

***Особенности применения средств измерения высоких температур в производстве огнеупорных изделий***

И. Пиданов, инженер метролог, ОАО «Запорожогнеупор», г. Запорожье, Украина

Обжиг огнеупорных изделий в туннельной печи является завершающим этапом выпуска качественной продукции в огнеупорном производстве. Контроль и поддержание заданной температуры в зоне обжига - это одна из главных задач производства, которой совместно занимались в 60-х годах, на предприятии ОАО «Запорожогнеупор», Центральное проектное конструкторское бюро (ЦПКБ) Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР и Всесоюзный институт огнеупоров [1].

Рассматривался вопрос измерения температуры в зоне обжига изделия телескопом радиационного пирометра «Тера -50» с регистрацией на вторичном приборе. Но пирометр «Тера -50» - пирометр полного излучения, измеряет не реальную температуру ( $T$ ), а так называемую *радиационную* температуру тела ( $T_p$ ), которая ниже из-за меньшей излучательной способности тел ( $\epsilon_T$ ). Поэтому подгонку показаний вторичного прибора рекомендовалось осуществлять по показаниям оптического (квазимонохроматического) пирометра «Проминь».

С того времени на ОАО «Запорожогнеупор» технологический процесс связывают не с действительной измеренной температурой, а привязывают к показаниям пирометра «Проминь», что вполне допустимо из-за сложности определения систематической ошибки измерения. В свою очередь, «Проминь» показывает *яркостную* температуру тела ( $S$ ), т.к. реальная температура ( $T$ ) выше из-за меньшей излучательной способности тел ( $\epsilon_{\lambda T}$ ).

Справочные данные по излучательной способности материалов. Таблица №1

Материал	Температура, °С	Излучательная способность $\epsilon_T$	Материал	Температура, °С	Излучательная способность $\epsilon_T$
Кирпич -шамотный	20	0,85	Кирпич		
-шамотный	1000	0,75	огнеупорный	1000...	
-шамотный	1200	0,59	магнезитовый	1300	0,38

Квазимонохроматический пирометр «Проминь» и пирометр полного излучения «Тера 50» можно применять [2] без учета поправок только при степени черноты объекта больше 0.9, что практически не всегда выполняется. Поэтому, без учета поправки эти пирометры пригодны только для сравнительно грубых измерений.

Основные факторы, влияющие на степень черноты [2]:

- окисление и загрязнение поверхности излучающего тела;
- степень шероховатости поверхности тела;
- колебания состава материала и доля примесей;
- наличие задымленности и пыли в поле измерения;
- неоднородность тела.

Исходя из вышперечисленного: определив действительную температуру в зоне обжига и степень черноты «идеального» изделия, сформованного без нарушения технологического процесса, можно сделать предположение, что по отклонению температуры излучения изделия можно судить о качестве продукции на стадии обжига. Это важно при принятии решения о целесообразности продолжения процесса обжига данного объекта.

Рассмотрим некоторые особенности измерения температуры пирометрами, которые применяются на нашем производстве: переносным «Проминь» и стационарным «Тера 50».

#### 1. Визирование:

- с помощью окуляра, через визирную трубу, наводится объектив пирометра «Проминь» на изделие в печи и при правильной эксплуатации нить накала сливается с нагретым изделием (Рис. 2), в этот момент и производится отсчет показаний;
- с помощью линзы окуляра, через визирную трубу, наводится объектив пирометра «Тера 50» на изделие в печи (Рис. 1) и при правильной установке поле садки нагретых изделий равномерно распределяется по термобатарей.

#### 2. Крепление:

- при проведении измерений температуры позиция пирометра «Тера 50» жестко фиксируется;
- при проведении измерений температуры позиция пирометра «Проминь» не фиксируется, но показания не столько зависят от твердости руки, как от особенности зрения оператора.

При многократных измерениях показания температуры практически не менялись, т.к. эти пирометры показывают усредненное значение температуры поля садки нагретых изделий.

Эти данные отражают выводы, сделанные в 60-х годах [1], что щели в садке изделий не вносят существенной погрешности в измерения **[радиационной]** температуры пирометрами «Тера 50» и «Проминь».

