

Классификация и особенности расчета литниковых систем при литье с центрифугированием расплава

Способ изготовления фасонных отливок литьем с центрифугированием расплава является разновидностью общего метода центробежного литья, позволяющего получать высококачественные отливки практически из всех марок сплавов. Движение жидкого сплава по каналам литниковой системы вращающейся формы характеризуется повышенным вихреобразованием и вспениванием потока на мелких неровностях стенок формы и, особенно, в местах поворота и изгиба литниковых каналов, сопровождающееся захватом газов и повышенным шлакообразованием. Очевидно, что незначительные ошибки в конструировании литниковых систем служат причиной брака отливок.

В настоящее время известно большое количество разнообразных литниковых систем для различных вариантов применения способа литья с центрифугированием расплава [1-3], однако отсутствует единый подход к анализу технологических особенностей данного способа литья и конструированию литниковых систем.

На основании анализа применения литниковых систем для литья с центрифугированием расплава предложена классификация, по аналогии с гравитационной заливкой, литниковых систем (см. таблицу) в зависимости от конструкции и режима заполнения формы, направления действия ускорения силы тяжести и центростремительного ускорения, конфигурации коллектора, расположения питателя по высоте формы, направления вращения формы.

В зависимости от режима заполнения формы литниковые системы делятся на закрытые (запертые) и открытые (незапертые).

В зависимости от конструкции литниковые системы делятся на литниковые системы коллекторного и бесколлекторного типа, а также комбинированные литниковые системы. В литниковых системах бесколлекторного типа заполнение формы происходит через питатель непосредственно из стояка. Эти системы нашли широкое применение при литье высокотемпературных сплавов по выплавляемым моделям. Литниковые системы коллекторного типа, в зависимости от конфигурации коллектора, можно разделить на литниковые системы с прямым, наклонным, криволинейным, ступенчатым и кольцевым коллектором.

На расплав, двигающийся по каналам литниковой системы, действуют центробежное ускорение и ускорение силы тяжести. В зависимости от направления действия гравитационного ускорения все литниковые системы можно разделить на верхние, боковые и сифонные. При высоких скоростях вращения формы (более 300 об./мин) ускорением силы тяжести можно пренебречь, так как его влияние оказывается незна-

чительным, во всех остальных случаях его необходимо учитывать. В зависимости от направления действия центробежного ускорения литниковые системы делятся на прямые, задние, боковые.

В зависимости от положения питателя по высоте формы можно выделить одноуровневые и ярусные литниковые системы.

Направление вращения формы при литье с центрифугированием расплава оказывает большое влияние на формирование отливок, поэтому необходимо различать литниковые системы с расположением отливок по ходу вращения и в сторону, противоположную вращению формы. Возможны также конструкции со смешанным расположением отливок. Причем наилучшее качество отливок достигается при расположении их против хода вращения формы.

Выбор той или иной конфигурации литниковой системы при проектировании технологии изготовления отливки зависит от множества факторов. Для получения мелких и средних отливок из цветных сплавов наиболее широкое распространение получили запертые, одноуровневые литниковые системы коллекторного типа с прямым коллектором. Для указанных литниковых систем предлагаем следующую методику расчета.

В основу методики расчета литниковой системы положено условие обеспечения заполнения рабочей части полости формы при таких скоростях течения, которые образуют ламинарные или с незначительной (допустимой) турбулентностью режимы течения потока, исключающие возникновение в них пены. Таким образом, расчетная скорость потока V_{ϕ} в самых узких сечениях формы не должна превышать своего максимального значения при допустимых для рабочей полости формы числах Рейнольдса [4]:

$$v_{\phi} \leq v_{\phi, \max} = \frac{Re_{\phi, \max} \cdot v}{4R_{\phi}}; \quad (1)$$

При этом расход расплава через указанные сечения полости формы, а следовательно, и литниковую систему не должен превышать максимально допустимого значения:

$$Q_{\phi} \leq Q_{\phi, \max} = v_{\phi, \max} \cdot F_{\phi}; \quad (2)$$

где $Re_{\phi, \max}$ – допустимое для рабочей полости формы число Рейнольдса, ν – кинематическая вязкость расплава; R_{ϕ} , F_{ϕ} – гидравлический радиус и площадь поперечного сечения полости формы, определяемые в сечении, перпендикулярном радиусу ее вращения.

