



New construction of gating system increasing the quality of castings at founding by directional hardening is worked out.

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

УДК 621.746.628.4

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК ПРИ ЛИТЬЕ НАПРАВЛЕННЫМ ЗАТВЕРДЕВАНИЕМ

Гидродинамика заполнения литейных форм оказывает существенное влияние на качество полученных отливок. При литье направленным затвердеванием подача жидкого металла в кристаллизатор 1 из литейного ковша 2 происходит посредством сифонной литниковой системы. Она состоит из литниковой чаши 3, дросселя 4, металлопровода 5 и соединительного стакана 6

(рис. 1). При литье направленным затвердеванием применяют дроссель открытого типа. Известно, что струя расплава, попадая в литейную чашу, инжектирует в нее неметаллические частицы и воздушные пузыри [1]. Попадая в литейную форму, они захватываются фронтом кристаллизации, что приводит к браку отливок по неметаллическим включениям и газовым раковинам. Кроме

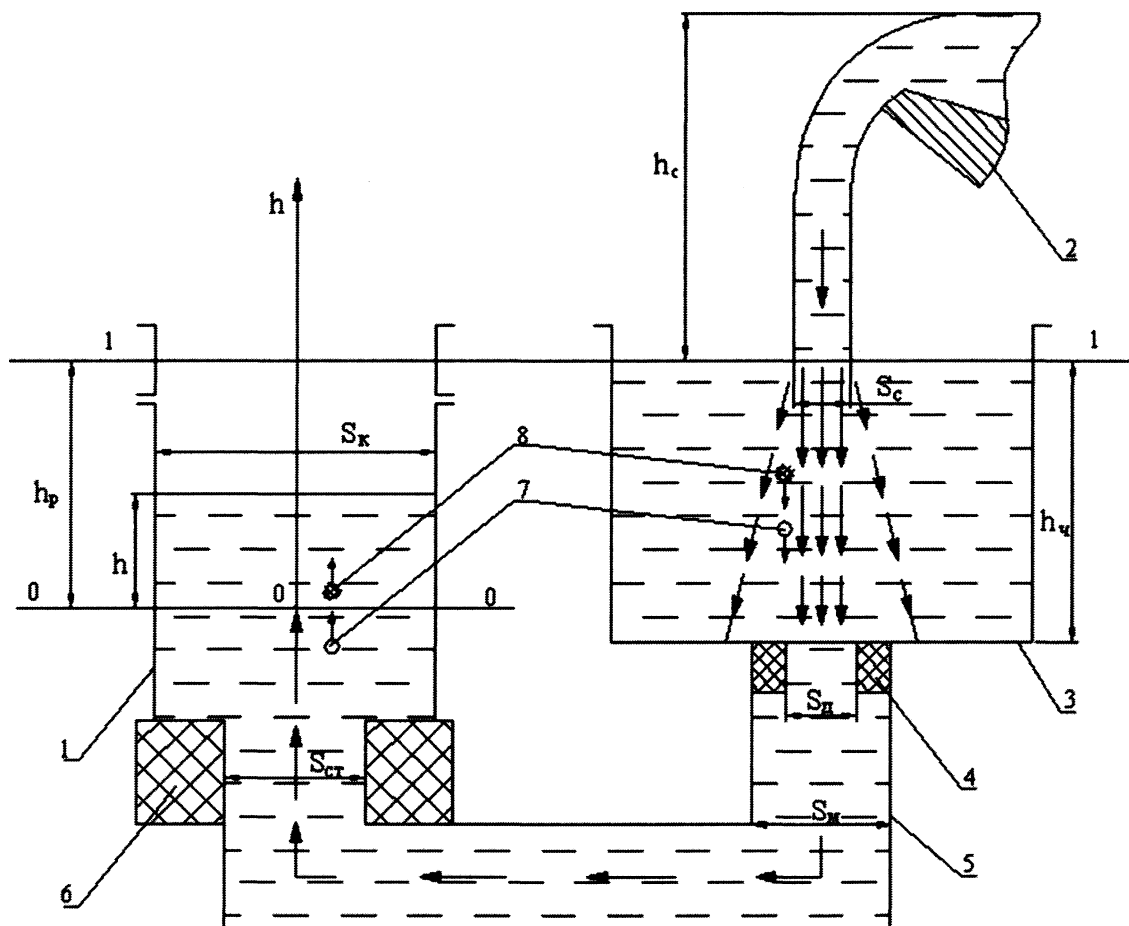


Рис. 1. Процесс заполнения кристаллизатора посредством сифонной литниковой системы с открытым дросселем: 1 – кристаллизатор; 2 – литейный ковш; 3 – литниковая чаша; 4 – дроссель; 5 – металлопровод; 6 – соединительный стакан; 7 – воздушные пузыри; 8 – неметаллические частицы

того, струя расплава оказывает дополнительное гидродинамическое напорное воздействие на процесс перетекания жидкого металла из литниковой чаши в форму, что при определенных условиях увеличивает в ней колебание уровня. Это приводит к браку отливок по неспаям и нарушению стабильности процесса литья.

