

УДК 621.74

Т. Г. Сабірзянов, проф., д-р. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Расчёт охлаждения металла при заливке его в песчаноглинистую форму

Выведены формулы для расчёта охлаждения металла в литниковой системе и в литейной полости при заливке формы. Приведены примеры практического применения формул.
заливка, металл, охлаждение

При определении оптимальной температуры заливки металла в литейную форму необходимо знать, на сколько градусов охладится металл при заливке. Однако, из-за отсутствия простых и достаточно точных методик соответствующих расчётов такие задачи, как правило, не ставятся и не решаются. Более того, периодом заливки часто пренебрегают, полагая, что эта операция осуществляется мгновенно, а в некоторых случаях не учитывают даже период отвода теплоты перегрева, объединяя последнюю с теплотой кристаллизации металла [1, стр. 53].

Ниже излагается методика расчёта степени охлаждения металла за время его заливки в наиболее распространённую песчаноглинистую форму.

Учитывая то обстоятельство, что теплопроводность металлов в десятки и сотни раз превышает теплопроводность песчаноглинистой формы, температура $t_{\text{пов}}$ её поверхностного слоя, контактирующего с металлом, практически равна температуре металла и, таким образом, можно принять, что передача теплоты от металла к форме осуществляется при граничных условиях первого рода ($t_{\text{пов}} = \text{const}$).

Как показано в работе [2], в этом случае в момент времени τ плотность теплового потока $q_{\text{п}}$ через границу «металл-форма» можно представить соотношением

$$q_{\text{п}} = (t_{\text{пов}} - t_{\text{ф}})b / \sqrt{\pi\tau}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ф}}$ – начальная температура формы, °С;

b – коэффициент термоинерции материала формы, Дж/м²К·с^{1/2};

τ – время, прошедшее от начала контакта металла с формой.

Согласно уравнению (1) величина $q_{\text{п}}$ уменьшается со временем обратно пропорционально корню квадратному из последнего. Причина этого явления – уменьшение со временем модуля градиента температуры на границе «металл - форма».

Охлаждение металла в литниковой системе. Среднее на интервале $\tau = 0 \dots \tau_{\text{зал}}$ значение плотности теплового потока от металла к форме находим, воспользовавшись теоремой о среднем [3] и зависимостью $q_{\text{л}}(\tau)$, представленной уравнением (1):

$$\bar{q}_{\text{л}} = \frac{1}{\tau_{\text{зал}}} \cdot \frac{b}{\sqrt{\pi}} (t_{\text{пов,л}} - t_{\text{ф}}) \int_0^{\tau_{\text{зал}}} \frac{d\tau}{\sqrt{\tau}}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{зал}}$ – время заливки, с;

$\bar{t}_{\text{пов,л}}$ – средняя в пределах литниковой системы температура на границе “металл - формовочная смесь”, $^{\circ}\text{C}$.

Величину $\bar{t}_{\text{пов,л}}$ можно представить в виде:

$$\bar{t}_{\text{пов,л}} = t_3 - 0,5\Delta t_{\text{л}}, \quad (3)$$

где t_3 – температура заливки, равная температуре металла на входе в литниковую систему, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_{\text{л}}$ – разность начальной t_3 и конечной $t_{\text{л}}$ температур металла в литниковой системе при заливке:

$$\Delta t_{\text{л}} = t_3 - t_{\text{л}}. \quad (4)$$

Проинтегрировав уравнение (2), получаем формулу для расчёта средней плотности теплового потока в литниковой системе в период заливки:

$$\bar{q}_{\text{л}} = \frac{2b}{\sqrt{\pi\tau_{\text{зал}}}} (\bar{t}_{\text{пов,л}} - t_{\text{ф}}). \quad (5)$$

Сравнив уравнения (1) и (5), видим, что среднее на интервале $\tau = 0 \dots \tau_{\text{зал}}$ значение плотности теплового потока равно удвоенному значению этой величины в момент $\tau = \tau_{\text{зал}}$.

Чтобы найти выражение для количества теплоты, передаваемой в литниковой системе от металла к форме в процессе заливки, нужно правую часть уравнения (5), с учётом соотношений (3) и (4), умножить на площадь теплообмена в литниковой системе $F_{\text{л}}$ и на время заливки $\tau_{\text{зал}}$:

$$Q_{\text{л}} = \frac{2b}{\sqrt{\pi}} [(t_3 - 0,5\Delta t_{\text{л}}) - t_{\text{ф}}] F_{\text{л}} \sqrt{\tau_{\text{зал}}}. \quad (6)$$

Рассматривая $Q_{\text{л}}$ как теплоту, теряемую металлом, можно записать:

$$Q_{\text{л}} = mc\Delta t_{\text{л}}, \quad (7)$$

где m и c – металлоёмкость формы и теплоёмкость металла.

Приравняв правые части уравнений (6) и (7) и выразив затем $\Delta t_{\text{л}}$, после преобразований находим формулу для расчёта изменения температуры металла в литниковой системе за время заливки:

$$\Delta t_{\text{л}} = \frac{t_3 - t_{\text{ф}}}{\frac{mc}{2bF_{\text{л}}} \sqrt{\frac{\pi}{\tau_{\text{зал}}}} + 0,5}. \quad (8)$$

Пример 1. Рассчитать $\Delta t_{\text{л}}$ для следующих условий: металл – алюминиевый сплав; металлоёмкость формы $m = 17,6$ кг; общая поверхность теплообмена между металлом и формой $F = 0,145$ м², в том числе для литниковой системы $F_{\text{л}} = 0,05$ м²; продолжительность заливки $\tau_{\text{зал}} = 10$ с; начальные температуры: металла $t_3 = 750$ $^{\circ}\text{C}$ и

форми $t_{\phi} = 20$ °С; теплоємність жидкого металла $C = 1290$ Дж/кг·К; плотность жидкого металла $\rho = 2380$ кг/м³; коэффициент термоинерции материала формы $b = 1400$ Дж/м²·К·с^{1/2}.

Решение. По формуле (8) рассчитываем $\Delta t_{л}$:

$$\Delta t_{л} = \frac{750 - 20}{\frac{17,6 \cdot 1290}{2 \cdot 1400 \cdot 0,05} \sqrt{\frac{\pi}{10}} + 0,5} \cong 8 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Охлаждение металла в полости литейной формы. Поступающий в литниковую чашу металл практически мгновенно попадает в полость формы, где, поднимаясь и контактируя с формой, отдаёт ей некоторое количество теплоты в течение всего периода заливки. При этом поверхность теплообмена изменяется от нуля до величины поверхности $F_{п}$, ограничивающей литейную полость. Средняя величина поверхности теплообмена в литейной полости $\bar{F}_{п}$ в период заливки составляет половину от общей поверхности $F_{п}$:

$$\bar{F}_{п} = F_{п}/2. \quad (9)$$

Величину среднего за период заливки значения плотности теплового потока можно определить по формуле (5), заменив в ней величину $\bar{t}_{пов,л}$ на $\bar{t}_{пов,п}$:

$$\bar{q}_{п} = \frac{2b}{\sqrt{\pi\tau_{зал}}} (\bar{t}_{пов,п} - t_{\phi}), \quad (10)$$

где $\bar{t}_{пов,п}$ – средняя за период заливки температура на границе «металл-формовочная смесь» для литейной полости, °С.

Значение $\bar{t}_{пов,п}$ может быть найдено как полусумма начальной $t_{л}$ и конечной $t_{п}$ температур металла при заливке:

$$\bar{t}_{пов,п} = 0,5(t_{л} + t_{п}) = t_{л} - 0,5\Delta t_{п}, \quad (11)$$

где $\Delta t_{п}$ – изменение температуры металла в литейной полости в период заливки.

Величина $\Delta t_{п}$ определяется соотношением:

$$\Delta t_{п} = t_{л} - t_{п}. \quad (12)$$

Теплота, теряемая металлом в литейной полости при заливке, может быть представлена как произведение $\bar{q}_{п}$ (формула (10) с учётом соотношения (11)), $\bar{F}_{п}$ (формула (9)) и $\tau_{зал}$. После преобразований получаем:

$$Q_{п} = \frac{b}{\sqrt{\pi}} (t_{л} - 0,5\Delta t_{п} - t_{\phi}) F_{п} \sqrt{\tau_{зал}}. \quad (13)$$

Величина $Q_{п}$ связана с изменением температуры металла в полости формы при заливке:

$$Q_{п} = mc\Delta t_{п}. \quad (14)$$

Приравняв правые части уравнений (13) и (14) и выразив из полученного соотношения величину Δt_n , после преобразований находим расчётное уравнение для её определения:

$$\Delta t_n = \frac{t_n - t_\phi}{\frac{mc}{bF_n} \sqrt{\frac{\pi}{\tau_{зал}} + 0,5}}. \quad (15)$$

Пример 2. Рассчитать Δt_n , воспользовавшись данными предыдущего примера.

Решение. Подставляем в уравнение (15) численные значения входящих в него величин:

$$\Delta t_n = \frac{742 - 20}{\frac{17,6 \cdot 1290}{1400 \cdot 0,095} \sqrt{\frac{\pi}{10} + 0,5}} \cong 7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Выводы

Интегрированием дифференциального уравнения теплопроводности при граничных условиях первого рода, характерных для теплового взаимодействия жидкого металла с песчаноглинистой формой, получены выражения для определения абсолютных и средних плотностей тепловых потоков через границу “металл-форма”. При использовании этих выражений с учётом специфики теплообмена в литниковой системе и в литейной полости найдены формулы для расчёта охлаждения металла в этих частях литейной формы при её заливке металлом. Приведены примеры практического применения полученных формул.

Список литературы

1. Специальные способы литья: Справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н.Бабич и др.; Под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.
2. Сабірзянов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів: Навчальний посібник. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Гостехтеоретиздат, 1953. – 608 с.

Т. Сабірзянов

Розрахунок охолодження металу при заливанні його у піщаноглинисту форму

Виведені формули для розрахунку охолодження металу в ливниковій системі та у ливарній порожнечі при заливанні форми металом. Наведені приклади практичного використання формул.

T. Sabirjanov

The calculation of a metal cooling at casting in a sandclay form

The formulas for calculation of a metal cooling at casting in a sandclay form are obtained. Examples of practical useful of the formulas are given.

Одержано 21.02.11