##### **КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО НАГРЕВА**

Любимова Д.А., С.В. Пономарев С.В., Дивин А.Г., Дерябина М.А.

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

*392000 г. Тамбов, ул. Советская, 106. divinadar@yandex.ru*

Измерение теплофизических свойств (ТФС) материалов, а так же определение их зависимости от температуры являются необходимыми условиями успешного проектирования новых производственных процессов, а так же разработки и внедрения новых материалов. Точное измерение и контроль ТФС особенно важны в сферах строительства и энергосбережения, так как теплофизические свойства – основные показатели качества теплоизоляционных материалов. Перспективным направлением в области измерения ТФС является использование методов регулярного режима третьего рода (метод периодического нагрева, метод температурных волн) [1-4].

Способы реализации методов периодического нагрева можно классифицировать по следующим признакам, обозначенным на рисунке 1.

Методы периодического нагрева

(температурных волн)

Способ задания

 температурной

волны

Вид

 математической

модели

Электронный

Радиационный

Фототермический

Термоэлектрический

Лазерный

Линейный

температурный режим

Нелинейный температурный режим

Зондовые

 методы

Незондовые

 методы

Плоские

Продольные (осевые)

Вид

температурных волн

Радиальные (цилиндрические)

Рисунок 1. Классификация методов периодического нагрева [2-10]

1. Классификация по способу задания температурной волны

При использовании электронного потока для создания температурной волны источник электронов и исследуемый образец объединяют в единую систему, которая образует вакуумный диод [4]. Достоинство данного способа заключается в простоте его реализации, возможностью управления электронным потоком, а значит и средней температурой образца. Однако, у данного способа создания температурных волн есть существенный недостаток – образец должен являться электропроводящим материалом, поэтому данный подход можно использовать только для исследования свойств проводников [4]. Кроме того, при высоких температурах происходит сублимация образца из-за необходимости работы в вакууме.

В случае создания температурных волн электромагнитным излучением (радиационный нагрев) электрические свойства исследуемого материала не имеют решающего значения [4], а сублимации образца можно избежать за счет заполнения рабочей среды благородным газом. Достоинством данного метода является возможность использования термопар для надежной регистрации температурных возмущений, что является необходимым условием при расчете ТФС.

Пример фототермического метода генерации температурной волны продемонстрирован в работе [5]. В данном случае образец периодически нагревают при помощи светового излучения с модуляцией интенсивности светового потока, причем излучение частично абсорбируется окружающей средой. Недостатком данного метода является необходимость использования нескольких фотоприемников излучения для регистрации температуры и фазы температурной волны (ввиду непостоянства их чувствительности в различных спектральных интервалах измерений) при измерениях ТФС в широком интервале температур. Это создает небольшие сложности при измерениях в диапазоне низких и средних температур, где для регистрации теплового потока, особенно при высоких частотах модуляции, могут использоваться только охлаждаемые фоторезистивные приемники.

В случае термоэлектрического метода зачастую применяют элемент Пельтье [6-8], что является эффективным способом задания периодического температурного воздействия на образец. Данный метод очень удобен для исследования ТФС образцов малого объема: твердых и сыпучих материалов, возможно так же его применение для измерения ТФС жидкостей. Достоинством элемента Пельтье являются его простота конструкции и компактность, экологичность (рабочую среду устройства не требуется заполнять жидкостью или газом), а так же его бесшумность. При изменении полярности тока, протекающего через элемент Пельтье, возможно как охлаждение, так и нагревание образца. Это дает возможность устанавливать среднюю температуру образца как выше, так и ниже температуры окружающей среды. Основным недостатком элемента Пельтье является высокая потребляемая мощность для достижения заметной разности температур. Для увеличения разницы температур рекомендуется использовать радиатор и вентилятор, отводящие тепло от греющей стороны элемента Пельтье.

Применение лазерного излучения в методе температурных волн (особенно в диапазоне низких и средних температур) для регистрации температурных колебаний в исследуемом образце так же является эффективным. При создании температурной волны с помощью лазерного излучения возможно применение как термопар, так и фотоэлектрических датчиков [4]. Один из основных недостатков применения лазера – нестабильность выходной мощности при создании излучения, мощность которого изменяется по периодическому закону. Это может отрицательно сказываться на точности измерения ТФС. Создание систем непрерывного лазерного излучения, обеспечивающих наибольшую стабильность выходной мощности, усложняет конструкцию средства измерения за счет использования механических модуляторов (прерывателей) [4]. Недостатком данного метода является так же необходимость использования дополнительного нагревателя для управления средней температурой образца [4].

