

по периметру отливки. Создание искусственного воздушного зазора в виде пазов переменного сечения на соответствующих участках рабочей поверхности кристаллизатора и использование модификаторов позволило исключить отбел на поверхности рейки.

**Резюме.** Проведенные исследования показали, что наиболее рациональной является скорость вытягивания отливки, равная 0,2 м/мин. Необходимый расход металла был получен литниковой системой с тремя питателями диаметром 4,5 мм, расположенными над наиболее протяженным сечением отливки.

Качество рейки удовлетворительное и соответствует техническим требованиям на отливку.

УДК 681.3.06

В.И. Тутов, канд.техн.наук,  
В.А. Гринберг, канд.техн.  
наук, А.П. Михалевич

### ПРИМЕНЕНИЕ ИТЕРАЦИОННОГО МЕТОДА НЬЮТОНА ДЛЯ РАСЧЕТА ТОЛЩИНЫ ЗАТВЕРДЕВШЕЙ КОРКИ

В результате решения дифференциального уравнения теплового баланса системы жидкий металл—затвердевшая часть отливки—окружающая среда для бесконечной пластины получено уравнение, связывающее между собой основные параметры процесса затвердевания отливки [1]

$$\begin{aligned}
 t - t_0 = \frac{1}{a} \left[ \frac{\lambda}{\alpha} \left( \frac{r}{c \nu_{кр}} + \frac{2r_{пер}}{c \nu_{кр}} + \frac{1}{n+1} \right) (\xi_1 - \xi_{10}) + \right. \\
 \left. + \left( \frac{r}{2c \nu_{кр} n} + \frac{r_{пер}}{c \nu_{кр} n} + \frac{1}{2n(n+1)} - \frac{r_{пер} \lambda}{c \nu_{кр} \alpha X} \right) (\xi_1^2 - \xi_{10}^2) - \right. \\
 \left. - \frac{2}{3} \frac{r_{пер}}{c \nu_{кр} n X} (\xi_1^3 - \xi_{10}^3) - \frac{n \lambda^2}{(n+1)\alpha^2} \ln \frac{1 + \frac{\alpha}{n\lambda} \xi_1}{1 + \frac{\alpha}{n\lambda} \xi_{10}} \right], \quad (1)
 \end{aligned}$$

где  $t$  и  $t_0$  — текущее и начальное время затвердевания;  $a$  — коэффициент температуропроводности материала отливки;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала отливки;  $r$  — удельная теплота затвердевания;  $r_{пер}$  — удельная теплота пе-

регрева;  $c$  — удельная теплоемкость материала отливки;  $\nu_{кр}$  — избыточная по отношению к температуре среды температура кристаллизации;  $n$  — показатель кривой распределения температур в затвердевшей корке;  $\xi$  и  $\xi_0$  — текущая и начальная толщина затвердевшей корки;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности отливки к окружающей среде.

В общем случае имеем  $\alpha = f(t)$ , что значительно усложняет решение поставленной задачи. Из уравнения (1) следует, что аналитическим путем найти зависимость  $\xi = \varphi(t)$  не удастся и, следовательно, необходимо использовать один из численных методов решения трансцендентных уравнений. Был применен итерационный метод Ньютона [2], позволяющий получить в ряде случаев достаточно точное приближенное решение задачи. Для применения этого метода исходное уравнение запишем в виде

$$F(\xi) = 0 \quad (2)$$

и найдем выражение для первой производной по параметру  $\xi$

$$F'(\xi) = \frac{1}{a} \left[ \frac{\lambda}{\alpha} \left( \frac{r}{c \nu_{кр}} + \frac{2r_{пер}}{c \nu_{кр}} + \frac{1}{n+1} \right) + 2\xi \left( \frac{r}{c \nu_{кр} 2n} + \frac{r_{пер}}{c \nu_{кр} n} + \frac{1}{2n(n+1)} - \frac{r_{пер} \lambda}{c \nu_{кр} \lambda X} \right) - \frac{2r_{пер} \xi^2}{c \nu_{кр} n X} - \frac{\lambda}{(n+1)\alpha \left( 1 + \frac{\alpha}{n\lambda} \xi \right)} \right]. \quad (3)$$

Как известно, метод Ньютона использует итерационное выражение

$$\xi_{n+1} = \xi_n - \frac{F(\xi_n)}{F'(\xi_n)}. \quad (4)$$

В качестве начального приближения принимаем

$$\xi_0 = 0. \quad (5)$$

Условие окончания вычислительного процесса

$$|\xi_{n+1} - \xi_n| < \delta, \quad (6)$$

где  $\delta$  — заданная точность определения корня уравнения (1).

