

ОСОБЕННОСТИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОРПУСНЫХ ОТЛИВОК С ФАСОННОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ ПРИ ЛИТЬЕ В КОМБИНИРОВАННУЮ ФОРМУ

К.В. Моисеев, аспирант, А.Ф. Смыков, докт. техн. наук,

Д.В. Бережной, канд. техн. наук (МАТИ–РГТУ им. К.Э. Циолковского, e-mail:castingt1p@mati.ru)

Рассмотрен подход и предложена методика реализации условий направленно-последовательного затвердевания крупногабаритных корпусных отливок из легких сплавов с фасонной внутренней поверхностью при литье в кокиль.

Основу методики расчета направленности затвердевания составляет метод поузлового расчета. Он позволяет определить как начальное распределение температур расплава в форме в конце ее заливки, так и время затвердевания каждого выделенного узла в отдельности.

Результаты решения рассматриваемых задач алгоритмизированы и составляют часть разработанного и апробированного пакета прикладных программ.

Ключевые слова: корпусные отливки, легкие сплавы, литниковая система, поузловой метод.

Features of Solidification of Large-Size Hollow Light Alloy Castings with Shaped Internal Surface in the Case of Combined Mould Casting. K.V. Moiseyev, A.F. Smykov, D.V. Berezhnoy.

An approach to and procedure of realization of conditions of directional and consecutive solidification of light alloy large-size hollow castings with shaped internal surface during mould casting are discussed.

An assembly-by-assembly calculation method is a basis of the procedure used for calculation of solidification direction. The method allows one to determine both initial melt temperature distribution in the mould at the end of its pouring and time of solidification of each distinguished assembly taken separately.

Algorithms of the results of the solution of the task under consideration have been developed. The results are the part of a developed and approved application package.

Key words: hollow castings, light alloys, gating system, assembly-by-assembly method.

Тепловые условия затвердевания отливки связаны с интенсивностью ее охлаждения от момента заливки жидкого металла в форму до полного затвердевания.

Охлаждение металла после перегрева (в зависимости от природы сплава) начинается при течении его по каналам стоячков, литниковых ходов и продолжается в пределах этого перегрева в полости формы. Уменьшение температуры жидкого металла зависит от толщины стенки отливки и теплофизических свойств формы и металла, их начальных температур и скорости расплава. Уменьшение температуры металла ниже температуры

ликвидус недопустимо из-за возможности образования в отливке незаливов.

На начальной стадии литья на дно формы поступает жидкий металл, объем которого увеличивается по мере заливки. Создание проточно-поперечного течения расплава с помощью вертикально-щелевой литниковой системы позволяет обеспечить положительный градиент температур металла, постоянно поддерживая ее более высокое значение в верхних слоях заполняемой формы. При этом можно использовать две схемы литниковой системы (ЛС): первую – когда вертикальная щель примыкает непосредственно к наруж-

ной стенке отливки (см. рисунок, а); вторую – когда роль вертикальной щели выполняет сама отливка (см. рисунок, б). Вторая схема вертикально-щелевой ЛС для данного класса отливок предпочтительнее, так как устраняется отвод теплоты через боковые стенки вертикальной щели, приводящий к возможному снижению температуры перегрева металла, заливаемого в форму. Вследствие этого обеспечиваются хорошая заполняемость формы, благоприятное распределение температуры расплава, заполнившего форму, последовательное, снизу вверх, затвердевание отливки и создаются условия непрерывности ее питания при уменьшенной толщине технологического напуска.

Определенные трудности в тепловых расчетах при заполнении крупногабаритных отливок создают условия гравитационной заливки форм, по мере подъема расплава уменьшается скорость его течения. Поэтому важно знать распределение исходной температуры расплава по высоте формы в конце ее заполнения, что возможно установить только при известных расходных характеристиках металла для всех заданных сечений отливки.

Однако одним только выбором способа заливки нельзя гарантировать направленно-последовательное затвердевание отливки

снизу вверх. В реальной отливке направленность затвердевания и непрерывность питания может быть нарушена наличием на ее поверхности бобышек, ребер и других приливов. Тепловые условия их затвердевания отличаются от условий затвердевания стенки отливки. Очевидно, необходимо чтобы продолжительность затвердевания прилива не превышала времени затвердевания стенки отливки в его основании. В этом случае обеспечивается питание затвердевающего прилива из зоны стенки отливки. Так как приливы в большинстве случаев более массивны, чем стенка отливки, необходимо увеличить интенсивность их охлаждения. Приливы оформляются внутренней частью формы (песчаным стержнем). Поэтому с целью ускорения их затвердевания применяют наружные металлические холодильники. Установка холодильника целесообразна на торцевой поверхности прилива, так как это создает его направленное затвердевание от торца к основанию и предотвращает образование усачной осевой рыхлоты.