**[1. Истинную температуру изделия не можем измерить, так как не знаем коэффициент излучательной способности. Необходимо рассмотреть влияние щели на измерение температуры отдельно. ]**

Рис. 1

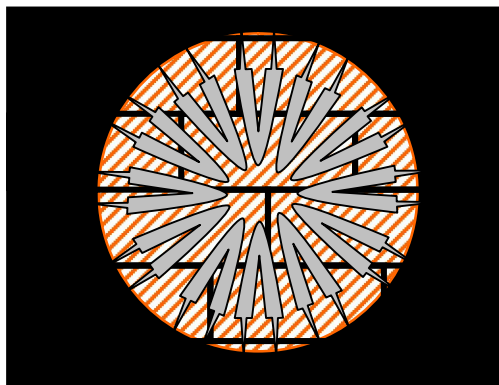
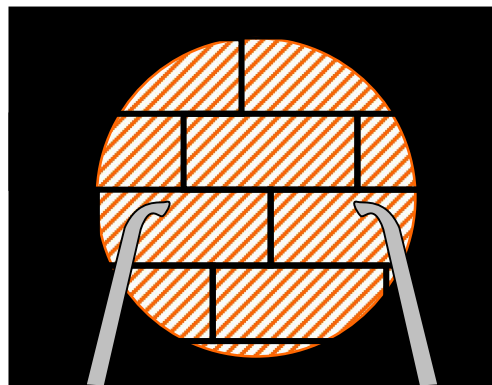


Рис. 2



С внедрением на производстве в январе 2003 года системы менеджмента качества, в соответствии с требованиями EN ISO 9001:2000, остро стала необходимость в более точных средствах измерения высоких температур. При их выборе необходимо учитывать разнообразные факторы, влияющие на достоверность показаний. Рассмотрим **контактный** и **бесконтактный** методы измерения температуры. Более достоверный и простой метод - *контактный метод измерения*, можно реализовать на термопреобразователе ТПР-0192 или на аналогичных термоэлектрических преобразователях *ТПР-1788, ТПР МЕТРАН-212-01*, с необходимой точностью (таблица №2). Но эксплуатация термопар в жестких условиях непрерывного процесса измерения температур выше  $1000^{\circ}\text{C}$  приводит к метрологическому отказу. Например, группа предприятий «Метран» дает гарантию на ресурс работы термоэлектрических преобразователей ТПР МЕТРАН-212-01 при номинальной температуре измерения  $t_{\text{ном}}=1300^{\circ}\text{C}$ , не менее 6000 часов ( $\approx 8$  месяцев). Но при измерениях температуры выше номинальной (для ТПР-0192  $t_{\text{ном}}=1300^{\circ}\text{C}$ ) резко уменьшается время их работоспособности, менее 1000 часов, что приводит к дополнительным затратам на приобретение и замену, **поэтому применять контактный метод измерения экономически не выгодно**. На нашем предприятии применяется *бесконтактный метод* измерения высоких температур, который основан на принципе теплового излучения тел. На реальных объектах были опробованы переносные пирометры типа: **VF 300, Raynger 3i2M, ДПР-1** (таблица №2), использующие разные принципы измерения температуры. Начальные установки, заложенные предприятиями-изготовителями, в пирометрах не изменялись (по умолчанию). Особенности

измерения температуры переносными пирометрами типа: **VF 300**, **Raynger 3i2M**, **ДПР-1**.

1. Для наведения, на изделие в печи через визирную трубу:

- в пирометре **VF 300** предусмотрен оптический видоискатель прямого обзора;

- в пирометре **Raynger 3i2M** - оптический видоискатель прямого обзора;

- в пирометре **ДПР-1 «Сова»** - точечный лазерный прицел и оптика.

2. При проведении измерений температуры позиция переносных пирометров жестко не фиксируется и зависит от твердости руки оператора. Поэтому, отсчет показаний может происходить в произвольных точках, указанных на рисунке 4.