При литье направленным затвердеванием для получения равнотолщинных по высоте отливок необходимо относительно быстрое заполнение кристаллизатора расплавом. Поэтому его уровень в литниковой чаше поддерживают максимально высоким, соответствующим заданному уровню $l-l$ жидкого металла в кристаллизаторе (рис. 1).

Струя жидкого металла из литейного ковша на уровне $l-l$ имеет в соответствии с уравнением Торичелли скорость ω_c , равную:

$$\omega_c = \sqrt{2gh_c}, \quad (1)$$

где h_c – высота падения струи; g – ускорение силы тяжести.

Средняя площадь сечения струи S_c равна:

$$S_c = \frac{V_{отл}}{\omega_c \tau_3}, \quad (2)$$

где $V_{отл}$ – объем отливки; τ_3 – время заполнения кристаллизатора от уровня $0-0$ – падения в нем расплава после извлечения отливки до равновесного уровня h_p (рис. 1).

Объем отливки определяется по уравнению:

$$V_{отл} = \frac{4}{\pi} (4D_K \xi - \xi^2) H_{отл}, \quad (3)$$

где D_K – внутренний диаметр кристаллизатора; ξ – средняя толщина отливки; $H_{отл}$ – высота отливки.

Из уравнения (2), учитывая (3), получаем:

$$S_c = \frac{\pi (4D_K \xi - \xi^2) H_{отл}}{4\tau_3 \sqrt{2gh_c}}. \quad (4)$$

При литье направленным затвердеванием для отливки диаметром 0,12 м ее высота и толщина стенки в среднем составляют 0,27 и 0,013 м, при этом $\tau_3=3$ с, а $h_c=0,2$ м.

Подставляя эти значения в формулу (4), получаем $S_c = 2 \cdot 10^{-4}$. Будем считать, что струя расплава из ковша цилиндрическая. Тогда ее диаметр D_c составит 0,016 м. Заполнение литниковой чаши происходит по законам распространения затопленной турбулентной струи. Участок длиной L_0 , на котором скорость ω_c остается постоянной, равен $7D_c$ [1]. При литье отливок диаметром 120 мм в соответствии с указанными

выше расчетными данными $L_0=0,11$ м. Учитывая, что высота уровня металла в литниковой чаше h_c в среднем составляет 0,1 м, можно утверждать, что струя расплава при ее центральной симметричной подаче в литниковую чашу попадает в металлопровод с максимальной скоростью ω_c . В данном случае она равна 2 м/с. Для неметаллических частиц и воздушных пузырей размером d более 1 мм и плотностью ρ_2 скорость их всплытия в железных сплавах определяется как [2]:

$$\omega_b = 1,15 \sqrt{gd \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1}}, \quad (5)$$

где ρ_1 – плотность расплава.

Из уравнений (1) и (5) следует, что максимальные размеры неметаллических частиц и газовых пузырей, инжектируемых в металлопровод и кристаллизатор, рассчитываются по уравнению:

$$d_{max} = \frac{1,5h_c \rho_1}{\rho_1 - \rho_2}. \quad (6)$$

При $h_c=0,2$ м и $\rho_2=3000$ кг/м³ и $\rho_1=7000$ кг/м³ d_{max} неметаллических частиц составляет 0,5 м, а d_{max} воздушных пузырей – 0,3 м. Это означает, что при литье направленным затвердеванием открытый дроссель не препятствует проникновению неметаллических включений и воздушных пузырей в кристаллизатор при его заполнении расплавом. Это значительно ухудшает качество отливок.

Для предотвращения этого негативного процесса разработан дроссель закрытого типа (рис. 2) [3]. Его конструкция позволяет гасить энергию струи из литейного ковша, что уменьшает ее динамическое воздействие на расплав в кристаллизаторе. Инжектированные в жидкий металл литниковой чаши 1 неметаллические частицы 2 и газовые пузыри 3, отражаются от крыши дросселя 4 и в восходящем потоке всплывают к уровню $l-l$ (поверхности) жидкого металла, не попадая в металлопровод 5.

