

УДК 621.74.01

Э.П. Горн (асп., каф. ФХЛСиП), В.М. Голод, к.т.н., проф.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕСЕЙ

При моделировании литейной технологии особое внимание уделяется граничным условиям, а также их изменению в процессе затвердевания отливки. В связи с этим наиболее важными являются теплофизические характеристики металла и формы. Получение достоверных значений этих характеристик важно, так как непосредственно отражается на точности результатов компьютерного моделирования процессов затвердевания и питания отливок.

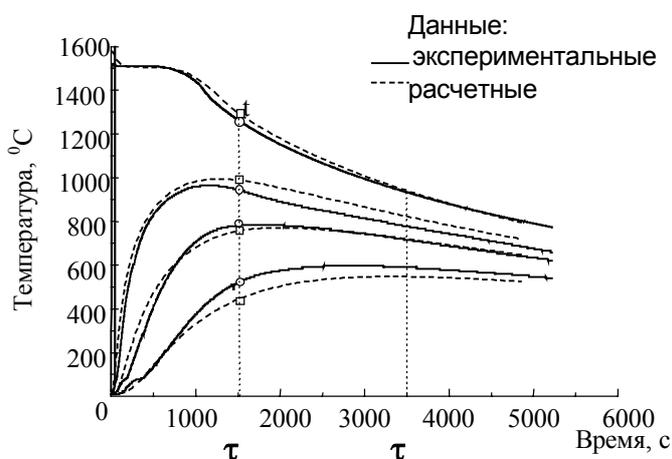


Рис. 1. Изменение температуры в отливке и форме из кварцевого песка с жидким стеклом

Для определения эффективных значений теплофизических характеристик формовочной смеси разработан оптимизационный метод решения обратной задачи теплообмена на основе статистического анализа результатов численного моделирования процесса затвердевания опытной отливки при варьировании искомых характеристик объемной теплоемкости C_{ϕ} и теплопроводности λ_{ϕ} . Применение этого метода не накладывает ограничений на конфигурацию и размеры образца, а также не требует

установки нескольких термопар или их помещения в заданных точках, поэтому его можно использовать в производственных условиях для отливок произвольной конфигурации при помещении всего одной термопары в произвольной точке металла или формы.

На первой стадии проводили серию численных экспериментов с использованием трехмерной модели затвердевания опытной отливки с помощью пакета “POLYCAST” [1]. Геометрию отливки и условия теплоотвода (размеры формы, температура заливки, теплоизоляция прибыли и т.д.) задавали в соответствии с условиями проведения экспериментов. Опытную отливку (100x100x200 мм с питающей прибылью) заливали сталью, теплофизические характеристики которой определяли на основе термодинамического моделирования. В форму устанавливали блок из трёх термопар на фиксированных расстояниях от поверхности отливки, и одну термопару в центре отливки [3].

При численных расчетах значения C_{ϕ} и λ_{ϕ} варьировали в определённых пределах относительно предполагаемого номинального значения на двух уровнях в соответствии с методикой ортогонального планирования экспериментов [2] с фиксацией изменения температуры в местах расположения горячих спаев термопар (в теле отливки и по сечению формы).

На втором этапе по результатам численного моделирования для любой, выделенной i -й точки в каждый k -й момент времени (см. рис.) формировали статистическую модель вида:

$$t_{i,k}^p = (b_0)_{i,k} + (b_\lambda)_{i,k} x_\lambda + (b_C)_{i,k} x_C + (b_{\lambda C})_{i,k} x_\lambda x_C,$$

где $x_\lambda = \frac{\lambda_\phi - \tilde{\lambda}_\phi}{\Delta \lambda_\phi}$, $x_C = \frac{C_\phi - \tilde{C}_\phi}{\Delta C_\phi}$; $\tilde{\lambda}_\phi$, \tilde{C}_ϕ - номинальные значения λ_ϕ и C_ϕ , $\Delta \lambda_\phi$ и ΔC_ϕ - интервалы варьирования; b_0 , b_λ , b_C , $b_{\lambda C}$ - коэффициенты регрессии, находимые на основе результатов численного моделирования ($t_{i,k}^p$).

