

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ В ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ СВС

М.В. Дорожкин, В.М. Коротких

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

Статья посвящена анализу применимости методов измерения температуры в области СВС. Кратко рассматриваются некоторые методы измерений, а также особенности их применения при измерении температуры взаимодействия компонентов конденсированной среды в волне горения фронтального СВС.

Ключевые слова: измерение температуры, само-распространяющейся высокотемпературный синтез.

Одним из ключевых параметров большинства исследований является температура. Измерение высоких температур с достаточной степенью точности – важная проблема, с которой приходится сталкиваться в современной науке и технике. Технические измерения температуры составляют 40 – 50% от общего числа всех проводимых измерений. Становится очевидным, что от качества температурного контроля, главным образом, зависит успех процесса производства [1].

Повышение эффективности промышленных объектов идет по пути совершенствования как самих технологических процессов, так и процессов управления ими. Построение энергоэффективных процессов и технологий, в которых превалирует контроль над изменением температуры объектов, без должного уровня измерений практически невозможно, а если и удастся решить поставленную задачу, то в конечном результате энергоэффективность оказывается незначительной и не стоит затраченных усилий и средств [1].

Немаловажным фактором, который ставит построение систем управления в затруднительное положение, является то, что технологи, хорошо понимающие какую характеристику объекта нужно измерить, как правило, слабо информированы о возможностях современной измерительной техники. В результате чего, на практике используются хоть и хорошо отработанные, но устаревшие измерительные системы, основанные на методах получения данных, дающих большую погрешность. С другой стороны, осведомленность об инновационных разработках в сфере измерительных технологий еще не означает, что именно эти системы применимы в

конкретном случае. Необходимо совершенно точно представлять себе, в каких областях эти новые приборы и методы наиболее целесообразно использовать, с какими это сопряжено затратами времени, средств, и какова точность получаемых с их помощью результатов.

Как правило, большинство температурных измерений производится с помощью термоэлектрических термометров (термопар), в основе которых лежат эффекты Зеебека, Томсона и Пельтье. Пределы измерений термопарными преобразователями ограничиваются интервалом от – 200 до 1800 °С, что не позволяет измерить более высокие температуры, которые сопровождают некоторые термические процессы. Прямые методы измерения температуры, в таких случаях, приходится заменять косвенными, позволяющими определять температуру тела, не вступая с ним в непосредственный контакт [1 – 4].

Значительный практический интерес представляет определение температуры из теоретически выводимых и эмпирически получаемых закономерностей теплового излучения нагретых тел. Приборы, в которых для измерения температуры используется такой принцип, получили название оптические пирометры. К настоящему времени появилось большое разнообразие пирометров, в которых используется принцип сравнения либо яркости объекта со стандартом яркости (яркостный пирометр), либо цвета объекта с цветом стандарта (цветовой пирометр), либо тепловой энергии, излучаемой объектом, с энергией, испускаемой стандартным излучателем (радиационный пирометр). Собственно говоря, все пирометры – это приборы для

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ В ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ СВС

измерения температуры, основанные на соотношении Планка, на законе Стефана-Больцмана или же на законе смещения Вина [1,2,5].

Измерение температуры яркостным пирометром с исчезающей нитью производится путём сравнения в узком спектральном интервале яркостей свечения двух нагретых тел – эталонного и исследуемого. Спектральный интервал выделяется спектрометрическим устройством, которое, в простейшем варианте, является узкополосным светофильтром, соответствующим красному цвету, длиной волны около 6560 нм. Выбор данного значения обусловлен тем, что излучение поверхности большинства реальных тел близки на этой волне к абсолютно черным, а, следовательно, погрешность на неполноту излучения существенно снижается. К тому же, на этой волне яркое свечение поверхности увеличивается значительно быстрее, чем температура поверхности. Это позволяет получить большую чувствительность прибора. Оптические пирометры применяются для измерения температур в диапазоне от 650 до 6000 °С и обеспечивают довольно низкую погрешность порядка 0,7 – 3%. Практически единственным ограничивающим фактором использования пирометра является то обстоятельство, что датчик должен находиться в оптической связи с излучающим объектом [1,2,6].

До недавнего времени оптические (яркостные) пирометры не могли применяться для автоматической записи температуры, что значительно усложняло процесс измерения динамических, быстропротекающих во времени, процессов [4]. Вскоре появились некоторые полезные модели, которые с легкостью решили эту проблему. Такие пирометры, благодаря своей функциональности, стали называть автоматическими. Для получения полной температурной характеристики достаточно одного такого прибора. Автоматизация процесса определения яркостной температуры дает единичное значение измеряемого параметра при измерении условно статических (практически неизменных) и непрерывный ряд данных при измерении динамических (быстропротекающих) температурных процессов, который можно получить в виде графика или системы данных, что существенно расширяет возможности измерения.

Один из примеров автоматизации измерения температуры оптическим пирометром основывается на следующем: яркость нити накала эталонной лампы пирометра, являющейся температурным эталоном, изменяю-

щейся по линейному закону, регистрируют матричным либо линейным фотоприемником и запоминают в моменты приращения сигнала. В режиме измерения температуру объекта определяют по запомненной величине цифрового эквивалента тока накала эталонной лампы в соответствии со значением выходного сигнала фотоприемника яркостного пирометра [7].

Для выяснения возможностей применения описанных ранее методов измерения температуры в области самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), была построена установка, изображенная на рисунке 1. В качестве объекта измерения выступала температура взаимодействия компонентов конденсированной среды в волне горения фронтального СВС или СВС в режиме теплового взрыва.

