

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ СОПРЯЖЕННОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНОГО И ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При затвердевании отливки важную роль играет процесс теплообмена между отливкой и формой. Для компьютерного моделирования литейной технологии требуется задание теплофизических характеристик не только заливаемого металла, но и объемной теплоемкости  $C$  и теплопроводности  $\lambda$  литейной формы, которые описываются полиномиальными температурными зависимостями. Из-за разнообразия материалов, применяемых в производстве, требуется непосредственное определение  $C$  и  $\lambda$  для каждого предприятия.

Цеховой эксперимент по определению  $C$  и  $\lambda$  представляет собой заливку металла в форму, где предварительно была установлена термопара, с регистрацией температурной кривой  $T_{\text{э}}$  прогрева формы. Решение задачи по отысканию теплофизических характеристик формы разбивается на два этапа.

- Этап I - решение *прямой* задачи построения статистической модели для температуры формы в месте установки термопары на основе компьютерного моделирования теплообмена отливки с формой для заданных значений  $C$  и  $\lambda$  с помощью программного пакета «POLYCAST» [1]:

$$T_p = B_0 + B_1 \times C + B_2 \times \lambda + B_3 \times K_C + B_4 \times K\lambda + \dots, \quad (1)$$

для выбранного типа полиномиальной зависимости.

Для построения зависимости (1) используются результаты численного расчета распределения температуры в отливке, конфигурация которой соответствует условиям эксперимента, и прогрева формы. Значения  $C$  и  $\lambda$  при численном расчете целесообразно варьировать в соответствии с методом ортогонального планирования экспериментов [2,3]. Коэффициенты регрессии в уравнении (1) вычисляются на основе результатов серии компьютерных экспериментов.

- Этап II - решение *обратной* задачи вычисления оптимальных значений  $C$  и  $\lambda$ , обеспечивающих минимальное отклонение расчетных кривых  $T_p$  от экспериментальных значений  $T_{\text{э}}$ .

Для решения обратной задачи формируется система уравнений, содержащая в правой части данные из решения прямой задачи, а в левой - значения экспериментальных температур  $T_{\text{э}}$ , взятые для выбранных моментов времени. Данная система, содержащая  $m$  уравнений, решается методом наименьших квадратов, на основе статистической модели:

$$\begin{aligned} T_{\text{э}1} &= B_{01} + B_{11} \times C + B_{21} \times \lambda + B_{31} \times K_C + B_{41} \times K\lambda \dots; \\ T_{\text{э}2} &= B_{02} + B_{12} \times C + B_{22} \times \lambda + B_{32} \times K_C + B_{42} \times K\lambda \dots; \\ &\dots \qquad \qquad \dots \qquad \qquad \dots \qquad \qquad \dots \\ T_{\text{э}m} &= B_{0m} + B_{1m} \times C + B_{2m} \times \lambda + B_{3m} \times K_C + B_{4m} \times K\lambda \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Решением системы (2) являются искомые значения  $C$ ,  $\lambda$  и температурных коэффициентов  $K_C$ ,  $K\lambda$ , ... Необходимые вычисления осуществляются с помощью программного модуля комплекса «POLYCAST», который позволяет задавать и изменять исходные данные, варьировать факторы расчета, планировать и запускать численный эксперимент, а также визуализировать получаемые результаты (см. рис. 1).

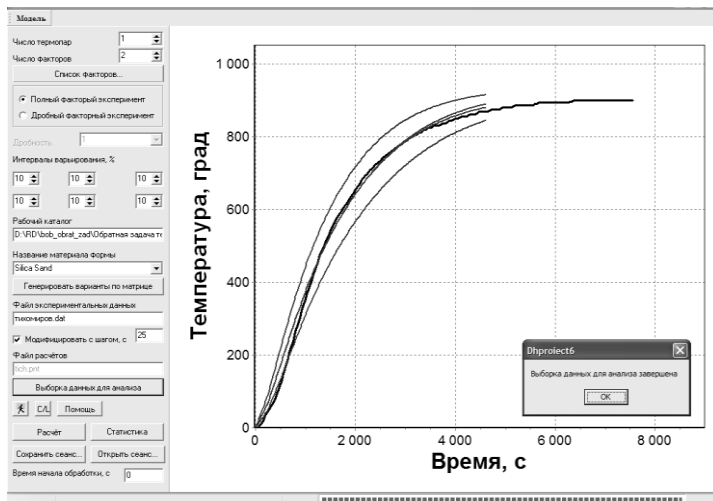


Рис. 1. Сравнительное расположение расчетных кривых, полученных при заданных значениях  $C$  и  $\lambda$ , относительно экспериментальной термической кривой

данные для произвольного количества термопар, а также задания плана ортогональных экспериментов в соответствии с выбранным видом полиномиальной зависимости  $C$  и  $\lambda$  от температуры.

Для определения совокупной погрешности применяемого метода и параметров программного модуля производили сравнение значений, получаемых при определении  $C$  и  $\lambda$ , с заданной их величиной при имитации эксперимента с помощью расчетной компьютерной термической кривой. Полученные расчетные значения практически совпадают с исходными, что свидетельствует о возможности успешного применения данного метода в производственных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Голод В.М., Савельев К.Д. Компьютерный анализ и диагностика литейной технологии: опыт применения, проблемы и перспективы.// Труды восьмого съезда литейщиков России, том II. – Ростов-на-Дону, 2007.
2. Тепло – и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник. – М., Энергоиздат, 1982.
3. Голод В.М., Денисов В.А. Теория, компьютерный анализ и технология стального литья. – СПб., ИПЦ СПГУТД, 2007.

Представленный на рис. 1 набор кривых показывает степень приближения исходных расчетных кривых к экспериментальной зависимости. Изменение исходных значений  $C$  и  $\lambda$ , а также их интервалов варьирования, количества и расположения точек отсчета экспериментальных значений температуры  $T_{Э1}$ ,  $T_{Э2}$ , ...,  $T_{Эn}$  и т.д. позволяет управлять процессом поиска оптимальных значений теплофизических характеристик.

Важное значение имеет возможность использования в составе программного модуля