

Из вышеизложенного следует, что использование дешевых и недефицитных отходов в качестве армирующих наполнителей при производстве композиционных материалов на основе алюминиевых сплавов позволяет добиться повышенных эксплуатационных характеристик по сравнению с серийно применяемыми триботехническими материалами при значительном снижении затрат на их производство

УДК 621.745.5.06./07:536.5

Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, А. Л. Гончаров, Сиренко Е. А.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

E-mail: edzakharchenko@mail.ru

ТЕПЛОФИЗИКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСПРЕСС –АНАЛИЗА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Основанный на законах охлаждения Ньютона и Фурье термический экспресс-анализ затвердевания становится более актуальным в силу его доступности и быстродействия, а также необходимости точного прогноза микроструктуры, технологических и механических свойств литых сплавов до заливки литейных форм.

В термическом анализе на основе закона Ньютона (**НТА**) используется одна термопара, а в многоточечном методе по закону Фурье (**ФТА**) – обычно две термодары. В обоих методах регистрируются кривые охлаждения, а также их первые и вторые производные.

В отделе термометрии и физико-химических исследований изучаются и сопоставляются современные методики **НТА** и **ФТА**, кратко описанные в зарубежной литературе. Особое внимание уделяется обоснованности выбора соответствующих уравнений теплового баланса.

1. Термоанализ Ньютона

1.1 Упрощенные методики **НТА** без использования нулевой (базовой) линии [1,2].

Нулевая линия (z) представляет эволюцию темпа охлаждения, который сплав показал бы, если бы латентная (скрытая) теплота затвердевания отсутствовала. Использование **НТА** без z вызывает возражения. Однако, экспери-

ментально показано [2], что этот упрощенный метод позволяет выявлять изменения механизма затвердевания и микроструктуры.

а) В предположении, что темп теплоотвода зависит только от термического сопротивления на границе образца, можно составить уравнение

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

где C_L - объемная теплоемкость жидкости, Дж/(м³·°C); $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ - темп охлаждения, °C/сек; L_S - латентная теплота затвердевания, Дж/м³; α_{∞} - коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности образца, Вт/(м²·°C); $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$ - темп формирования твердой фазы, 1/сек; T – мгновенная температура образца, °C; M=V/F – модуль образца, м; (V – объем, F – поверхность).

Форма кривой $\frac{\partial f_S}{\partial \tau}$ резко изменяется после графитосфероидизирующей обработки исходного чугуна, что позволяет определять тип полученного чугуна [2].

б) Когда затвердевание аппроксимируется охлаждением при постоянном коэффициенте теплоотдачи получим

$$m(f_S C_S \partial T + f_L C_L \partial T - L_S \partial f_S) = -K \cdot A(T - T_{\infty}) \partial \tau,$$

S – твердое и L – жидкое состояние; m – масса образца, кг; K – суммарный коэффициент теплопередачи жидко-твердой смеси, Вт/(м·°C) (кондукция, конвекция, излучение); A – площадь теплоотдающей поверхности пробоотборника, м².

Метод требует дополнительного изучения и проверки.

1.2 НТА с использованием нулевой линии [1].

Мгновенный тепловой поток Q_S , выделяющийся при затвердевании (Вт/м³) равен

$$Q_S = C_{LS} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} - Q_{ex}/M = C_{LS} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} - z \right),$$

где Q_{ex} - тепловой поток из расплава в окружающую форму, Вт/м³; z – нулевая линия; C_{LS} - объемная теплоемкость жидко-твердой смеси, Дж/(м³ ·°C);

$$C_{LS} = \rho_L C_L (1 - f_S) + \rho_S C_S f_S$$

$$z = z_L (1 - f_S) + z_S f_S,$$

где $z_L = \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right)_L$; $z_S = \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} \right)_S$.

Этот метод успешно апробирован только на цветных сплавах систем Pb-Sn и Al-Si.

2. Термоанализ Фурье.