2. Классификация по виду изотерм температурных колебаний

В зависимости от формы исследуемых тел и вида изотерм температурных колебаний можно выделить следующие основные разновидности методов периодического нагрева [9]:

- методы плоских температурных волн, распространяющихся в полуограниченной и неограниченной пластине при периодическом нагре­ве одной из ее сторон;

- методы продольных или осевых температурных волн для тонкого полуограниченного неизолированного стержня, в котором температурные волны распространяются вдоль оси. При этом, в отличие от плоских температурных волн, появляется боковой теплообмен, в чем и заключается специфика данного метода.

- методы радиальных или цилиндрических температурных волн для цилиндров, в которых температурные волны распространяются вдоль радиусов. Методы цилиндрических температурных волн удобны для исследований при высоких давлениях и температурах [10]. Основным их достоинством является незначи­тельность теплопотерь, что имеет решающее значение для экспериментов под давлением.

3. Классификация по виду математической модели

Методы периодического нагрева могут использоваться в линейном и нелинейном тепловом режиме. Их можно разделить на зондовые и незондовые [9].

В зондовых методах нагреватель одновременно выполняет функцию датчика температуры. К ним примыкают методы, в которых эти функции осуществляются разными устройствами, но нагрев и измерения температуры производятся на одной поверхности. В обоих случаях для определения тепловых свойств используются одни и те же формулы. В незондовых методах нагреватель и датчик температуры пространственно разделены [9].

Разнообразие методов периодического нагрева обуславливает широкий спектр из применения. Проведение исследований возможно на образцах малых размеров, в том числе для газов, жидкостей и твердых тел в широком диапазоне состояний. Преимуществом метода температурных волн является несложные конструкции измерительных установок, удовлетворительная точность (около 5%) и сравнительно небольшой продолжительностью измерений (0,5-2 часа).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев, С.В. Теоретические и практические основы теплофизических измерений : под ред. С.В. Пономарева / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин, В.А. Вертоградский, А.А. Чуриков. – М.: Физматлит, 2008. – 408 с.;
2. Пономарев, С.В. К вопросу о выборе оптимальных режимных параметров процесса измерения коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода / С.В. Пономарев, Д.А. Дивина, А.С. Щекочихин // Измерительная техника. – 2012. - №1. – С. 47-49;
3. Липаев, А.А. Применение метода периодического нагрева в экспериментальной теплофизике. - Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». 30 ноября – 2 декабря 2010г.:Сборник трудов конференцию – СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. – С. 182-195;
4. Ивлиев, А.Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях (анализ советского и российского опыта) / А.Д. Ивлиев // Теплофизика высоких температур. 2009. Т. 47. № 5. С. 771-792.
5. Ka´zmierczak-Bałata, J. Bodzenta Determination of thermal-diffusivity dependence on temperature of transparent samples by thermal wave method / International Journal of Thermophysics, Vol. 31, № 1, 2010. – P. 180-186;
6. Gonzalez-Mendizabal, D. P. A thermal conductivity experimental method based on the Peltier Effect / D. Gonzalez-Mendizabal, D P. Bortot, A.L. Lopez de Ramos. -International Journal of Thermophysics, Vol. 19, No 4, 1998. - P. 1229-1238;
7. Дивина, Д.А. Повышение точности определения теплофизических характеристик методом регулярного режима третьего рода / Д.А. Дивина, С.В. Пономарев, А.Г. Дивин // Сборник трудов II МНТК СПб.:28-30 ноября СПбГУНиПТ, 2012г С. 105.
8. Патент РФ №2478939 Способ измерения коэффициента температуропроводности теплоизоляционных материалов методом регулярного режима третьего рода. Пономарев С.В., Дивина Д.А., Шишкина Г.В. Опубл. 10.04.2013 Бюл. №10, заяв. № 2011141156/28, 10.10.2011
9. Кравчун, С.Н. Метод периодического нагрева в экспериментальной теплофизике / С.Н. Кравчун, А.А. Липаев. – Казань: «Казанский государственный университет», 2006. – 208с.
10. Артюхина, Е.Л. Разработка полигармонического метода температурных волн и устройства для контроля температуропроводности твердых изотопных материалов. - Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Тамбов, 2013. – 19 С.;