

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/(м³·°C); $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ - темп охлаждения, °C/сек; L_S – объемная латентная теплота затвердевания, Дж/м³; α_∞ α_∞ - переменный коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности образца, задают в виде функции времени для каждой пробы металла Вт/(м²·°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_∞ T_∞ - 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/ см²).

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