

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 значения 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 теплоты вдоль оси пренебрежимо малы в сравнении с потоками теплоты 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 впрыска и заполнения металлом пресс-формы.

#### ЛИТЕРАТУРА

Г сь м а н Р.И., Ж м а к и н Н.П., Ш у б Л.И. Расчеты процессов литья. – Мн.: Выш. шк., 1977. – 261 с.

УДК 621.1.016.4

Е.В. КРАВЧЕНКО, Г.Г. ТЮХАЙ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ

Как известно, на процесс формирования отливки значительное влияние оказывает протекание больших масс металла через рассматриваемое сечение формы. Если форма служит для подвода жидкого металла, как это имеет место при непрерывном литье намораживанием [1], то течение его приводит к разогреву этой формы и изменению теплового режима системы отливка–форма. Случай, когда расплавленный металл передается по каналу литниковой системы, относится к наиболее простому случаю течения металла с малой интенсивностью охлаждения. При этом неметаллическая форма может прогреваться с любой интенсивностью – все зависит от свойств самой формы.

Важным фактором, влияющим на ход непрерывного литья, а также на температурное поле отливка–форма, является затвердевание металла в процессе течения. Условия кристаллизации металла при движении значительно отличаются от условий затвердевания неподвижного металла: рост твердой корки затрудняется вследствие смыва ее движущимся металлом. Жидкое состояние металла ограничивается для чистых металлов и эвтектических сплавов интервалом температур кристаллизации. В пределах этого интервала расплав находится в двухфазном состоянии.

С точки зрения процесса непрерывного литья представляют интерес установившееся температурное поле формы при течении металла в литниковом канале и момент, когда происходит "схватывание" потока.

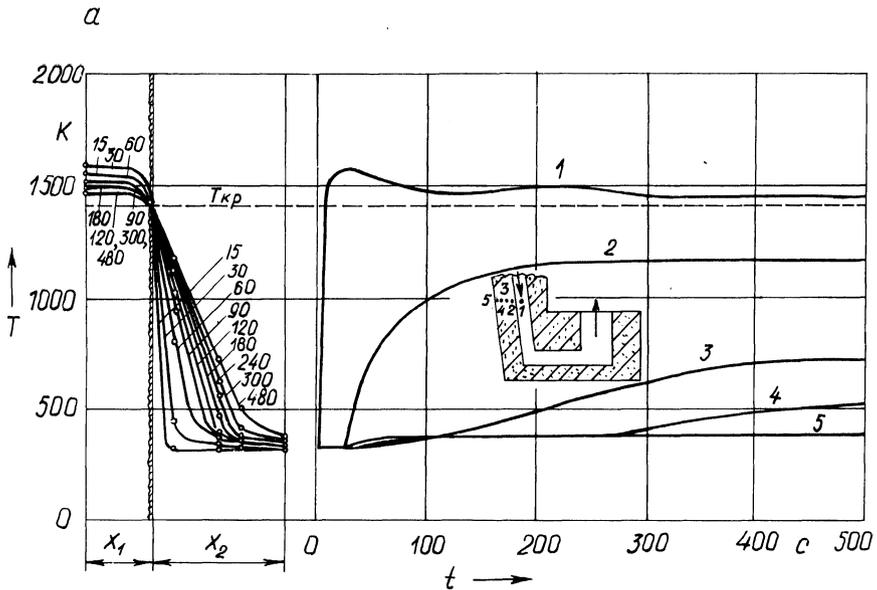
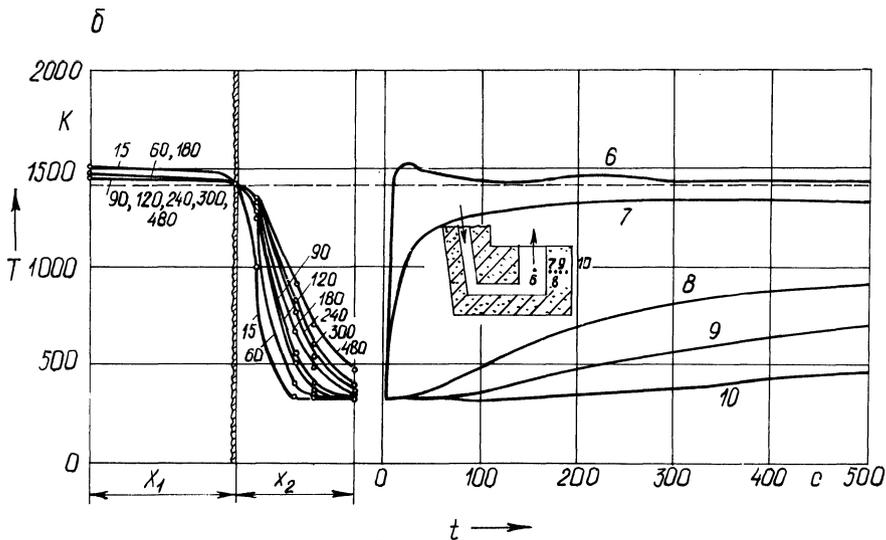


Рис. 1. Температурное поле верхней *a* и нижней *б* частей литниковой системы при литье

На рис. 1, *a* показано температурное поле системы движущийся поток — форма в наиболее узкой части литниковой системы. Диаметр канала составлял 0,033 м, длина 0,51 м, температура заливаемого металла — 1580 К, начальная температура формы — 320 К. Термопары в форме расположены на расстоянии 5 мм (кривая 2), 15 мм (кривая 3), 20 мм (кривая 4) и 30 мм (кривая 5) от поверхности раздела отливка—форма. Расход металла составлял 0,23 кг/с. Кривая 1 соответствует температуре жидкого металла. Из рисунка видно, что установившееся поле системы движущийся поток—форма наступает в среднем через 400–500 с. Для нашего конкретного случая скорость литья составляла  $w = 0,007$  м/с, частота циклов  $n = 0,4$  с<sup>-1</sup>, высота рывка  $\Delta H = 0,018$  м. Форма достигла температуры 1180 К на расстоянии 5 мм от литникового канала в течении 240 с, что соответствует длине отливки  $l = 1,72$  м.