Тепловой баланс при перепадах температуры по сечению образца не выше 6 °С [3] определяется выражением

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

где $\nabla^2 T$ - температурный Лапласиан, °С/см².

Объемный тепловой поток Q_S , обусловленный выделением латентной теплоты затвердевания, равен

$$Q_S = C_{L,S} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} - \alpha \nabla^2 T \right) = C_{L,S} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} - z_\Phi \right),$$

где $\alpha = K/C_{L,S}$ – температуропроводность жидко-твердой смеси, м²/сек; z_Φ - нулевая кривая, заданная параметром $\alpha \nabla^2 T$.

$$\nabla^2 T = \frac{4(T_2 - T_1)}{R_2^2 - R_1^2},$$

где T_1 и T_2 – показания двух термопар, размещенных на расстоянии R_1 и R_2 от оси симметрии,

$$\alpha = \frac{\partial T}{\partial \tau} / \nabla^2 T;$$

$$\alpha = \alpha_L(1 - f_S) + \alpha_S \cdot f_S;$$

$$C_{L,S} = C_{L,S}(1 - f_S) + C_{L,S} \cdot f_S,$$

где мгновенное значение доли твердой фазы f_S в момент времени τ равно

$$f_S = \frac{1}{L_S} \int_{\tau_{SS}}^{\tau} Q_S d\tau,$$

где τ_{SS} - время начала затвердевания.

Объемная латентная теплота затвердевания равна

$$L_S = \int_{\tau_{SS}}^{\tau_{ES}} Q_S d\tau,$$

где τ_{ES} - время конца затвердевания

Для расчета мгновенных значений z_Φ , Q_S , L_S и f_S как функций времени, используется процедура итерации.

Сравнение методов Ньютона и Фурье показало, что в целом **НТА** применим для определения общего эффекта, например, латентной теплоты и макрокинетики затвердевания. Метод **ФТА** информативнее, точнее и надежнее при опре-

делении локальной кинетики затвердевания и структурообразования. ФТА успешно апробирован на эвтектическом сером чугуна [4].

Литература

1. H.Cruz, L.Lopez, B.Campillo, C.Gonzalez-Rivera. Materials Science Forum. Vol.509 (2006), pp. 147-152.
2. M.R.Chavez, A.Amaro, C.Flores, A.Juarez, C.Gonzalez-Rivera. Materials Science Forum. Vol. 509 (2006), pp. 153-158
3. J.C.Baez, C.Gonzalez, M.R.Chavez, M.Castro, J.Juarez. Journal of Materials Processing Technology, Vols.153-154 (2004) pp.531-536.
4. E.Fras, W.Kapturkiewicz, A.A.Burbelko, E.Guzik. Advanced Materials Research, vols. 4-5 (1997), pp.445-452.

УДК 620.18

Э. В. Захарченко, Л. Ф. Жуков, Е. А. Сиренко

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

E-mail: edzakharchenko@mail.ru

МЕТОДЫ, СРЕДСТВА И МАТЕРИАЛЫ СОВРЕМЕННОЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ СПЛАВОВ

Цветная металлография, основанная на интерференционном эффекте тонких пленок на полированной поверхности сплавов, обладает лучшей дифференцирующей способностью, большей чувствительностью к ликвации, ориентации зерен и напряженному состоянию по сравнению с черно-белой металлографией. Она добавляет новые функции для традиционной металлографии и имеет перспективы широкого применения для изучения структур затвердевания и твердофазных превращений литых сплавов.

Решающее влияние на цветовой эффект оказывают три следующих фактора: состав реагента для травления, температура травления и время (длительность) травления. Известно много методов цветной металлографии, использующих поляризованный свет, химическое осаждение (метод травления), постоянный потенциал, вакуумные покрытия, ионное напыление, тепловое окрашивание. Метод травления горячими щелочами – самый простой и удобный из их числа. Например, в области чугунов цветная металлография с использо-