Для ограничения величины максимально допустимого расхода в форме необходимо соответствующее ограничение расхода металла, проходящего через питатель или питатели, то есть

$$n \cdot Q_{n, \max} \leq Q_{\phi, \max} \text{ или } n \cdot v_{n, \max} \cdot F_n \leq F_{\phi} \cdot v_{\phi, \max}; \quad (3)$$

В зависимости от конструкции	бесколлекторного типа		В зависимости от конфигурации коллектора	с наклонным коллектором	
	коллекторного типа			с криволинейным коллектором	
В зависимости от режима заполнения формы	закрытые (запертые)		В зависимости от конфигурации коллектора	со ступенчатым коллектором	
	открытые (незапертые)			с кольцевым коллектором	
По направлению действия ускорения силы тяжести	верхние		В зависимости от положения питателя по высоте формы	одноуровневые	
	боковые				ярусные
	сифонные				
По направлению действия центростремительного ускорения	прямые		В зависимости от направления вращения формы	с расположением отливок против хода вращения	
	боковые			с расположением отливок по ходу вращения	
	задние			со смешанным расположением отливок	

где $v_{n, \max}$ – максимальная скорость потока расплава, проходящего через один питатель; F_n – площадь поперечного сечения питателя; n – количество питателей.

Согласно работе [4], фактическая скорость потока расплава, проходящего через питатель, не должна превышать максимально допустимого значения:

$$v_{n, \max} = \frac{Re_{n, \max} \cdot v}{4R_n}, \quad (4)$$

где $Re_{n, \max}$ – максимально допустимое число Рейнольдса для питателя; R_n – гидравлический радиус питателя.

После подстановки (1), [4] в (3) и математических преобразований, с учетом формулы для определения гидравлического радиуса $R = \frac{4F}{p}$, получим:

$$P_n \leq \frac{1}{n} \cdot \frac{Re_{\phi, \max}}{Re_{n, \max}} \cdot P_{\phi}; \quad (5)$$

где P_n, P_ϕ – соответствующие значения периметров питателя и формы.

В работах [5, 2, 4] толщину питателя δ предлагается находить с помощью уравнения Жюрена, описывающего баланс сил, действующих на жидкость в капилляре, в приложении к капилляру, имеющему форму узкой щели толщиной:

$$H = \left(\frac{2\sigma}{\delta\rho g} \right) \cos\varphi, \quad (6)$$

где σ – поверхностное натяжение расплава; φ – краевой угол смачивания; ρ – плотность жидкости; g – ускорение силы тяжести; H – величина гидростатического напора.

Исходя из (6) с поправкой на действие центробежных сил [2], проникновение расплава в форму в случае применения прямоугольного питателя в виде узкой щели возможно при условии

$$H_{\min} > \frac{2\sigma}{(\delta\rho g\sqrt{1+K^2})} \cos\theta, \quad (7)$$

где K – гравитационный коэффициент, $K = \omega^2 r_n / g$, ω – частота вращения формы; r_n – расстояние от оси вращения формы до питателя.

В этом случае, с целью предотвращения преждевременного попадания металла в форму и обеспечения условий, необходимых для ее равномерного заполнения расплавом, толщина питателя должна составлять:

$$\delta < \frac{2\sigma}{H\rho g\sqrt{1+K^2}} \cos\theta. \quad (8)$$

Тогда ширину питателя можно определить по формуле:

$$b_n = P_n / 2 - \delta \quad (9)$$

Соответствующая величина металлостатического напора [6] в данном случае может быть достигнута за счет создания перепада уровней расплава в коллекторе и форме $\Delta\gamma$ (рисунок):

$$H = \frac{\omega^2 (r_\phi^2 - r_k^2)}{2g}, \quad (10)$$

где r_ϕ, r_k – соответственно, уровни расплава в форме и коллекторе.