Таким образом, дроссель закрытого типа полностью предотвращает попадание пузырей воздуха и неметаллических частиц в кристаллизатор при его заполнении расплавом из литейного ковша. Это значительно повышает качество получаемых заготовок.

Качество отливок при литье направленным затвердеванием определяется не только конструкцией дросселя, но и оптимальными параметрами литниковой системы, влияющими на колебания уровня металла в кристаллизаторе. Его заполнение происходит с напором h_p-h , где h – высота подъема уровня в кристаллизаторе относительно $0-0$ при перетекании жидкого металла. Тогда в соответствии со вторым законом Ньютона

$$h^* = h_p - h - \Delta h_n, \quad (7)$$

где Δh_n – потери напора при перетекании расплава из литниковой чаши в кристаллизатор.

Если $h^* > 0$, то движения уровня расплава в кристаллизаторе будут носить нестационарный, колебательный характер.

При $h_p - h = \Delta h$ заполнение кристаллизатора будет идти без колебания, в установившемся режиме при переменном напоре.

При литье направленным затвердеванием площади внутренних сечений соединительного стакана и металлопровода равны ($S_{ст} = S_m$). Тогда потери напора при перетекании расплава из литниковой чаши в кристаллизатор можно выразить [4]:

$$\Delta h_n = 0,5 \left(1 - \frac{S_d}{S_q} \right) \frac{\omega_d^2}{2g} + \xi_{пов} \frac{\omega_d^2}{2g} + \frac{(\omega_d - \omega_m)^2}{2g} + \zeta_{тр} \frac{\omega_m^2}{2g} + n \xi_{пов} \frac{\omega_m^2}{2g} + \frac{(\omega_m - \omega_k)^2}{2g}, \quad (8)$$

где S_d – площадь внутреннего сечения дросселя; S_q – площадь зеркала расплава в литниковой чаше; ω_d – средняя скорость потока на выходе из дросселя; ω_m – средняя скорость расплава в металлопроводе; $\xi_{тр}$ – коэффициент сопротивления при трении потока о стенки металлопровода;

$$\xi_{тр} = 0,04 \frac{L}{D_m} [2], \text{ где } L \text{ – длина металлопровода}$$

и соединительного стакана; D_m – внутренний диаметр металлопровода; $\xi_{пов}$ – коэффициент сопротивления при повороте потока на 90° равен 1,1 [2]; n – число поворотов равно 2.

Для любого сечения потока литниковой системы справедливы следующие уравнения неразрывности:

$$\omega_d S_d = \omega_m S_m, \quad \omega_k S_k = \omega_m S_m. \quad (9)$$

Подставив ω_d и ω_k из уравнения (9) в уравнение (8) с учетом определенных выше параметров, получим:

$$\Delta h_n = \frac{\omega_m^2}{2g} \left[0,5 \left(1 - \frac{S_d}{S_q} \right) \left(\frac{S_m}{S_d} \right)^2 + 1,1 \left(\frac{S_m}{S_d} \right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_d} - 1 \right)^2 + 0,04 \frac{L}{D_m} + 2,2 + \left(1 - \frac{S_m}{S_k} \right)^2 \right]. \quad (10)$$

В гидродинамических расчетах литниковых систем для установившегося потока с переменным напором величину ω_m определяют по формуле [2]:

$$\omega_m = \mu \sqrt{2g(h_p - h)}, \quad (11)$$

где μ – коэффициент расхода литниковой системы.

Выражение (11) справедливо, если в формуле

$$(10) \text{ величина } \left(1 - \frac{S_m}{S_k} \right) \rightarrow 1.$$

Следовательно, отсутствие колебания уровня расплава в кристаллизаторе определяется услови-

ем $\frac{S_m}{S_k} \rightarrow 0$, т. е. $S_m \ll S_k$. На практике это условие

выполняется, если внутренний диаметр кристаллизатора D_k будет больше 0,12 м при внутреннем

диаметре металлопровода $D_m = 0,04$ м, т. е. когда $S_k \geq 10S_m$. При литье направленным затверде-

нием обычно принимают $S_k = S_q$ и $L = 0,8$ м. В соответствии с этими условиями уравнение (10) примет вид:

$$\Delta h_n = \frac{\omega_m^2}{2g} \left[2,6 \left(\frac{S_m}{S_d} \right)^2 - 2 \left(\frac{S_m}{S_d} \right) + 5 \right]. \quad (12)$$