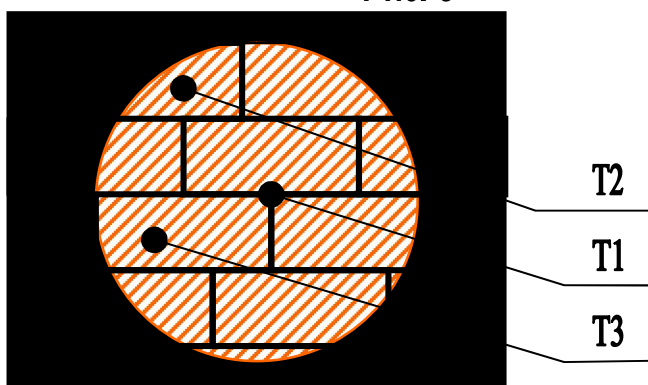
Проводя многократные измерения было установлено, что фиксируемая температура в точках T1, T2, T3 распределяется следующим образом:  $T1 > T2 > T3$ , причем:

$$T1 - T2 \approx 10...15 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \Delta T = T2 - T3 \approx 5...7 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{Рис.3}).$$

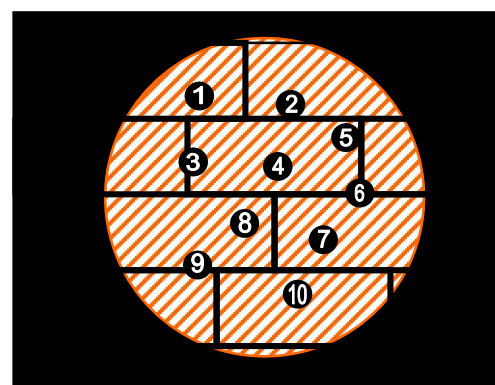
В нижней точке визирования на изделии температура T3 ниже, чем температура в верхней точке T2. Между кирпичами фиксируется температура выше, чем на самом изделии.

Поэтому, при измерении температуры оператору (субъекту) приходится считывать показания величины с разными значениями, что приводит к замешательству и неправильному выводу о неработоспособности пирометра.

**Рис. 3**



**Рис. 4**



Но если усреднить значения показаний пирометра **VF 3000** (или **Raynger 3i2M** или **ДПР-1**), то среднее значение будет соответствовать значениям, снятым с показаний пирометров «Проминь» (или «Тера»):

Поэтому, на пирометре **VF 3000** был установлен:

- одноцветный режим;

-усреднение значений;

-коэффициент излучательной способности оставлен 1,0.

При введении этих настроек показания пирометра VF 3000 совпали с показаниями пирометра «Проминь». Это означает, что пирометр VF 300 тоже измеряет не действительную температуру и необходима коррекция коэффициента излучательной способности изделия. Если допустить, что изделия относятся к серым излучателям, т.е. коэффициент излучательной способности не меняется в широком диапазоне температур, тогда для измерения **действительной** температуры, необходимо при температуре в печи  $t \approx 1000^{\circ}\text{C}$  проводить измерение термопарой и пирометром. По показаниям термопары подбирают коэффициент излучательной способности изделия и устанавливают это значение в установках пирометра, затем проводят повторные измерения до совпадения результатов измерения. Во время опробования и при эксплуатации переносных пирометров установлено:

1. Пирометр **Raynger 3i2M** удобен в эксплуатации, неплохая оптика, но в процессе работы вышел из строя чувствительный элемент.
2. Пирометр **ДПР-1 «Сова»** при очень высоких метрологических показателях в эксплуатации, как переносной прибор, неудобен, тяжелый, через оптику не видно садки, а навести лазерный прицел на изделие в садке очень затруднительно.
3. Пирометр **VF 300** очень удобен в эксплуатации, функционален, с высокими метрологическими характеристиками.