Скорость подъема расплава в форме можно определить по формуле:

$$v_\phi = \varphi\omega\sqrt{(r_\phi^2 - r_k^2)}. \quad (11)$$

Расход:

$$Q_\phi = v_\phi F_\phi = \mu_\phi \omega F_\phi \sqrt{(r_\phi^2 - r_k^2)}, \quad (12)$$

где μ_ϕ – коэффициент расхода в самом узком месте системы коллектор–форма, $\mu = \varphi f$, где f – коэффи-

циент диафрагмирования струи; φ – коэффициент скорости.

Таким образом, для обеспечения условия (1) необходимо в течение всего периода заполнения поддерживать значение $\Delta\gamma_{\min} \leq \Delta\gamma \leq \Delta\gamma_{\max}$, (13)

где $\Delta\gamma_{\max}$ – перепад уровней расплава в коллекторе и форме, соответствующий напору $Q_{\phi\max}$, обеспечивающему максимальную скорость заполнения $v_{\phi\max}$.

Для обеспечения требуемого напора в начальный период заполнения формы литниковую систему проектируют таким образом, чтобы расстояние от питателя в коллекторе (см. рисунок) до нижнего уровня рабочей части полости формы равнялось требуемому значению $\Delta\gamma$. В этом случае, при известном r_ϕ расстояние от оси до питателя r_k можно найти приравняв формулы (1) и (11), откуда

$$r_k \leq \sqrt{r_\phi^2 - \left(\frac{v_\phi}{\varphi\omega} \right)^2} = \sqrt{r_\phi^2 - \left(\frac{Re_{\phi\max} v}{4R_\phi\varphi\omega} \right)^2}. \quad (14)$$

Для поддержания нужного значения $\Delta\gamma$ в процессе заполнения формы на постоянном уровне необходимо сделать так, чтобы средние скорости подъема расплава в форме и коллекторе были равны, то есть

$$v_k = v_\phi, \quad (15)$$

откуда

$$Q_k = Q_\phi F_k / F_\phi, \quad (16)$$

где Q_k – расход металла, поднимающегося в коллекторе; F_k – площадь сечения коллектора.

Для определения Q_k и F_k рассмотрим условия течения расплава в произвольном сечении $l-l$, расположенном на некотором удалении от выходного отверстия стояка (см. рисунок). Через сечение $l-l$ вдоль «набегающей» стенки коллектора протекает струя расплава $Q_{стр}$, которая затрачивается на подъем расплава в рабочей полости формы Q_ϕ и подъем расплава в коллекторе Q_k , то есть

$$Q_{стр} = Q_\phi + Q_k. \quad (17)$$

Выражение (15) можно представить в виде

$$Q_{стр} = Q_\phi + v_k F_k \cos\beta; \quad (18)$$

где v_k – скорость подъема расплава в коллекторе; β – угол наклона вектора скорости v_k к оси коллектора.

С другой стороны, расход металла в сечении $l-l$ струи можно определить как

$$Q_{стр} = v_{стр} F_{стр}, \quad (19)$$

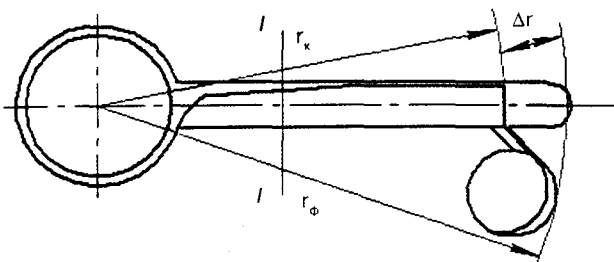
где $v_{стр}$ – скорость струи металла в сечении $l-l$; $F_{стр}$ – площадь сечения струи.

