8) получаем

$$da_r E^0 + da_r E_{\phi 5-1} - da_r E_{\phi 4-1} = K(C_5 - C_4) \quad (10)$$

или

$$a_r = K(C_5 - C_4) / (dE^0 + dE_{\phi 5-1} - dE_{\phi 4-1}). \quad (11)$$

С погрешностью +1,1 % можно принять для фонового излучения $dE_{\phi 5-1} = dE_{\phi 4-1}$.

Тогда выражение (11) с учетом (4) примет вид

$$a_r = (C_5 - C_4) / (C_2 - C_1). \quad (12)$$

Из совместного решения уравнений (7) и (9) находим

$$d\epsilon a_{r6} E^0 + dra_{r6-1} E + dra_{r6} E_{r6} + dra_{r6} a_{r6} E_{\phi 6-2} - da_r E = K(C_6 - C_4). \quad (13)$$

С погрешностью +0,5 % по отношению к излучению абсолютно черного тела при $T = 1100$ К из выражения (13) следует

$$d\epsilon E^0 + dr E_{r6} = K(C_6 - C_4)(C_2 - C_1) / (C_5 - C_4). \quad (14)$$

Так как $r = 1 - a = 1 - \epsilon$, можно записать

$$d\epsilon E^0 + dE_{r6} - d\epsilon E_{r6} = K(C_6 - C_4)(C_2 - C_1) / (C_5 - C_4). \quad (15)$$

Совместное решение уравнений (1) и (7) в пределах погрешности +1,1 % дает

$$dE_r = K(C_4 - C_1). \quad (16)$$

Подставив это выражение в (15), можно получить формулу для расчета степени черноты материалов при нагреве их пламенем горелки, расположенной со стороны приемника излучения:

$$\varepsilon = (C_6 - C_4)(C_2 - C_1) - (C_5 - C_4)(C_4 - C_1) / (C_5 - C_4)(C_2 - C_4). \quad (17)$$

Получаемое по формуле (17) значение степени черноты образцов огнеупоров следует умножить на эффективную степень черноты используемой модели абсолютно черного тела 0,995.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования излучательной способности магнезитохромитовых огнеупоров, полученные по изложенной выше методике. Образцы огнеупоров взяты на Запорожском огнеупорном заводе. Основой магнезитохромитовых огнеупоров является окись магнезия, а окисел хрома служит добавочным компонентом, содержание которого не превышает 25 %.

Интегральная степень черноты магнезитохромитовых огнеупоров повышается с увеличением содержания в них окиси хрома и со снижением температуры нагрева (табл. 1).

Таблица 1

Интегральная нормальная степень черноты магнезитохромитовых огнеупоров ε_n при нагреве на воздухе в зависимости от температуры образцов огнеупоров T, K

Марка огнеупора (содержание окиси хрома, % по массе)	ε_n при температуре T, K							
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Хромитопериклаз ХМ (22)	0,88	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,74	0,72
Хромитопериклаз ХПКК (19)	0,86	0,82	0,72	0,75	0,73	0,71	0,70	0,69
Периклаз ПХС (10)	0,84	0,79	0,74	0,70	0,67	0,64	0,63	0,62
Магнезит ПБС-88 (4)	0,65	0,58	0,53	0,50	0,48	0,47	0,46	0,45
Хромомагнезит ПХМ-1 (25) [4]	–	–	0,85	0,82	0,81	0,79	–	–

ВЫВОДЫ

1. Разработанные оборудование и методика позволяют проводить исследование радиационных свойств материалов при повышенных температурах.

2. Для практического использования при футеровке котлов и печей в целях интенсификации лучистого теплообмена предпочтительными являются магнезитохромитовые огнеупоры с повышенным содержанием в них окиси хрома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Излучательные свойства твердых материалов: Справ. / Под общ. ред. А. Е. Шейндлина. – М.: Энергия, 1974. – 472 с.
2. Блох А. Г., Журавлев Ю. А., Рыжков Л. Н. Теплообмен излучением: Справ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Таймаров М. А. Лабораторный практикум по курсу «Котельные установки и парогенераторы». – Казань, КГЭУ, 2002. – 140 с.
4. Брюханов О. Н., Крейнин Е. В., Мاستрюков Б. С. Радиационный газовый нагрев. – Л.: Недра, 1989. – 295 с.

Поступила 18.04.2003