На заключительном этапе путем минимизации суммарной квадратичной погрешности $\Phi = \sum_N (t_{i,k}^p - t_{i,k}^{\text{э}})^2$ по отклонению экспериментального значения температуры $t_{i,k}^{\text{э}}$ от расчетного $t_{i,k}^p$ по совокупности N , выбранных для сопоставления точек определяли оптимальные значения эффективных характеристик C_ϕ и λ_ϕ . Результаты определения C_ϕ и λ_ϕ приведены в таблице. При расчетах отмечена стабильность расчетных значений в пределах 10...15% при увеличении N сверх начального значения $N_0 \approx 20..30$. Различие в приведенных значениях b_ϕ , C_ϕ и λ_ϕ обусловлено действием ряда факторов (теплопроводность и теплоемкость огнеупорной основы, размер зёрен, количество и вид связующего, степень уплотнения, влажность, характер термодеструкции связующего при нагреве смеси и т.д.). Значения теплопроводности различных смесей отличаются незначительно. Изменение теплоемкости, связанное с разным содержанием жидкого стекла, приводит к повышенной тепловой активности песчаной смеси, несмотря на более высокую теплоемкость хромита. В смесях со смолой определяющее влияние оказывает высокая теплоемкость и плотность хромита.

Таблица 1. Эффективные теплофизические характеристики C_ϕ и λ_ϕ для различных формовочных смесей

Теплофизические характеристики	Кварцевый песок + 6.5 % жидкого стекла	Кварцевый песок + 1,2 % синтетич. смолы	Хромит +3%жидкого стекла	Хромит + 1,1 % синтетич. смолы
C_ϕ , МДж/(м ³ *К)	2,25	1,34	2,03	3,51
λ_ϕ , Вт/(м*К)	1,13	1,02	1,04	0,91
$b_\phi = \sqrt{\lambda_\phi C_\phi}$, КВт*с ^{0.5} /(м ² *К).	1.59	1.17	1.45	1.80

Приведенные в табл. 1. значения C_ϕ и λ_ϕ в контрольном численном эксперименте дают отклонения расчетных температурных кривых, не превышающие в среднем 15...40 К, что является вполне удовлетворительным (рис. 1), учитывая невысокую точность установки термопар в форме ($\pm 1..2$ мм) и ряд других факторов, а также описание температурных характеристик смеси эффективными значениями C_ϕ и λ_ϕ . Представленный метод легко обобщается на случай, когда C_ϕ и λ_ϕ являются функциями температуры:

$$C_\phi = C_0(1 + \alpha_1 t + \beta_1 t^2);$$

$$\lambda_\phi = \lambda_0(1 + \alpha_2 t + \beta_2 t^2).$$

при этом нахождение соответствующих коэффициентов регрессии не встречает дополнительных затруднений за исключением простого увеличения числа решаемых совместно линейных уравнений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Голод В.М. и др. Интегрированная САПР литейной технологии "POLYCAST" литейного завода АО "КАМАЗ" // Литейное производство, 1994, №10-11., 44 с.
2. Голод В.М. и др. Математическое моделирование металлургических процессов: Уч. пособие.– Л.: ЛПИ, 1988.- 88 с.
3. Ривкин С.И. и др. Определение теплофизических характеристик смесей на основе статистического анализа результатов численного моделирования процесса затвердевания отливок. // Сб. Литейное производство сегодня и завтра. Тезисы докладов, посвящённых 70-летию кафедры «Физико-химия литейных сплавов и процессов» и 100-летию со дня рождения основателя кафедры проф., д.т.н. Ю.А. Нехендзи. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001.- 184 с.