Таким образом, при литье тонкостенных крупногабаритных корпусных отливок типа цилиндр в кокиль с внутренним песчаным стержнем с применением вертикально-щелевой литниковой системы и гравитационной

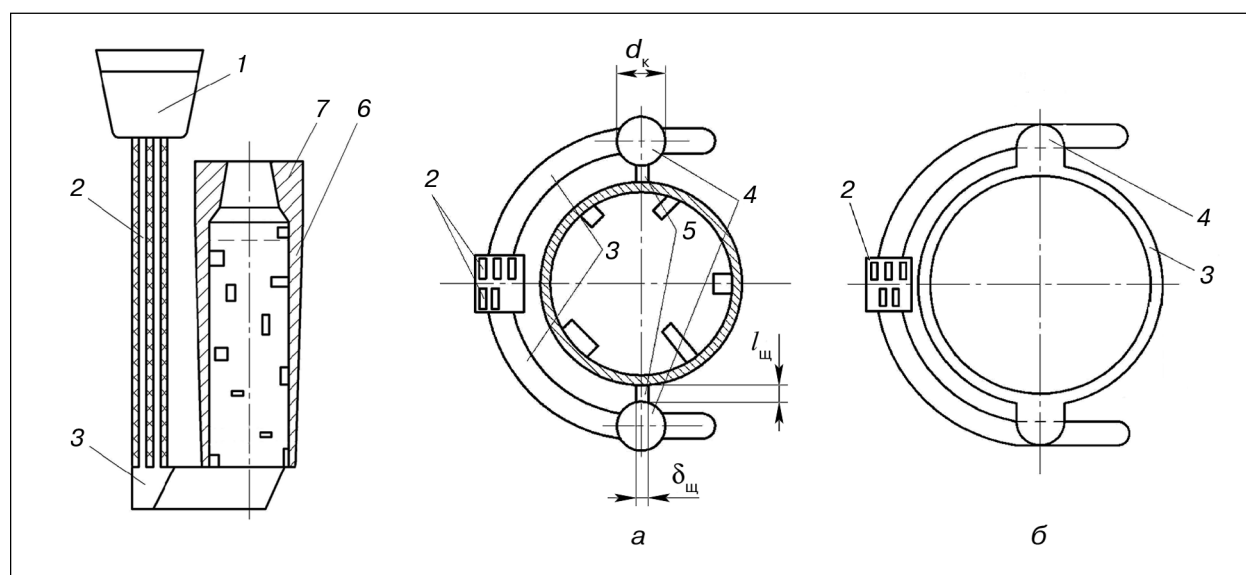


Схема вертикально-щелевой литниковой системы:

1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – литниковый ход; 4 – колодец; 5 – щель; 6 – отливка; 7 – прибыль; d_k – диаметр вертикального колодца; $l_{щ}$ – ширина вертикальной щели; $\delta_{щ}$ – толщина вертикальной щели

заливкой формы для создания направленно-последовательного затвердевания решающую роль играют тепловые процессы, определяющие затвердевание двух основных элементов отливки: стенки и приливов. Это необходимо учитывать при выполнении расчетов с применением следующих допущений:

а) для тонких стенок отливок с относительно тонкими приливами может быть принята величина критерия $Vi \leq 0,1$. Поэтому геометрия стенки отливки и приливов определяется их приведенным размером X . Для стенки отливки и плоского ребра X равен половине их толщины, для цилиндрической бобышки – половине ее радиуса, для прилива произвольной формы – отношению площади его поперечного сечения к периметру его сечения;

б) температура жидкого металла, поступающего в полость формы, уменьшается по мере продвижения к прибыли. Однако учитываемая необходимость назначения технологического напуска на стенках отливки, формирования переменного слоя краски и принимая во внимание проточно-поперечный характер заполнения рабочей полости формы, возникают условия для создания положительного градиента температур от прибыли к основанию отливки. Поэтому важно знать начальное распределение температур расплава в форме после ее заполнения;

в) стадия заполнения приливов жидким металлом не рассматривается, так как их размеры сравнительно невелики и продолжительность заполнения мала по сравнению с другими стадиями. Поэтому начальная температура металла в приливе принимается одинаковой по его объему и равной температуре этой части формы в конце ее заливки;

г) расчеты процесса затвердевания отливки проводят без расчленения на стадии отвода перегрева и затвердевания металла. Такое упрощение расчетов возможно, если используются эквивалентная начальная температура расплава, заполнившего форму, и эквивалентные теплофизические константы сплава, рассчитанные с помощью метода эквивалентной отливки [1];

д) теплофизические компоненты отливки и формы приняты постоянными, не зависящи-

ми от изменения температуры. Чтобы ограничить ошибку, создаваемую этим допущением, в расчетах используют средние значения констант для рассматриваемого интервала температур.

Итак очевидно, что для обеспечения направленного затвердевания отливки важно создать начальные условия благоприятного распределения температур в рабочей полости формы, что может обеспечить корректно рассчитанная вертикально-щелевая литниковая система.