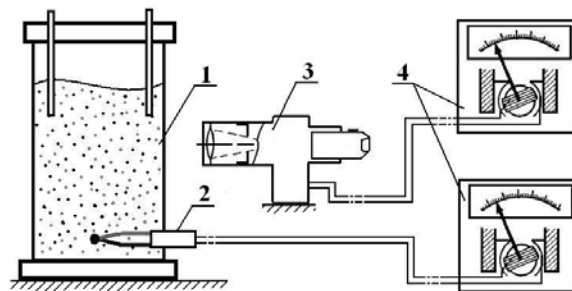


Рисунок 1 – Схема измерения температуры реакции СВС

Установка содержит реактор 1 для проведения СВС, расположенный на неподвижной опоре, эталонную термопару 2, соединённую с измерительным прибором 4, выход которого связан с входом аналого-цифрового преобразователя (АЦП), автоматический яркостный пирометр 3, выход которого связан с входом измерительного прибора 4, выход прибора соединён с входом АЦП сигнала яркостного пирометра.

Измерения температуры взаимодействия компонентов конденсированной среды в волне горения фронтального СВС или СВС в режиме теплового взрыва осуществляются одновременно как пирометром сравнения, так и эталонной термопарой. В процессе прохождения реакции СВС показания приборов записывались в автоматическом режиме с выводом информации в графическом виде. Итоговые графики опыта показаны на рисунках 2 – 3.

Как видно из графика, полученного с использованием термопары (рисунок 2), кривая температурной характеристики довольно гладкая, и не содержит скачков температуры во время протекания СВС. За счет инертности термопары отсекается высокочастотная составляющая сигнала, которая всегда присутствует в реакциях синтеза, а также в режиме теплового взрыва.

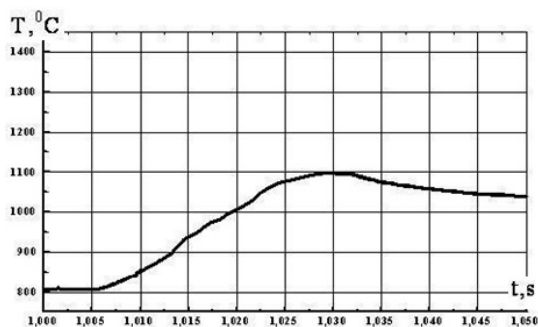


Рисунок 2 – Температурный профиль, полученный с помощью термопары

Механизм получения значений температуры осуществляется через пересчет величины ЭДС на величину температуры. В результате суммарного действия эффектов Зеебека и Томсона в цепи двух разных однородных проводников термопары возникает интегральная ЭДС которая определится как:

$$E_{AB}(T_1, T_2) = e_{AB}(T_1) + e_{AB}(T_2) + \int_{T_1}^{T_2} (\sigma_A - \sigma_B) dT,$$

где e_{AB} , e_{BA} – разности потенциалов на границе контакта двух проводников из-за диффузии зарядов; σ_A , σ_B – термо-ЭДС Томсона.

В данной области измерений использование термопары вызывает ряд проблем, которые связаны с влиянием материала термопары в месте контакта со средой на протекание самой реакции СВС.

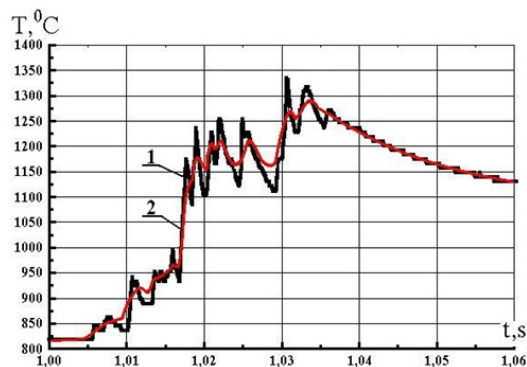


Рисунок 3 – Температурный профиль, полученный с помощью пирометра: 1 – исходный сигнал; 2 – обработанный сигнал

В сравнении с температурным профилем, полученным с помощью термопары, график, полученный пирометром, имеет не такую гладкую кривую. Во-первых, это связано со способом измерения, так как автоматизация процесса измерения вносит некоторое увеличение погрешности, возникающей из – за изменения излучательной способности объекта измерения в волне горения быстротекущего экзотермического взаимодействия компонентов СВС. Другая причина состоит в том, что компонентный состав содержит легко окисляемые легирующие элементы (хром, алюминий, титан и др.). Яркостные температуры окислов и не окисленных элементов в процессе взаимодействия компонентов реакции СВС значительно отличаются. При окислении такой элемент дает локальное значительное увеличение яркости измеряемого объекта, которое наблюдается как кратковременная вспышка и на графике соответствует резкому пику функции. Данную проблему несколько решает применение методов аппроксимации, либо использование специальных высокочастотных фильтров [8]. Кривая, полученная после ВЧ фильтрации профиля данных яркостной температуры, показана на рисунке 3, под цифрой 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. — М.: Энергоатомиздат, 1992.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. — М.: Наука. Физматлит, 1990.
3. Панферов В. И. К теории термопар // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. 2007. №14 (86). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-teorii-termopar> (дата обращения: 26.10.2016).
4. Бычковский Р.В. Контактные датчики температуры. М.: «Металлургия», 1978, - 238с.
5. Франкевич Е.Л. Физические методы исследования. — М.: МФТИ, 1986
6. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 3. Из-во «Наука», гл. редакция физико-математ. литературы. М: 1979 г.
7. Коротких В.М. Способ измерения яркостной температуры / Коротких В.М., Гуляев П.Ю. и др.- патент RU №2099674 от 20.12.1997г.)
8. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М., 2002, 632 с.

Коротких Владимир Михайлович – к.т.н., профессор каф. ЭиАЭП email: vkorot@mail.ru;
Дорожкин Максим Владимирович – магистрант.