В результате проскальзывания металла в чаше площадь сечения струи, при истечении металла из отверстия стояка в коллектор, резко сужается. Величину сужения потока можно оценить, согласно [2], с помощью коэффициента проскальзывания:

$$K_n = \frac{\mu_{стр} r_{стр} F_{стр}}{\mu_c r_c F_c} \quad (20)$$

где $\mu_{стр}, \mu_c$ – значения коэффициентов расхода в сечениях $F_{стр}$ и F_c ; $F_{стр}, F_c$ – площади сечения струи в сечении $l-l$ и выходном отверстии стояка; $r_{стр}, r_c$ – расстояния от сечения $l-l$ и выходного отверстия стояка до оси вращения формы.

Из выражения (20) для $F_{стр}$ можно записать



$$F_{cmp} = K_n \frac{\mu_c r_c F_c}{\mu_{cmp} r_{cmp}} \quad (21)$$

Так как площадь выходного отверстия стояка, как правило, равна площади сечения коллектора в выражении (21) F_c можно заменить на F_k или на величину, связанную с F_k соотношением.

Скорость струи, истекающей из отверстия стояка, можно определить с помощью известного уравнения [6]:

$$v_{cmp} = \varphi \sqrt{2gZ + \omega^2 r_{cmp}^2}, \quad (22)$$

Таким образом, приравнявая (18) и (19), с учетом (15), (21) и (22), получим

$$Q_\phi + v_\phi \cdot F_k \cdot \cos \beta = \varphi \sqrt{2gZ + \omega^2 r_{cmp}^2} \cdot K_n \frac{\mu_c r_c F_k}{\mu_{cmp} r_{cmp}} \quad (23)$$

Выразим отсюда

$$F_k = \frac{Q_\phi}{\frac{\mu_c r_c}{\mu_{cmp} r_{cmp}} K_n \cdot \varphi \sqrt{2gZ + \omega^2 r_{cmp}^2} - v_\phi \cdot \cos \beta} \quad (24)$$

Подставляем полученные значения F_k из (24) в (16) и находим Q_c . Далее по формуле (17) определяем Q_{cmp} .

Рабочие размеры стояка, в частности r_c , H_c , определяются исходя из конструктивных особенностей установки для литья и объема порций металла, заливаемого в форму. Найденный радиус стояка уточняется с использованием уравнения расхода жидкости из вращающегося сосуда с учетом поправки на проскальзывание [2, 6]:

$$Q_c = K_n \mu_c F_c k \sqrt{2gZ + \omega^2 r_c^2}, \quad (25)$$

где Q_c – расход металла в стояке; Z – уровень расплава в стояке; k – количество коллекторов; μ_c – коэффициент расхода металла в стояке.

Приравнявая $Q_c = Q_{cmp} \cdot k$, $F_c = F_k$, находим радиус стояка:

$$r_c = \sqrt{\left[\left(\frac{Q_{cmp}}{K_n \mu_c F_c} \right)^2 - 2gZ \right] \frac{1}{\omega^2}}, \text{ см} \quad (26)$$

Данная литниковая система была опробована при производстве корпусных отливок из цинкового сплава ЦД4 массой 250 г в резиновые формы на установке центробежного литья Tecast и показала удовлетворительные результаты.

Список литературы

1. Ramos I. Spin-casting, venting, metal flow and turbulence. Tecast Industries, inc. New Rochelle, NY, 1996г., 167с.
2. Серебряков С.П. Развитие центробежного литья точных отливок. – Ярославль: Ярославский политехнический институт, 1986. – 140 с.
3. Осинский В.И. Особенности производства сложнопорфильных заготовок центробежным литьем // Литейное производство. – 1988. – №4. – с.13–15.
4. Галдин Н.М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. – М.: Машиностроение, 1978. – 198 с.
5. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. – М.: Машиностроение, 1966. – 424 с.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Учебник для вузов. 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.