

## РАЗДЕЛ II. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ДАННЫХ

УДК 544.08

### МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ДТА ВР

Ю.В. Мощенский, И.В. Макаров, А.С. Нечаев

Теоретически обоснована и аналитически оценена область применимости способа измерения площади термоаналитического пика по его амплитуде с учетом того, что постоянная времени устройств дифференциального термического анализа и сканирующей калориметрии может превышать длительность регистрируемого процесса в 10 и более раз. Численным методом найдена граница применимости метода в зависимости от соотношения длительности регистрируемого теплового процесса и постоянной времени устройства.

**Ключевые слова:** дифференциальный термический анализ, постоянная времени, численный метод, погрешность.

#### Введение

Дифференциальный термический анализ (ДТА) – один из наиболее распространенных методов термохимического анализа. По этому методу исследуемый образец и образец сравнения нагревают одинаковым образом, в ходе нагревания непрерывно измеряется разность температур этих двух образцов. Химическая реакция, фазовое превращение, аномалия удельной теплоёмкости характерным образом изменяют эту разность температур [1].

В устройствах ДТА широко применяется метод определения теплоты фазового перехода или химической реакции по площади пика дифференциальной кривой. Связывающая их зависимость

$$\Delta H m = K S$$

где:  $\Delta H$  - удельная теплота превращения или реакции;

$m$  – масса реагирующего образца;

$K$  – калибровочный коэффициент;

$S$  – площадь пика кривой,

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \Delta T(t) dt$$

где:  $t_1$  – время начала пика;

$t_2$  – время конца пика.

$\Delta T(t)$  – регистрируемая разность температур.

Экспериментальные температурные кривые, полученные с помощью устройств ДТА и

дифференциальных сканирующих калориметров теплового потока, не являются истинными в смысле отображения исследуемого процесса тепловыделения во времени, поскольку искажены тепловой инерцией термоаналитических ячеек. Фактически, передаточную функцию любого устройства дифференциального термического анализа ДТА целиком и полностью определяют свойства термоаналитической ячейки как наиболее инерционного звена, поскольку остальные преобразования температурного сигнала в электрической форме происходят практически мгновенно в сравнении с тепловыми процессами. Следовательно, кинетическая информация о процессах тепловыделения или теплопоглощения, получаемая при помощи датчиков теплового потока в устройствах ДТА, бывает существенно искажена термической инерционностью датчиков, являющихся первичными измерительными преобразователями (ИП). Величина динамической погрешности зависит от постоянной времени ИП, а также скорости изменения измеряемой величины. Снижение инерционности ИП зачастую связано со значительными технологическими трудностями, и, как правило, снижает его надежность и долговременную стабильность [2].

В практике термического анализа и особенно калориметрии не редки случаи, когда постоянная времени термоанализатора зна-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012

чительно превышает длительность тепловыделения (в 10 и более раз), особенно при исследовании быстропротекающих процессов в энергонасыщенных материалах. В этом случае падает амплитуда и возрастает длительность регистрируемых пиков, что неизбежно приводит к возрастанию погрешности интегрирования пиков. Поэтому представляется актуальным проанализировать влияние соотношения постоянной времени ИП и длительности процесса тепловыделения на величину погрешности определения по замеру амплитуды пика количества выделенного или поглощенного в процессе физико-химического превращения в исследуемом веществе тепла.

В практике термического анализа и особенно калориметрии не редки случаи, когда постоянная времени термоанализаторов значительно превышает длительность тепловыделения, поэтому представляется целесообразным проанализировать влияние соотношения постоянной времени ИП и длительности процесса тепловыделения на величину погрешности определения количества выделенного или поглощенного в процессе физико-химического превращения в исследуемом веществе тепла.

**Предлагаемое решение**

В качестве примера рассмотрим идеализированный случай плавления плоского образца высокочистого металла, например, индия, когда на ИП подается входное воздействие в виде пилообразного импульса с амплитудой  $A_u$  и временем импульса  $\theta$  (кривая 1 на рисунке 1). Полагая, что ИП (термоаналитическая ячейка устройства ДТА) может быть аппроксимирована апериодическим звеном первого порядка, найдём отклик системы на это воздействие.

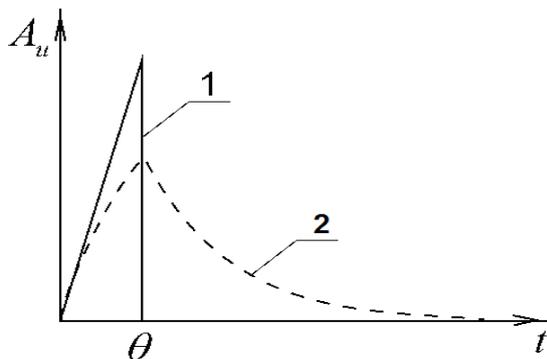


Рисунок 1 - Отклик системы на входной импульс  
Ю.В. МОЩЕНСКИЙ, И.В. МАКАРОВ, А.С. НЕЧАЕВ

Для описания отклика данной системы воспользуемся интегралом Дюамеля-Карсона [2]:

$$y(t)x(0)h(t) + \dot{x}(t) * h(t) = x(0)h(t) + \int_0^t \dot{x}(\tau)h(t-\tau) d\tau, \tag{1}$$

где  $h(t)$  – отклик системы на ступенчатое воздействие,  $x(t)$  – входное воздействие:

$$x(t) = \frac{A_u}{\theta} t, \tag{2}$$

где  $A_u$  – амплитуда входного воздействия,  $\theta$  – длительность импульса.