В процессе проведения опробования пирометров, была установлена тенденция распределения температуры внутри туннельной печи в зоне обжига, которую еще необходимо подтверждать. Если допустить, что процесс передачи теплоты в печи осуществляется конвекционным способом, то по распределению температуры визируемой внутри трубы диаметром  $d=60...70$  (мм)\* при разнице температуры в  $5^{\circ}\text{C}$  можно судить о распределении температуры внутри печи. Исходя из этого, разница температуры между верхом и низом садки изделий, при высоте садки  $h \approx 800...1000$  мм, составит  $66^{\circ}\text{C}$ .

$$\Delta t \approx (800 \text{ мм}/60\text{мм}) \times 5^{\circ}\text{C} \approx 66^{\circ}\text{C}.$$

### **[\* Реально оказалось:**

- 1. Размер отверстия в кладке печи, произвольной формы, больше в несколько раз, что приводит к дополнительному сопротивлению потоку воздуха в канале печи, вызывает турбулентность и как результат задувание факела на обжигаемые изделия.**
- 2. Воздушное охлаждение пирометров добавляет в канал печи, под постоянным давлением, сжатый воздух, что может вносить в процесс сжигания отклонения.**
- 3. Поле визирования «Тера-50» фиксировано и в данных условиях, не совпадает с полем визирования «Проминь», дает дополнительную погрешность в измерениях. ]**

При проведении исследований ЦПКБ не рассматривало вопрос распределения температуры внутри канала печи и влияния ее на обжиг, вероятно по причине особенности конструкции печи, которая не предусматривает дополнительной установки визирных труб и дополнительных средств измерения. Таким образом, данные, полученные при опробовании современных пирометров, поставили новые вопросы, очень важные для повышения качества выпускаемой продукции. Практика показала, что необходимо тщательно подходить к выбору типа пирометра, его функциональным возможностям, применительно к конкретным условиям производства.

Литература:

[1]- Ксендзовский В.Р. Автоматизация печей огнеупорной промышленности.- Москва:

Издательство «Металлургия», 1967,-176с.

[2]- Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К., и др. Температурные измерения/ Справочник.- Киев: Наук. думка, 1989.-704с.

[3]- Гордов А.Н. Основы пирометрии.- Москва: Издательство «Металлургия», 1964,-160с.

Таблица №2

Метод измерений		Контактный	Бесконтактный				
Вид измерений		Прямое измерение газообразных сред	Оптическая пирометрия (яркостная)	Радиационная пирометрия			Цветовая пирометрия
Принцип измерений		Термоэлектрический	Квазимонохромный (визуальный)	Полного излучения (суммарного)	Узкополосный радиационный*	Частичного излучения	Спектрального отношения
Наименование и тип рабочих средств измерения		Термопреобразователь <b>ТПР-0192</b>	Пирометр визуальный <b>Проминь</b>	Телескоп радиационного пирометра, РС20 <b>ТЕРА-50</b>	Портативный бесконтактный термометр <b>VF3000*</b>	Термометр Радиационный <b>Raynger3i2M</b>	Пирометр Спектрального Отношения <b>ДПР-1</b>
1	Эффективная длина волны, мкм	-	$\lambda = 0,656$	$\lambda = 0,1 \dots 1000$	$\lambda=(0,9/1,55)$ <b>1.55*</b>	$\lambda = 1,6$	$\lambda_1 / \lambda_2$
2	Диапазон измеряемых температур, °С	600-1600 $t_{ном}=1300$	800-5000	900-2000	(600-2000) <b>400-1700</b>	200-1800	100-2500
3	Пределы основной погрешности, °С	$\pm 0,005 t_{изм}$	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 0,012 t_{изм}$ (1500°С-2000°С)	$\pm 0,01 t_{изм}$	$\pm 5$
4	Погрешность $\Delta$ , при $t = 1000$ °С	<b><math>\pm 5</math></b>	<b><math>\pm 20</math></b>	<b><math>\pm 20</math></b>	<b><math>\pm 6</math></b>	<b><math>\pm 10</math></b>	<b><math>\pm 5</math></b>
5	<b>Результат измерения</b>	Действительная температура, <b>T</b>	Яркостная температура, <b>S</b>	Радиационная температура, <b>T<sub>p</sub></b>	Радиационная температура, <b>T<sub>p</sub></b>	Радиационная температура, <b>T<sub>p</sub></b>	Цветовая температура, <b>T<sub>c</sub></b>
6	Систематическая погрешность, $\Delta_c$	-	$\Delta T = T - S$	$\Delta T = T - T_p$	$\Delta T = T - T_p$	$\Delta T = T - T_p$	$\Delta T = T - T_c$

\*Примечание: данные приведены для одноцветного режима работы пирометра VF 3000.