

## Линейное расширение керамических оболочковых форм

Приведен уточненный расчет коэффициента линейного расширения керамической оболочковой формы (КО).

**Ключевые слова:** форма, расширение, температура, электрокорунд, точность отливок

Одним из основных параметров керамических оболочковых форм (КО), используемых в литье по выплавляемым моделям, является коэффициент их линейного расширения ( $\alpha_{КО}$ ), величину которого используют в расчетах размеров рабочих полостей пресс-форм, применяемых для получения выплавляемых моделей отливок. Особенностью КО как формообразующего элемента литейной технологии является ее высокая температура к моменту заливки металлом, что в сочетании с дополнительным нагревом КО от залитого в нее расплава может стать причиной существенного увеличения габаритных размеров отливки.

В реальных условиях изготовления отливок в КО учет всех факторов, влияющих на изменение размеров рабочих полостей КО, весьма проблематичен. Для проведения технических расчетов при значениях пористости КО до 30 % величину коэффициента линейного расширения КО, которая изготовлена из огнеупорных материалов, не разлагающихся, не спекающихся, не имеющих полиморфных превращений и не образующих химических соединений между собой в рабочем интервале температур КО, можно рассчитать по эмпирической формуле работы [1].

С целью повышения точности расчета на КО, изготовленных на основе зернистого электрокорунда, пылевидного дистен-силлиманита и гидролизованного спиртового раствора этилсиликата марки ЭТС-40, провели экспериментальные исследования влияния условий изготовления отливок на величину линейного расширения КО, в которых использовали термостатированные КО, то есть КО со строго регламентированной начальной температурой к моменту заливки их расплавом. Заливку испытуемых КО осуществляли хромоникелевыми сталями или жаропрочными никелевыми сплавами.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили уточнить формулу, приведенную в работе [1], преобразовав ее к виду (%)

$$\alpha_{КО} = 100E [Z (t_{\text{Теч}} - t_2) + t_2]; \quad (1)$$

$$E = \frac{k_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}} + k_{\text{Н}} U_{\text{Н}} + k_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}}{U_{\text{КО}}};$$

$$U_{\text{КО}} = U_{\text{ОБ}} + U_{\text{Н}} + U_{\text{СВ}};$$

$$Z = 1 - \frac{1}{e^A};$$

$$A = \frac{Rc_1^1 \rho_1^1}{2X_2 c_2 \rho_2 \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right)};$$

$$c_2 = \frac{c_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}} + c_{\text{Н}} U_{\text{Н}} + c_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}}{U_{\text{КО}}};$$

$$\rho_2 = \frac{\rho_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}} + \rho_{\text{Н}} U_{\text{Н}} + \rho_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}}{U_{\text{КО}}},$$

где  $k_{\text{ОБ}}$ ,  $k_{\text{Н}}$ ,  $k_{\text{СВ}}$  – коэффициенты термического линейного расширения обсыпочногo материала КО, пылевидного наполнителя огнеупорной суспензии и связующего вещества огнеупорной суспензии соответственно,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $t_2$  – температура КО к моменту ее заливки металлом,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{Теч}}$  – средняя температура течения расплава в КО,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $U_{\text{ОБ}}$ ,  $U_{\text{Н}}$ ,  $U_{\text{СВ}}$  – средние объемы обсыпочногo материала КО, пылевидного наполнителя огнеупорной суспензии и связующего вещества огнеупорной суспензии, расходуемого на один слой КО соответственно,  $\text{м}^3$ ;  $R$  – модуль охлаждения отливки,  $\text{м}$ ;  $X_2$  – средняя толщина стенки КО,  $\text{м}$ ;  $c_1^1$ ,  $c_2$  – средние удельные теплоемкости жидкого металла и КО (при  $20^{\circ}\text{C}$ ) соответственно,  $\text{Дж/кг}$ ;  $\rho_1^1$ ,  $\rho_2$  – плотности жидкого металла и КО (при  $20^{\circ}\text{C}$ ) соответственно,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\Pi$  – пористость КО, %.

$$R = \frac{U}{F}, \quad (2)$$

где  $U$  – объем отливки,  $\text{м}^3$ ;  $F$  – площадь поверхности отливки, контактирующей с КО,  $\text{м}^2$ .

В соответствии с формулой (1) коэффициент линейного расширения КО возрастает с повышением пористости КО, увеличением температуры заливки металла в форму и начальной температуры КО, повышением соотношения  $R/X_2$ .

Исследования теплофизических свойств КО, изготовленных на основе электрокорунда зернистого, дистен-силлиманита пылевидного и гидролизованного раствора этилсиликата марки ЭТС-40, а также условий заполнения КО жидкой сталью на промышленных предприятиях, серийно производящих литье по выплавляемым моделям особо ответственного назначения, показали, что пределы изменения параметров в формуле (1), как правило, соответствуют значениям, приведенным в таблице.

Сравнительный анализ пределов изменения па-

## Пределы изменения параметров

Параметр	Величина параметра	
	минимальная	максимальная
$\Pi$ , %	$\Pi - 4$	$\Pi + 4$
$t_{\text{ТЕЧ}}$ , °C	$t_{\text{ТЕЧ}} - 10$	$t_{\text{ТЕЧ}} + 10$
$t_2$ , °C	$t_2 - 10$	$t_2 + 10$
$U_{\text{ОБ}}$ , м <sup>3</sup>	0,031328	0,035842
$U_{\text{Н}}$ , м <sup>3</sup>	0,007592	0,008523
$U_{\text{СВ}}$ , м <sup>3</sup>	0,002377	0,002453

раметров в формуле (1) показывает, что коэффициент линейного расширения КО (при прочих равных условиях) зависит от свойств материалов, используемых для ее изготовления. При этом величина линейного расширения КО тем меньше, чем толще стенка КО. Исходя из этого, в качестве основного мероприятия, наиболее эффективно стабилизирующего величину коэффициента линейного расширения КО, а следовательно, и размерную точность отливок особо ответственного назначения, следует принять использование толстостенных КО.

