



Crystallizer with more uniform cooling is presented.

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.746:536:242

ПОВЫШЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ ЛИТЬЕ НАПРАВЛЕННЫМ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ

При литье направленным затвердеванием жидкий металл в стационарный и подвижный 1 кристаллизаторы подают посредством сифонной литниковой системы через соединительный стакан 2 до заданного уровня. Далее делают выдержку для формирования отливки 3, которую затем извлекают из стационарного кристаллизатора с помощью подвижного кристаллизатора (рис. 1). Получаемые заготовки часто имеют уменьшающуюся с высотой толщину и прилив в нижней части. Этому способствует не только гидродинамическая обстановка в расплаве кристаллизатора при его заполнении, но и охлаждение рубашки.

При литье направленным затвердеванием применяют стационарный шелевой кристаллизатор. Он состоит из рубашки 4, верхнего 5 и нижнего 6 фланцев, корпуса 7, подводящего 8 и отводящего 9 патрубков, перегородки 10 и экрана 11 (рис. 1). Вода через патрубок 8 тангенциально поступает в нижний коллектор 12, далее – в кольцевой канал (щель) между экраном и рубашкой, затем – в верхний коллектор 13 и отводится через патрубок 9. В кольцевой щели между экраном и нижним фланцем поток воды движется перпендикулярно рубашке, интенсивно охлаждая ее нижнюю часть. Это способствует образованию прилива в нижней части отливки. После поворота на 90° водяной поток движется параллельно рубашке кристаллизатора. Теплопередача от ее наружной поверхности к потоку, движущемуся со средней скоростью ω , будет осуществляться через тепловой пограничный слой толщиной δ_T , которая определяется следующим образом [1, 2]:

$$\delta_T = \frac{0,37 \left(\frac{v}{\omega h} \right)^{0,2} h}{\sqrt{Pr}}, \quad (1)$$

где h – высота рубашки от точки 0, где водяной поток меняет направление на 90° (рис. 1); v – кинематическая вязкость воды; Pr – число Прандтля равно $\frac{\mu C_p}{\lambda}$ (μ , C_p , λ) – динамическая вязкость, теплоемкость и теплопроводность воды).