Из (1) и (2) получаем отклик данной системы следующего вида (кривая 2 на рисунке 1):

$$U_{\text{вых}}(t) = \begin{cases} \frac{A_u}{\theta} K \left( t - \tau + \tau e^{-\frac{t}{\tau}} \right), & 0 \leq t \leq \theta; \\ \left[ \frac{A_u}{\theta} K \left( \theta - \tau + \tau e^{-\frac{\theta}{\tau}} \right) \right] K e^{-\frac{t-\theta}{\tau}}, & t > \theta. \end{cases} \tag{3}$$

здесь  $K$  – коэффициент передачи апериодического звена первого порядка, причем для реальной системы данный коэффициент  $\approx 1$ ;  $\tau$  – постоянная времени переходного процесса.

Найдём амплитуду отклика при  $K = 1$ :

$$A_{om} = A_u \left( 1 - \frac{\tau}{\theta} + \frac{\tau}{\theta} e^{-\frac{\theta}{\tau}} \right). \tag{4}$$

Из (4) видно, что  $A_{om}$  зависит от  $A_u$  прямо пропорционально. На рисунке 2 показана зависимость  $A_{om}$  от  $\theta/\tau$ .

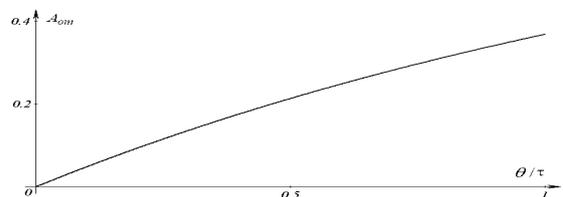


Рисунок 2 - Зависимость  $A_{om}$  от  $\theta/\tau$ .

Отметим, что амплитуда отклика с уменьшением  $\theta$  будет также уменьшаться, причем, чем меньше амплитуда отклика, тем более пологим будет отклик после заверше-

ния действия входного импульса. Вследствие этого время интегрирования необходимо увеличивать, что отрицательно сказывается на точности процесса измерения площади.

Проанализируем площади входного импульса и отклика системы, вызванного им. Площадь входного импульса представляется в виде:

$$S_u = \frac{A_u \theta}{2}. \quad (5)$$

Площадь отклика может быть получена интегрированием уравнения (3) в интервале времени от 0 до  $\infty$ :

$$\begin{aligned} S_{om} &= \int_0^{\theta} \frac{A_u}{\theta} K \left( t - \tau + \tau e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + \\ &+ \int_{\theta}^{\infty} \left[ \frac{A_u}{\theta} K \left( \theta - \tau + \tau e^{-\frac{\theta}{\tau}} \right) \right] k e^{-\frac{t-\theta}{\tau}} dt = \\ &= \frac{A_u K \theta}{2} - A_u K \tau - \frac{A_u K \tau^2}{\theta} e^{-\frac{\theta}{\tau}} + \frac{A_u K \tau^2}{\theta} + \\ &+ A_u K^2 \theta \tau - \frac{A_u K^2 \tau^2}{\theta} + \frac{A_u K^2 \tau^2}{\theta} e^{-\frac{\theta}{\tau}}. \end{aligned} \quad (6)$$

При  $K=1$  получаем:

$$S_u = S_{om} = \frac{A_u \theta}{2}. \quad (7)$$

С учетом условия равенства площадей входного воздействия и отклика системы можно предположить, что изменение площади отклика в зависимости от длительности входного импульса можно оценивать по изменению амплитуды этого отклика в области соотношения времен  $\theta \ll \tau$ , при постоянной амплитуде входного воздействия площадь отклика линейно зависит от длительности импульса  $\theta$ .

На рисунке 3 показана зависимость изменения площади (кривая 1) и амплитуды отклика (кривая 2) от соотношения  $\theta/\tau$ .

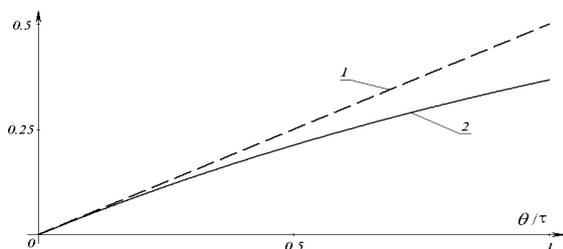


Рисунок 3 - Зависимость изменения площади (кривая 1) и амплитуды отклика (кривая 2) от соотношения  $\theta/\tau$ .