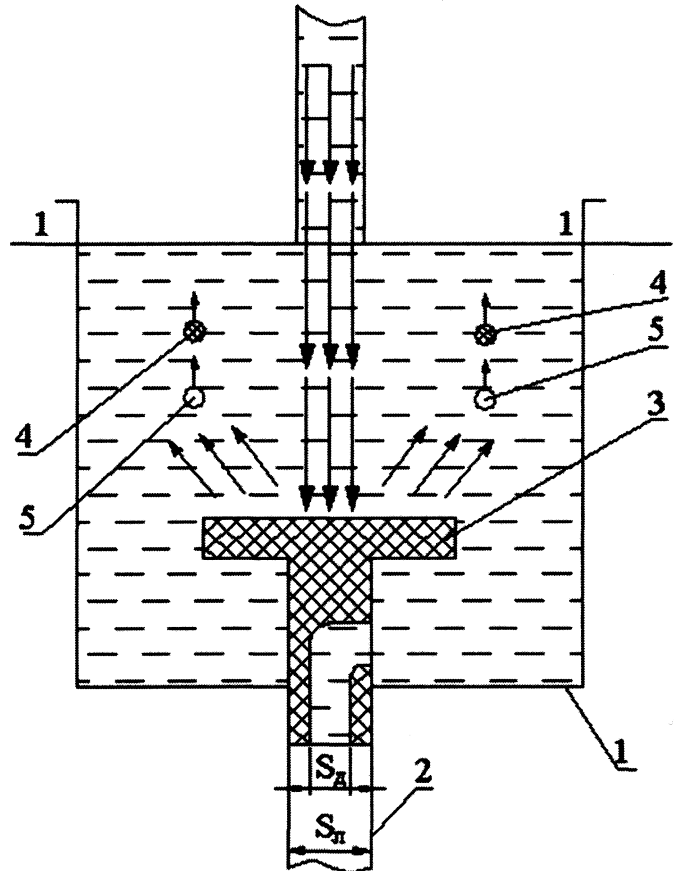


Рис. 2. Механизм действия закрытого дросселя: 1 – литниковая чаша; 2 – металлопровод; 3 – дроссель; 4 – неметаллические частицы; 5 – воздушные пузыри

Поскольку для отсутствия колебания уровня жидкого металла в кристаллизаторе необходимо выполнение условия $h_p - h = \Delta h_{II}$, то с учетом (11) и (12) получим:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left[2,6 \left(\frac{S_M}{S_d} \right)^2 - 2 \left(\frac{S_M}{S_d} \right) + 5 \right]}}. \quad (13)$$

Время заполнения кристаллизатора в режиме установившегося потока расплава с переменным напором рассчитывается по уравнению [2]:

$$\tau_3 = \frac{2S_k \sqrt{h_p}}{\mu S_M \sqrt{2g}}. \quad (14)$$

Подставляя в (14) коэффициент расхода литниковой системы из уравнения (13), учитывая,

что $h_p = \frac{V_{отл}}{S_k}$, получаем

$$\tau_3 = \frac{\sqrt{2V_{отл} S_k \left[2,6 \left(\frac{S_M}{S_d} \right)^2 - 2 \frac{S_M}{S_d} + 5 \right]}}{\sqrt{g} S_M}. \quad (15)$$

Это уравнение совместно с условием $S_k \geq 10S_M$ определяет основные оптимальные параметры литниковой системы. Минимальное время ее заполнения будет происходить при условии $S_M = S_d$:

$$\tau_3^{\min} = \frac{\sqrt{11,2V_{отл} S_k}}{\sqrt{g} S_M}. \quad (16)$$

При литье направленным затвердеванием время заполнения кристаллизатора расплавом определяется техническими возможностями двухпозиционной литейной машины и может превышать τ_3^{\min} . В этом случае S_d будет меньше S_M .

Таким образом, при литье направленным затвердеванием применение закрытого дросселя, установленного в литниковую чашу сифонной литниковой системы, значительно повышает качество получаемых заготовок.

Литература

1. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. М.: Металлургия, 1976.
2. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов Л.: Машиностроение, 1976.
3. Устройство для подачи металла в кристаллизатор: А. с. 1503986 СССР: МКИ В2211(10).
4. Чугаев Р. Р. Гидравлика Л.: Энергоиздат, 1982.