Учитывая итерационный характер решаемой задачи, был составлен алгоритм и блок-схема нахождения закона затвердева-

ния отливки как функции времени  $t$ , которая приведена на рис. 1, а также программа на алгоритмическом языке ФОРТРАН. В программе предусмотрена возможность нахождения для ряда моментов времени  $t_i$ , соответствующих им  $\xi_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), где  $m$  -- общее количество заданных временных точек. После ввода исходных данных (блок 2) программа в зависимости от величины заданного коэффициента  $K$  производит

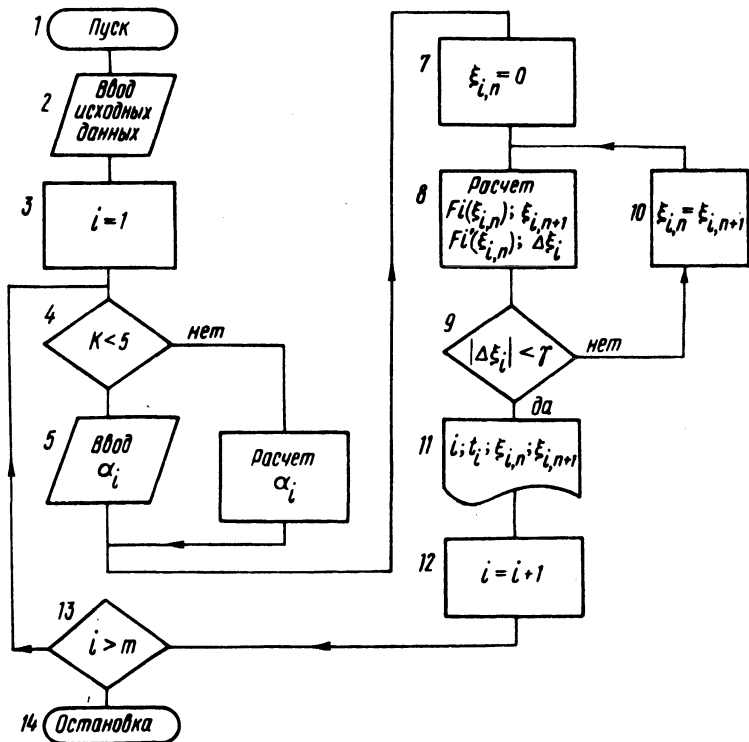


Рис. 1. Блок-схема расчета закона затвердения корки отливки.

ввод (блок 5) либо расчет по формуле параметра  $\alpha_i$  для начального момента времени ( $i = 1$ ). Затем задается начальное приближение (блок 7), по формулам (2), (3), (4) рассчитываются значения  $F(\xi_i, n)$ ,  $F'(\xi_i, n)$ ,  $\xi_{i, n+1}$ ,  $\Delta \xi_i = \xi_{i, n+1} - \xi_{i, n}$  (блок 8). После чего проверяется условие (6) и при его выполнении производится печать значений  $t_i$ ,  $\xi_{i, n}$ ,  $\xi_{i, n+1}$ . Если условие (6) не выполняется, то блок 11 задает новое начальное приближение, равное значению  $\xi_{i, n+1}$

рассчитанному по формуле (4), после чего опять производится расчет по формулам (2)–(4) и т.д. до тех пор, пока не будет выполняться условие (6). Блоки (13) и (14) позволяют определить все значения  $\xi_i$  для заданных точек временного интервала  $t$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ). После нахождения всех значений  $\xi_i$  вычислительный процесс заканчивается.

### Л и т е р а т у р а

1. Тутов В.И., Гринберг В.А., Михалевич А.П. Расчет затвердевания плоской непрерывной отливки. — В сб.: Металлургия, вып. 11. Минск, 1976. 2. Петров А.В. и др. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах. М., 1975.

УДК 621.746.047

А.М. Дмитривич, канд.техн.наук,  
В.А. Гринберг, канд.техн. наук,  
И.В. Земсков, А.Н. Крутилин

### УСТАНОВКА ДЛЯ ЛИТЬЯ ОТЛИВОК СЕПАРАТОРОВ МЕТОДОМ ВЫЛИВАНИЯ

На кафедре машин и технологии литейного производства Белорусского политехнического института спроектирована и изготовлена лабораторная установка для получения отливок сепараторов методом выливания. Схема установки представлена на рис. 1. Установка состоит из рамы 1, V-образной сварной

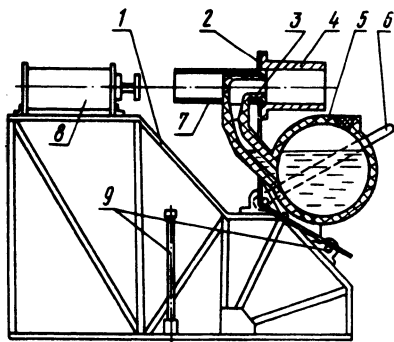


Рис. 1. Схема установки.

плиты 2, металлоприемника 5, металлопровода 3, толкателя 7, пневмоцилиндра 8, упоров 9, поворотного рычага 6. Форма и все узлы установки, за исключением пневмоцилиндра, смонтиро-