Распределение температур со временем в системе жидкий металл—форма в нижней части литниковой системы (диаметр канала — 0,075 м, длина — 0,095 м) представлена на рис. 1, *б*. Температура формы в точке 7, отстоящей на расстоянии 5 мм от поверхности канала, резко возрастает до  $T = 1200$  К, после чего наблюдается незначительный ее подъем. Форма достигает установившегося значения температур примерно через 240 с после начала заливки. Кривая 6 соответствует температуре металла в центре потока, 8–10 — температурам по сечению канала литниковой системы.

Следует отметить, что время наступления стационарного температурного поля системы жидкий металл — форма зависит от таких факторов, как теплофизические свойства неметаллической формы, ее начальная температура, длина и диаметр канала, температура заливаемого металла и т. д.



намораживанием

Падение температуры в канале литниковой системы  $\Delta T_{л.с.}$  в зависимости от  $T_{зал}$  приведены на рис. 2. Температурные кривые для всех точек неустойчивого режима литья ( $t = 30-60$  с) объединены в одну заштрихованную полосу, для устойчивого режима ( $t = 120$  с и выше) – в другую. Средний перепад

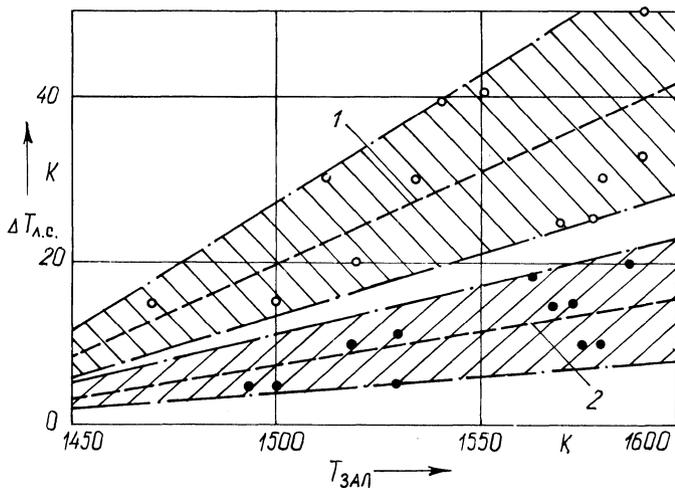


Рис. 2. Влияние температуры заливаемого металла на перепад температур по длине литниковой системы:

1 – неустойчивый режим литья; 2 – устойчивый режим литья

температур для начального периода литья изображен в виде штриховой кривой 1, для устойчивого режима литья – кривой 2. Из рисунка видно, что в начальный период литья  $\Delta T_{л.с}$  составляет 30–35 % от  $\Delta T_{пер}$ . Наличие такого значительного перепада объясняется тем, что литниковая форма еще не прогрета (начальная температура формы равна температуре цеха) и в первый период наблюдается интенсивный отвод теплоты перегрева в неметаллическую форму. По мере прогрева формы текущим по каналу литниковой системы жидким металлом перепад температур  $\Delta T_{л.с}$  снижается и в условиях установившегося режима литья составляет 4–12 % от  $\Delta T_{пер}$ . Значительная ширина заштрихованных полос объясняется неодинаковым расходом жидкого металла при разных скоростях литья. Диаметр и длина канала в опытах составляли 0,030–0,035 м и 0,45–0,55 м соответственно. Расход металла изменялся в пределах 0,15–0,375 кг/с.

Анализ течения металла показывает, что практически через 400–500 с после начала заливки влиянием форм при расчетах процесса затвердевания непрерывной отливки можно пренебречь. Следует подчеркнуть, однако, что вопросы течения металла в литниковой системе имеют исключительно важное значение для устойчивости процесса непрерывного литья. Правильный выбор элементов литниковой системы, диаметра и длины канала, материала формы, предварительный подогрев формы способствуют получению устойчивого режима литья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вейник А.И. Термодинамика литейной формы. – М.: Машиностроение, 1968. – 240 с.

УДК 532.517.4

В.А. ЦЫГАНОВ, Ю.М. ДМИТРЕНКО,  
И.А. ЛАБУДА, В.А. СОСИНОВИЧ

### АППРОКСИМАЦИЯ ДВУХТОЧЕЧНОГО МОМЕНТА ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА СКАЛЯРНОГО ПОЛЯ В СВОБОДНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЯХ

Как было показано в работе [1], описание механизма турбулентного смешения реагентов удобнее всего проводить на основе изучения функции  $P_t^c(r)$ , описывающей распределение интенсивности пульсаций скалярного поля по различным масштабам длины.

При попытке записать уравнение для  $P_t^c(r)$  возникают новые по сравнению со случаем нереагирующего потока проблемы, связанные с учетом влияния химической реакции на структуру распределения интенсивности пульсаций скалярного поля по масштабам длины. Используя обычный метод вывода уравнения для  $P_t^c(r)$  [1], можно показать, что в случае реагирующего потока в этом уравнении появляется дополнительный член вида  $\langle \omega(c(\vec{x}, t)) c(\vec{x} + \vec{r}, t) \rangle$ . Здесь  $\omega(c(\vec{x}, t))$  – функция, описывающая влияние химической реакции на поле концентрации реагента, являющаяся химическим источником членом в соответствующем уравнении переноса [1].