

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

В настоящее время используются два основных подхода к термографическому экспресс-анализу металлических сплавов, основанных на классических законах теплообмена Ньютона и Фурье: Ньютоновский (НТА) и Фурье (ФТА) термоанализ соответственно. Несовершенство существующих методик приводит к чрезмерному разбросу полученных результатов. Поэтому разработка адекватных методик остается весьма актуальной.

В укоренившихся методиках НТА, в котором обычно используется одна термopара размещенная в геометрическом центре по оси симметрии образца, рекомендуется применять так называемую «нулевую линию»  $Z_N$ , которую с помощью экстраполяции представляют в виде температурной кривой типа  $T = A \cdot \exp(-Bt)$  между началом и концом затвердевания ( $A$  и  $B$  определяют из данных кривой охлаждения). Точность количественного определения структурных составляющих с использованием нулевой линии достаточна для практического использования. Например, по работы [1], относительная погрешность определения объемной доли первичной фазы на примере сплава Pb-71,5%Sn составила 4,5% (по данным количественного металлографического анализа - 2,2%); эвтектической фазы – 4,1% (металлографический анализ - 2,1%); в сплаве Pb-88%Sn – соответственно 2,0% (металлографический анализ - 1,5%) и 9,3% (металлографический анализ - 7,9%). Однако эта концепция исключает возможность анализа одновременного формирования нескольких различных фаз. На практике фактор наличия существенного отрицательного влияния градиентов температур в образце преувеличен и некоторый перепад температур (до 6 град для алюминиевых сплавов) допускается.

В методике НТА без использования «нулевой линии», темп теплоотвода определяется термическим сопротивлением на границе образца согласно уравнению теплового баланса:

$$C_L \frac{\partial T}{\partial \tau} = L_S \frac{\partial f_S}{\partial \tau} - \alpha_\infty \frac{(T - T_\infty)}{M} \quad (1)$$

где  $C_L$   $C_L$ - объемная теплоемкость жидкости, Дж/(м<sup>3</sup>·°C);  $\frac{\partial T}{\partial \tau}$   $\frac{\partial T}{\partial \tau}$  - темп охлаждения, °C/сек;  $L_S$  – объемная латентная теплота затвердевания, Дж/м<sup>3</sup>;  $\alpha_\infty$   $\alpha_\infty$  - переменный коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности образца, задают в виде функции времени для каждой пробы металла Вт/(м<sup>2</sup>·°C·сек);  $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$   $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$  - темп формирования твердой фазы, 1/сек;  $T$  – мгновенная температура образца, °C;  $T_\infty$   $T_\infty$ - температура окружающей среды, °C;  $M=V/F$  – так называемый модуль образца, м; ( $V$  – объем,  $F$  – поверхность теплоотдачи). Форма кривой  $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$  позволяет определить тип полученного чугуна, например ЧШГ и ЧПГ.

Для методики термоанализа Фурье уравнение теплового баланса, как известно, имеет вид:

$$C_{L,S} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = K \nabla^2 T + L_S \frac{\partial f_S}{\partial \tau} C_{L,S} \frac{\partial T}{\partial \tau} = K \nabla^2 T + L_S \frac{\partial f_S}{\partial \tau}, \quad (2)$$

где  $\nabla^2 T$  – оператор Лапласа (°C/ см<sup>2</sup>).

Обе методики обеспечивают корректные результаты, позволяют одинаково точно рассчитывать латентную теплоту затвердевания и кинетику выделения твердой фазы в случае тонкостенных стальных пробниц. Однако НТА дает только усредненную информацию по образцу в целом, а ФТА позволяет оценить локальную кинетику.

Современные методики термографического экспресс-анализа позволяют исследовать процессы затвердевания, прогнозировать структуру, химический состав и некоторые свойства литых сплавов, но требуют доработки, уточнения и проверки в каждом конкретном случае промышленного производства фасонных отливок из металлических сплавов.

### Список литературы

1. Cruz H., Gonzalez C., Juarez A., Herrera M., Juarez J. Quantification of the microconstitents formed during solidification by the Newton thermal analysis method. – Journal of Materials Processing Technology. 2006, vol.178, p.128-134