Для отливок из магниевых сплавов массой более 50 кг и высотой более 0,5 м рекомендуются следующие соотношения параметров вертикально-щелевой литниковой системы [2] (см. рисунок, а):

– суммарных площадей нижних сечений стояков $\sum S_{c.н}$ и сечений литниковых ходов $\sum S_{л.х}$

$$\sum S_{c.н} : \sum S_{л.х} = 1:4; \quad (1)$$

– суммарной площади вертикальных щелей $\sum \delta_{щ}$ и полного периметра полости формы P_{ϕ}

$$\sum \delta_{щ} : P_{\phi} = 0,008 - 0,012; \quad (2)$$

– ширины $l_{щ}$ и толщины $\delta_{щ}$ щели

$$l_{щ} : \delta_{щ} \geq 4; \quad (3)$$

– диаметра колодца $d_{к}$ и ширины щели $l_{щ}$

$$d_{к} : l_{щ} = 1. \quad (4)$$

Исходя из приведенных соотношений диаметр колодца

$$d_{к} = 0,08\pi D_o / n_{к}, \quad (5)$$

где D_o – средний диаметр отливки, м, $D_o = 0,5 (D_{o.н} + D_{o.в})$;

$D_{o.н}$, $D_{o.в}$ – нижний и верхний диаметры отливки соответственно, м;

$n_{к}$ – число колодцев в литниковой системе.

Средняя скорость течения расплава в стояке прямоугольного сечения на основе уравнения Бернулли будет [2]:

$$W_c = k \left(\varphi_c \sqrt{2gH_p} - 0,25 \right), \text{ м/с}, \quad (6)$$

где H_p – средний напор расплава, м,

$$H_p = H_o - 0,5h_o;$$

$$g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с};$$

H_o – начальный напор, м;

$$H_0 = h_c + h_q;$$

h_c – высота стояка, м;

h_q – высота уровня расплава в литниковой чаше, м;

h_0 – высота отливки, м;

k – коэффициент, учитывающий уменьшение скорости при установке под стояком фильтровальной сетки из листовой стали или синтетической ткани. $k=0,7-0,8$ в зависимости от живого сечения сетки, составляющего обычно 30–50 % от сечения стояка;

φ_c – коэффициент скорости для стояка (проведенный расчет по методике [3] показывает, что $\varphi_c=0,55-0,6$).

Минимально допустимая скорость течения расплава вверх по стенке отливки, оформленной кокилем с песчаным стержнем, с применением вертикально-щелевой литниковой системы в соотношении с максимально допустимым значением критерия Рейнольдса составляет [2]:

$$W_\phi = 2,4 \cdot 10^{-3} / \delta_0,$$

где δ_0 – средняя толщина стенки отливки с учетом припуска на механическую обработку, м.

Чтобы исключить подсос газов, необходимо устранить отрыв потока расплава в стояке от его стенок. Достигается это приданием конусности вертикальному каналу в стояке.

Размеры прямоугольного нижнего сечения стояка: $a_{c.н} \times b_{c.н}$ при отношении $r_{c.н} = b_{c.н} / a_{c.н} = 2-2,5$, должны ограничиваться образованием недопустимой турбулентности потока при его скорости W_c (6). Тогда с использованием максимального допустимого значения критерия Рейнольдса, равного 65 для потока магниевых сплавов в стояке [2], толщину нижнего сечения стояка $a_{c.н}$ определяют следующим образом:

$$a_{c.н} = 0,013(1+r_{c.н}) / (r_{c.н} W_c), \text{ м.} \quad (8)$$

Толщина верхнего сечения стояка $a_{c.в}$, обес-

печивающего требуемую конусность, составляет:

$$a_{c.в} = a_{c.н} \left(\frac{r_{c.н} \mu_{л.с}}{r_{c.в} \mu_q} \right)^{0,5} \left(\frac{h_c + h_q}{h_q} \right)^{0,25}, \quad (9)$$

где $\mu_{л.с}$ – коэффициент расхода литниковой системы, $\mu_{л.с}=0,54-0,59$;

μ_q – коэффициент расхода литниковой чаши, $\mu_q=0,97-0,98$ [2].

Ширина нижнего $b_{c.н}$ и верхнего $b_{c.в}$ сечений стояка:

$$b_{c.н} = r_{c.н} a_{c.н}; \quad b_{c.в} = r_{c.в} a_{c.в}.$$

Число каналов стояков:

$$n_c = W_\phi (P_0 \delta_0 + 0,25 \pi d_k^2 n_k) / (W_c a_{c.н} b_{c.н}), \quad (10)$$

где P_0 – периметр сечения отливки, м, $P_0 = 0,5 P_\phi$.

Приведенная методика расчета позволяет установить основные параметры литниковой системы, обеспечивающие заполнение рабочей полости формы и создающие требуемые условия для последовательно-направленного затвердевания. Следующие важные этапы данной методики – это расчет температуры заливки и распределения начальной температуры расплава в форме, а также величины технологического напуска, размеров прибылей и холодильников.

В целом данная расчетная методика реализована в виде пакета прикладных программ, которые успешно использованы для разработки технологических процессов изготовления отливок из сплава МЛ5 и внедрены в производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вейник А.И.** Теория затвердевания отливки. – М.: Машгиз, 1960. – 435 с.
2. **Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатульский А.А.** Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. – М.: Машиностроение, 1992. – 256 с.
3. **Гуляев Б.Б.** Теория литейных процессов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.