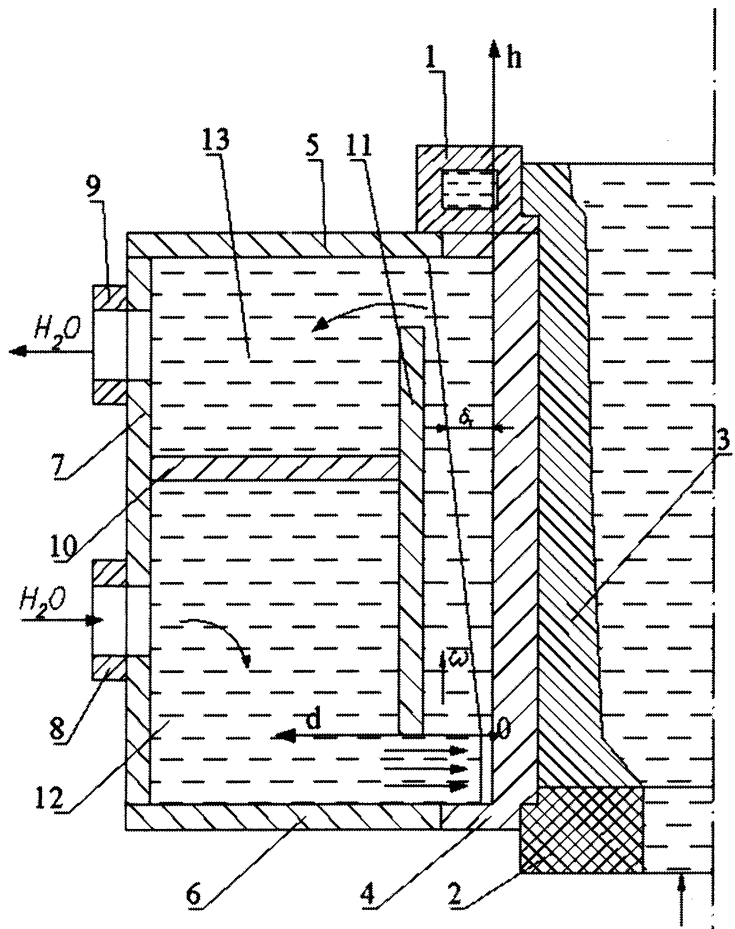


Рис. 1. Работа обычного кристаллизатора: 1 – подвижный кристаллизатор; 2 – соединительный стакан; 3 – отливка; 4 – рубашка; 5 – верхний фланец; 6 – нижний фланец; 7 – корпус; 8 – подводящий патрубок; 9 – отводящий патрубок; 10 – перегородка; 11 – экран; 12 – нижний коллектор; 13 – верхний коллектор

Согласно С.С. Кутателадзе, коэффициент теплоотдачи α_h от наружной поверхности рубашки кристаллизатора к водяному потоку можно определить по уравнению [3]:

$$\alpha_h \approx \frac{\lambda h}{\delta_T^2} \quad (2)$$

Подставляя в (2) уравнение (1) и учитывая, что $\mu = \rho v$, где ρ — плотность воды, получаем:

$$\alpha_h \approx \frac{\rho C_P v^{0,6} \omega^{0,4}}{0,137 h^{0,6}} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что при постоянной скорости и физических параметрах водяного потока в кольцевом канале между экраном и рубашкой коэффициент теплоотдачи α_h уменьшается с увеличением высоты кристаллизатора. Максимальная теплоотдача при охлаждении будет в нижней части рубашки, а минимальная — в ее верхней части. Это способствует уменьшению толщины отливки с увеличением ее высоты. Кроме того, неравномерность охлаждения рубашки кристаллизатора увеличивает в нем величину термических напряжений. При литье направленным затвердеванием это приводит к короблению рубашки и отливки. Для устранения этих негативных процессов разработана новая конструкция кристаллизатора, обеспечивающая постоянный по высоте рубашки коэффициент теплоотдачи на ее наружной поверхности. Это достигается тем, что в предлагаемой конструкции ширина кольцевого канала d между рубашкой 1 и экраном 2 является переменной величиной, определяемой по функциональной зависимости $d = f(h)$ (рис. 2). Определяем это уравнение исходя из (3) и условия $\alpha_h = \text{const}$. Для верхней части рубашки на высоте H (см. рис. 1):

$$\alpha_H \approx \frac{\rho C_P v^{0,6} \omega_H^{0,4}}{0,137 H^{0,6}} \quad (4)$$

где ω_H — средняя скорость потока на высоте H . Аналогично для любого значения h можно записать:

$$\alpha_h \approx \frac{\rho C_P v^{0,6} \omega_h^{0,4}}{0,137 h^{0,6}} \quad (5)$$

где ω_h — средняя скорость потока на высоте h . Из равенства $\alpha_h = \alpha_H$ следует

$$\frac{h^6}{H^6} = \frac{\omega_h^4}{\omega_H^4} \quad (6)$$

где H — высота экрана.

Для кольцевых сечений шириной d_H и d справедливо уравнение неразрывности потока:

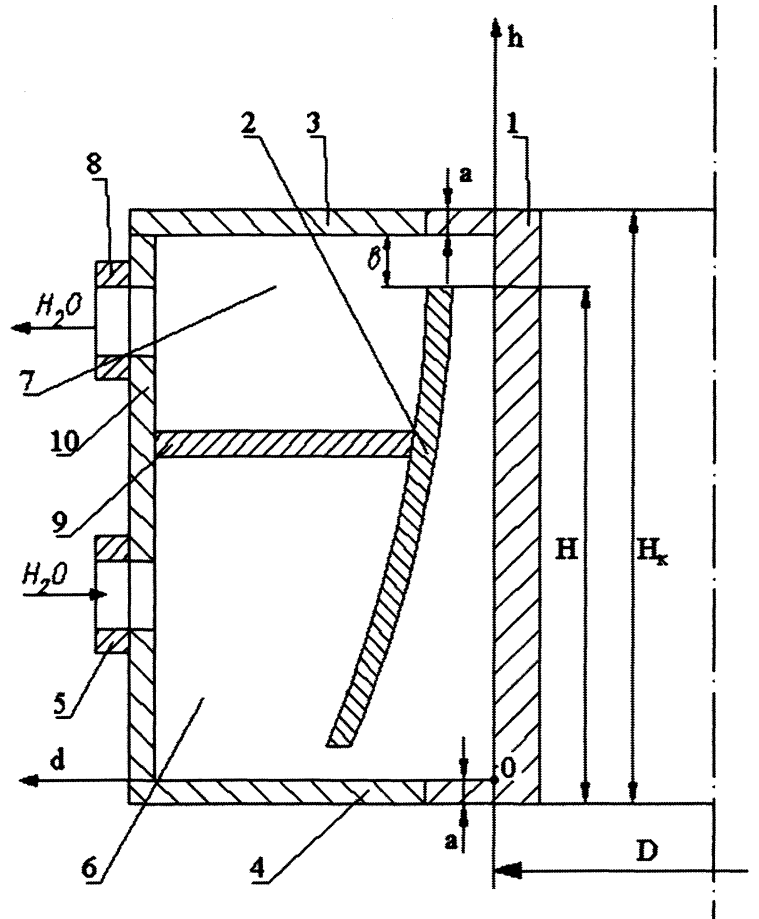


Рис. 2. Кристаллизатор с переменным кольцевым канал: 1 — рубашка; 2 — экран; 3 — верхний фланец; 4 — нижний фланец; 5 — подводный патрубков; 6 — нижний коллектор; 7 — верхний коллектор; 8 — отводящий патрубков

$$\omega_H S_H = \omega_h S_h \quad (7)$$

где S_H — площадь поперечного сечения кольцевого канала.

Значения S_H , S_h , H определяются по уравнениям:

$$\begin{aligned} S_H &= \pi d_H (D - d_H), \\ S_h &= \pi d (D - d), \end{aligned} \quad (8)$$

$$H = H_k - 2a - \epsilon,$$

где D — наружный диаметр рубашки; H_k — высота стационарного кристаллизатора; a — толщина фланца рубашки; ϵ — расстояние между экраном 2 и верхним фланцем 3 (рис. 2).

Из уравнений (6)–(8) следует:

$$\frac{h^6}{(H_k - 2a - \epsilon)^6} = \frac{d_H^4 (D - d_H)^4}{d^4 (D - d)^4} \quad (9)$$

Принимаем $d_H = 0,003$ м; $\epsilon = 0,005$ м; $a = 0,008$ м; $d_0 = 0,03$ м; $D = 0,15$ м. Учитывая, что $d_H \ll D$ и $d \ll D$, из (9) получаем искомое уравнение $d = f(h)$, при котором α_h будет постоянным по всей высоте наружной поверхности рубашки кристаллизатора:

$$d = \frac{0,000134}{h \sqrt{h}} \quad (10)$$

Кристаллизатор новой конструкции работает следующим образом. Вода из подводящего патрубка 5 тангенциально поступает в нижний коллектор 6, затем через отверстия в нижней части экрана 2 — в кольцевой канал переменного сечения между экраном 2 и рубашкой 1, далее — в верхний коллектор 7 и отводящий патрубок 8. Профиль внутренней поверхности рубашки кристаллизатора, выполненный в соответствии с уравнением (9), обеспечивает по всей высоте внутренней рубашки кристаллизатора постоянный коэффициент теплоотдачи.

Таким образом, при литье направленным затвердеванием уменьшающееся по высоте сечение водяного кольцевого канала повышает равномерность его охлаждения.

Литература

1. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали. М.: Металлургия, 1976.
2. Исаев С.И., Кожин И.А., Кофанов В.И. и др. Теория тепломассообмена. М.: Высш. шк., 1979.
3. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979.