Пределы изменения величины коэффициента линейного расширения КО (с учетом данных таблицы) рассчитывали по формуле

$$\Delta_{\text{КО}} = \alpha_{\text{КО}}^{\text{max}} - \alpha_{\text{КО}}^{\text{min}}; \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{КО}}^{\text{max}} = 100E^{\text{max}} \left[ Z^{\text{max}} (t_{\text{ТЕЧ}}^{\text{max}} - t_2^{\text{max}}) + t_2^{\text{max}} \right];$$

$$E^{\text{max}} = \frac{k_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}}^{\text{max}} + k_{\text{Н}} U_{\text{Н}}^{\text{max}} + k_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}^{\text{max}}}{U_{\text{КО}}^{\text{max}}};$$

$$U_{\text{КО}}^{\text{max}} = U_{\text{ОБ}}^{\text{max}} + U_{\text{Н}}^{\text{max}} + U_{\text{СВ}}^{\text{max}};$$

$$Z^{\text{max}} = 1 - \frac{1}{e^{A^{\text{max}}}}; \quad A^{\text{max}} = \frac{R c_1^1 \rho_1^1}{2X_2 c_2^{\text{min}} \rho_2^{\text{min}} \left( 1 - \frac{\Pi^{\text{max}}}{100} \right)};$$

$$c_2^{\text{min}} = \frac{c_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}}^{\text{max}} + c_{\text{Н}} U_{\text{Н}}^{\text{max}} + c_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}^{\text{max}}}{U_{\text{КО}}^{\text{max}}};$$

$$\rho_2^{\text{min}} = \frac{\rho_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}}^{\text{max}} + \rho_{\text{Н}} U_{\text{Н}}^{\text{max}} + \rho_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}^{\text{max}}}{U_{\text{КО}}^{\text{max}}};$$

$$\alpha_{\text{КО}}^{\text{min}} = 100E^{\text{min}} \left[ Z^{\text{min}} (t_{\text{ТЕЧ}}^{\text{min}} - t_2^{\text{min}}) + t_2^{\text{min}} \right];$$

$$E^{\text{min}} = \frac{k_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}}^{\text{min}} + k_{\text{Н}} U_{\text{Н}}^{\text{min}} + k_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}^{\text{min}}}{U_{\text{КО}}^{\text{min}}};$$

$$U_{\text{КО}}^{\text{min}} = U_{\text{ОБ}}^{\text{min}} + U_{\text{Н}}^{\text{min}} + U_{\text{СВ}}^{\text{min}};$$

$$Z^{\text{min}} = 1 - \frac{1}{e^{A^{\text{min}}}}; \quad A^{\text{min}} = \frac{R c_1^1 \rho_1^1}{2X_2 c_2^{\text{max}} \rho_2^{\text{max}} \left( 1 - \frac{\Pi^{\text{min}}}{100} \right)};$$

$$c_2^{\text{max}} = \frac{c_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}}^{\text{min}} + c_{\text{Н}} U_{\text{Н}}^{\text{min}} + c_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}^{\text{min}}}{U_{\text{КО}}^{\text{min}}};$$

$$\rho_2^{\text{max}} = \frac{\rho_{\text{ОБ}} U_{\text{ОБ}}^{\text{min}} + \rho_{\text{Н}} U_{\text{Н}}^{\text{min}} + \rho_{\text{СВ}} U_{\text{СВ}}^{\text{min}}}{U_{\text{КО}}^{\text{min}}};$$

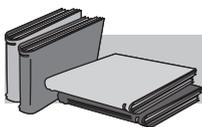
где показатели степени min и max соответствуют минимальным и максимальным значениям параметров соответственно.

Расчеты по формуле (3) с использованием данных таблицы показывают, что величина  $\Delta_{\text{КО}}$  для исследуемой КО достаточно стабильна, относительно невелика и уменьшается от 0,12 (при  $R/X_2 = 0,1$  %) до 0,04 % (при  $R/X_2 = 1$ ).

В настоящее время толщину стенки КО (количество слоев огнеупорного покрытия на модельном блоке) назначают исходя из обеспечения требуемого уровня прочности КО на всех этапах технологического процесса изготовления отливок, предупреждения «раздутия» КО под действием металлостатического давления в ней, сокращения длительности изготовления КО и т. д.

## Выводы

Проведенные исследования показывают, что при назначении толщины КО (количества слоев огнеупорного покрытия, наносимого на модельный блок) следует учитывать и ее влияние на коэффициент линейного расширения КО. Учет этого влияния в расчетах размеров рабочих полостей проектируемых пресс-форм позволит повысить размерную точность производимого литья.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Релях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

### Анотація

Релях С. І.

Лінійне розширення керамічних оболонкових форм

Приведено уточнений розрахунок коефіцієнта лінійного розширення керамічної оболонкової форми.

### Ключові слова

форма, розширення, температура, електрокорунд, точність виливків