Таким образом, в области малых соотношений  $\theta/\tau$  зависимость величины площади пика от его амплитуды становится линейной, в то время как погрешность интегрирования в области этих же соотношений будет нарастать из-за наличия порога интегрирования, который становится соизмеримым с амплитудой регистрируемого пика.

Представляет интерес проанализировать область применимости способа оценки площади термоаналитического пика по амплитуде отклика, тем более что замена операции интегрирования на измерение амплитуды сама по себе может дать выигрыш в повышении точности измерений. Для объективного нахождения границы целесообразности такой замены нами была оценена относительная погрешность определения площади  $\delta$  по амплитуде отклика в зависимости от  $\theta/\tau$  численными методами. Результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Оценка относительной погрешности определения площади

$\theta/\tau$	$\delta$
1	13.2%
1/4	1%
1/10	0.2%
1/100	$10^{-4}\%$

### Выводы

При малых соотношениях длительности исследуемых тепловых процессов с постоянной времени системы ДТА (начиная с величины порядка 1/4) количественные измерения теплоты возможно проводить с погрешностью менее 1%, принимая в качестве основного параметра измерения не площадь термоаналитического пика, а его амплитуду.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уэндландт У. Термические методы анализа [Текст] / У. Уэндландт/ – М.: Мир, 1978.
2. Шестак Я. Теория термического анализа [Текст] / Я. Шестак/ – М.: Мир, 1987.
3. Трунов, Ю.А. Электронные устройства автоматики [Текст] / Ю.А. Трунов/ – М.: Высшая школа, 1970.-496с.: ил.
4. Хемингер В., Хёне Г. Калориметрия. Теория и практика [Текст] / В. Хемингер, Г. Хёне/ – М.: Химия, 1990.

Д.х.н., проф. **Мощенский Ю.В.** тел. 8(846)337-08-80, [rtu@samgtu.ru](mailto:rtu@samgtu.ru) - каф. Радиотехнические устройства Самарского государственного ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012

ного технического университета. Аспирант **Макаров И.В.** *i.makarov@inbox.ru* - каф. Радиотехнические устройства Самарского государственного технического университета. Аспирант

**Нечаев А.С.** *pechaev-as@mail.ru* - каф. Автоматика и управления в технических системах Самарского государственного технического университета.

УДК 004.932

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ САМОПОДОБИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

А.Л. Жизняков, Д.Г. Привезенцев

В статье рассматривается задача анализа цифровых изображений на основе локальных признаков самоподобия. Описывается алгоритм формирования фрактальных признаков изображений и алгоритм обнаружения нехарактерных участков изображения, который в частности можно использовать для решения задач дефектоскопии. Приводятся результаты исследований возможности использования распределения самоподобия в задачах дефектоскопии.

**Ключевые слова:** обработка изображений, фрактальные признаки изображений, фрактальная модель изображений, распознавание изображений.

### Введение

В настоящее время одним из развивающихся и перспективных направлений в цифровой обработке изображений является применение фрактального анализа. Фракталы обладают свойствами самоподобия, что означает точное или вероятностное повторение свойств объекта при рассмотрении его в разных масштабах. Свойство самоподобия приводит к определенным закономерностям в статистическом поведении признаков изображений, в результате чего, изображения можно с определенной точностью описать фрактальными признаками [1-2].

Фрактальная модель изображения, описанная в [3-4], позволяет вычислить локальные признаки самоподобия, их проявление и изменение на изображении. Эти признаки показывают, какие участки изображения участвуют в его формировании, т.е. согласно распределению самоподобия внутри изображения можно выявить участки, используя которые можно воспроизвести изображение с наибольшей точностью. Более подробно о вычислении локальных признаков самоподобия описано в [5-8].

Вычисление характерных участков цифровых изображений

Можно предположить, что два изображения одного класса описываются одинаковыми участками, и наиболее самоподобные обла-

сти одного изображения данного класса должны встречаться в других изображениях данного класса.

Согласно фрактальной модели, можно говорить об участках изображения – доменных блоках, – которые наиболее часто встречаются на изображении или с помощью которых можно с наибольшей точностью описать изображение. Здесь, наиболее часто используемые доменные блоки являются наиболее характерными участками изображения. Пример характерных участков представлен на рисунке 1.

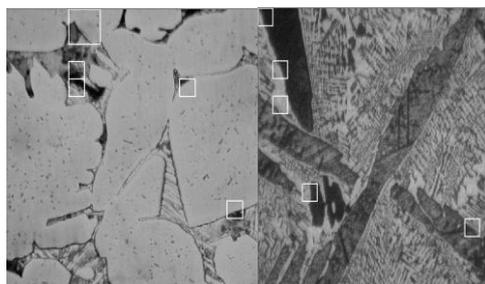


Рисунок 1 – Характерные участки тестовых изображений микроструктур металлов

Алгоритм формирования списка таких участков следующий. Вначале производится вычисление фрактальных параметров изображения с использованием всех доменных блоков. Вычисляется максимальная ошибка аппроксимации ранговых блоков: