

мы для определения времени затвердевания и охлаждения отливки из сплава АЛ4 в стальной пресс-форме с толщиной стенки 30 мм, покрытой со стороны рабочей поверхности смазкой с термической проводимостью $0,5 \cdot 10^5$ Вт/(м·К). Толщина отливок на номограмме изменяется в пределах от 8 до 32 мм. Начальная температура варьируется от 100 до 300°C, температура заливаемого металла - 630°C, температура выбивки отливки - 450°C, коэффициенты теплоотдачи на поверхности охлаждающих каналов или на внешней поверхности пресс-формы (в случае естественного охлаждения) соответствуют: охлаждению водой, маслом и естественному охлаждению.

Анализ расчетов на ЭВМ показал, что с увеличением начальной температуры формирующей поверхности длительность технологического цикла отливки возрастает. Чем больше интенсивность охлаждения на поверхности каналов и на внешней поверхности пресс-формы, тем меньше сказывается это влияние. Увеличение толщины отливки требует снижения уровня начальной температуры для выравнивания процесса затвердевания и охлаждения разных по толщине элементов сложной отливки. Увеличением толщины формы можно практически свести на нет влияние принудительного охлаждения на цикл затвердевания, независимо от начальной температуры пресс-формы.

Данные номограммы можно широко использовать при конструировании пресс-форм для литья под давлением сложных отливок. Они позволяют правильно выбрать места расположения каналов охлаждения, теплоносители и послужить исходными для выбора оптимальных параметров при автоматизации процесса.

Литература

1. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. - М.: Наука, 1971. - 506 с.

УДК 621.746.6

Р.И.Есьман, канд. техн. наук,
В.А.Антонов, инженер (БПИ)

РЕШЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ОТЛИВКИ В ПРЕСС-ФОРМЕ НА ЭВМ

Температурное поле потока жидкого металла в процессе заполнения пресс-формы определяется гидродинамикой впрыска и прессования, а также условиями теплоотдачи на поверхности

пресс-формы. Эксперименты показывают, что по окончании заполнения пресс-формы расплав имеет неравномерную температуру по длине отливки, причем в сечении вблизи литника температура близка к температуре заливки $T_{\text{зал}}$, а в конечном сечении может приближаться к температуре кристаллизации $T_{\text{кр}}$. Для изучения проблемы подпрессовки, а именно с целью определения момента включения мультипликатора, а также времени раскрытия пресс-формы, необходимо знать тепловой режим охлаждения и затвердевания отливки с момента заполнения пресс-формы.

Рассмотрим режим охлаждения плоской неограниченной длины отливки прямоугольного поперечного сечения в пресс-форме с равномерной толщиной стенок (рис. 1). Поместим начало координат в начальном сечении, ось y направим по геометрической оси, а ось x поперек отливки. Тогда задача сводится к решению уравнений:

$$\begin{aligned} c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} \right), \quad 0 \leq y \leq a_1; \\ c_2 \rho_2 \frac{\partial T_1}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_2 \frac{\partial T_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} \right), \quad a_1 \leq y \leq a_2 \end{aligned} \quad (1)$$

при условиях идеальности контакта отливки и формы

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y}, \quad T_1 = T_2$$

и конвективного теплообмена на поверхности формы

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = \alpha (T_2 - T_0).$$

На оси x имеет условие симметрии $\partial T_1 / \partial x = 0$ при $x = 0$.

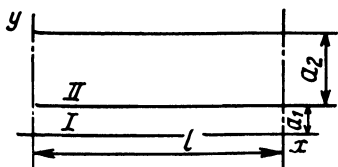


Рис. 1. Расчетная область.

Начальные условия, соответствующие моменту заполнения формы, могут быть определены либо экспериментально, либо теоретически из решения уравнений движения и энергии жидкого металла при его заполнении полости формы. Пользуясь результатами, полученными при приближенном решении гидродинамической задачи [1] и предполагая постоянство температуры по се-

чению расплава в момент окончания заполнения полости, формируем начальное условие для отливки в виде

$$T_1 = T_{\text{зал}} - \frac{\sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2} (T_{\text{зал}} - T_{\text{кр}}) x}{a_1 c_1 \rho_1 \sqrt{\pi v (1-x)}} \quad \text{при } t = 0, \quad (3)$$

где v – средняя скорость заполнения полости формы металлом.

Температуру внутри формы в начальный момент принимаем изменяющейся по линейному закону от значения (3) до температуры окружающей среды, T_0 . Теплофизические характеристики вводим переменными ($\lambda, c, \rho = \varphi(T)$).

Для решения задачи применяем метод сеток. Введем в областях I и II равномерные сетки. Для этого разобьем отрезок $(0, a_1)$ и отрезки $(0, 1)$, $(a_1, 1)$ соответственно на N_1, M_1, M_2 равных частей с шагами $h_x = 1/N$ по горизонтали и $h_{y_1} = a_1/M_1$ и $h_{y_2} = (1 - a_1)/M_2$ по вертикали. Для конечно-разностной аппроксимации производных на сетке используем шеститочечную неявную схему. Решение уравнений (1)–(3) производится методом переменных направлений.

Анализ результатов показывает, что независимо от толщины отливки поле температур в процессе охлаждения носит двумерный характер. Причем с течением времени закономерность в распределении температур по сечению отливки неодинакова. Начальное поле формируется по условиям впрыска в пресс-форму. В этот момент градиент температур по длине отливки наибольший. Величина его возрастает с увеличением толщины отливки $2a_1$. Так, при $2a_1 = 0,003$ м перепад температур ΔT на длине $l = 0,3$ м составляет несколько больше 100° , в то время как при $2a_1 = 0,008$ м величина ΔT на той же длине равна 50° .

Расчеты показывают, что на конечном участке отливки фазовый переход происходит в период $0,1-0,23$ с при $2a_1 = 0,003$ м и в период $0,8-1,8$ с при $2a_1 = 0,008$ м; соответствующие моменты времени на начальном участке имеют значения $0,25-0,5$ с и $1,2-2,4$ с. Длительность фазового перехода возрастает от периферийных участков к началу отливки. Анализ законов изменения температуры в охлаждаемой отливке по различным направлениям показывает, что поперечные усредненные градиенты температур превосходят соответствующие продольные величины в $80-100$ раз в начальный период охлаждения и в $500-1000$ раз в период кристаллизации. Здесь большие числа соответствуют большей толщине отливки. В связи с этим потоки тепла

вдоль оси пренебрежимо малы по сравнению с потоками тепла к стенке пресс-формы. Для расчета процесса затвердевания с достаточной точностью в каждом поперечном сечении отливки может быть использована одномерная модель теплопроводности. Предполагаемый метод расчета на основе двумерной модели теплопроводности предназначен для анализа неравномерности охлаждения отливки по длине с учетом характера впырка и заполнения металлом пресс-формы.

Литература

1. Вейник А.И. Кокиль. - Минск: Наука и техника, 1972. - 350 с.

УДК 621.746

Р.Н.Худокормова, канд. техн. наук,
В.А.Гринберг, канд. техн. наук,
А.Н.Крутилин, мл. науч. сотр.,
И.М.Кривошеев, студент (БПИ)

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ПРИСАДОК НА ПРОЦЕСС СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В БЫСТРООХЛАЖДАЕМОМ СЕРОМ ЧУГУНЕ

В отливках из серого чугуна, полученных методом непрерывного литья, структура неоднородна по сечению и находится в большой зависимости от скорости охлаждения. Литературные данные о роли легирующих добавок в формировании структуры серых чугунов весьма противоречивы. Вероятно, это связано со специфическими условиями охлаждения непрерывной отливки. Для устранения влияния на структуру случайных факторов исследования проводились по следующей методике. В специальные формы из шамота, установленные на водоохлаждаемую поверхность, заливали два образца. После определенного времени выдержки образцы снимались с плиты. Один из образцов охлаждали на воздухе, другой закаливали в воде. Этот метод пробных закалок позволил с достаточной степенью приближения имитировать процесс охлаждения затвердевающей отливки при непрерывном литье и дифференцированно изучить превращения, происходящие на разных этапах - затвердевание в кристаллизаторе и вне его.

В работе изучалось влияние Cu, Ni, Ti и Cr на структурообразование в сером чугуне. Чугун содержал 3,2% С, 1,6% Si;