

Расчет размеров питателей отливок

Разработана методика расчета размеров питателя, обеспечивающего получение отливки в месте их сопряжения без усадочной раковины или рыхлоты. В основу методики положена эмпирическая зависимость между длиной питателя, диаметром окружности, вписанной в поперечное сечение питателя, и модулем охлаждения термического узла отливки с которым сопрягается питатель. Область применения методики – отливки, изготавливаемые в формах из неметаллических материалов. Ил. 5. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: отливка, питатель, стояк, модуль охлаждения, раковина усадочная, рыхлота, расплав

There developed calculation methodology for the size of feeder, which provides getting of the cast in the place of their coupling without shrinkage cavities or microporosity. In the heart of methodology there is empirical dependence between feeder length, diameter of the circle, inscribed into the cross section of the feeder, and module of cooling of thermal center of casting, with which the feeder interfits. Application area of this methodology is castings, produced in the forms from non-metallic materials.

Keywords: casting, feeder, sprue, cooling module, shrinkage cavity, microporosity, smelt

Постановка проблемы и состояние вопроса

Одним из ключевых элементов литниково-питающих систем (ЛПС), обеспечивающих необходимые условия как заполнения рабочих полостей формы, так и питания расплавом затвердевающей отливки, является питатель. В литье по выплавляемым, выжигаемым или газифицируемым моделям питатели также выполняют еще и функцию несущего элемента модельного блока, а для мелких отливок, по сути, являются единственным элементом ЛПС, питающим отливку расплавом в процессе ее затвердевания. Поэтому все известные методы расчетов размеров питателей [1-3 и др.], как правило, направлены на решение перечисленных выше задач. При этом для предупреждения образования усадочных дефектов в отливке под питателем необходимо обеспечить выполнение условия:

$$\tau_c > \tau_{II} > \tau_T \quad (1)$$

где τ_c , τ_{II} , τ_T – время затвердевания расплава в стояке (коллекторе), питателе и стенке отливки (термическом узле отливки) соответственно.

На стадии разработки ЛПС, для первичной оценки выполнения условия (1) применительно к каждой конкретной отливке и элементов ее ЛПС, используют метод вписанных окружностей либо показатели приведенных толщин сечений или модулей охлаждения указанных элементов. При этом условие (1) считают выполненным, если:

$$D_c > D_{II} > D_T, R_c^T > R_{II}^T < R_D^T, R_c^I > R_{II}^I < R_D^I,$$

где D_c , D_{II} , D_T – диаметр окружности, вписанной в поперечное сечение стояка (коллектора), пита-

теля и термического узла отливки соответственно, мм; R_c^T , R_{II}^T , R_D^T и R_c^I , R_{II}^I , R_D^I – соответственно, приведенная толщина и модуль охлаждения стояка (коллектора), питателя и термического узла отливки, см.

Приведенную толщину сечения (R_i^T , см) и модуль охлаждения (R_i^M , см) i -го элемента ЛПС и отливки рассчитывают по формулам [2, 3]:

$$R_i^T = S_i / P_i, R_i^M = V_i / F_i,$$

где S_i , P_i – площадь и периметр поперечного сечения i -го элемента, перпендикулярного его тепловой оси; V_i , F_i – объем и площадь контакта i -го элемента с поверхностью формы соответственно. Формулы для расчета приведенной толщины и модуля охлаждения элементов ЛПС и отливок простой геометрической формы приведены в таблице.

Методика расчета приведенной толщины и модуля охлаждения элементов ЛПС и отливок сложной формы приведены в работе [2].

Основной недостаток указанных методик расчета размеров питателей – невысокая точность. Это обусловлено отсутствием учета в данных методиках взаимного теплового влияния сочленяющихся между собой элементов ЛПС и отливки. При производстве отливок, данное обстоятельство не редко является основной причиной возникновения в отливках (под питателем) усадочных раковин и рыхлот, что требует дополнительного времени и финансовых затрат на доработку изготовленной модельной оснастки.

Формулы для расчета приведенной толщины сечения R_i^T и модуля охлаждения R_i^M i -того элемента [3]

Вид i -того элемента	Размер i -того элемента, см			R_i^T , см	R_i^M , см
	толщина	ширина	длина		
Пластина	a	–	–	$0,5 \cdot a$	
Брус сечения: прямоугольного	a	b	l		$\frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}$
	a	a	l	$\frac{a \cdot l}{2 \cdot (a + 2 \cdot l)}$	$0,25 \cdot a$
круглого	d	–	l	$\frac{d \cdot l}{2 \cdot (d + 2 \cdot l)}$	$0,25 \cdot d$

Постановка задачи исследования

Задача исследований – разработка методики расчета размеров питателя, обеспечивающего получение отливки в месте их сопряжения без усадочной раковины или рыхлоты.

Основные результаты исследований

В результате статистической обработки производственных данных по качеству отливок из сталей, бронз, латуней и никелевых сплавов массой до 200 кг для расчета размеров стороны питателя квадратного сечения, либо диаметра питателя цилиндрического типа с сечением, постоянным по длине, получили следующую эмпирическую зависимость (см):

$$\hat{a} = 4 \cdot R_O^l \cdot \left\{ 1 - \left[\exp\left(\frac{0,7 \cdot l}{a}\right)^2 \right]^{-1} \right\}, \quad (4)$$

где a – сторона (диаметр) питателя, см; R_O^M – модуль охлаждения теплового узла отливки, см; l – длина питателя (назначается из конструктивных соображений), см.

Для обеспечения необходимых условий питания стенки отливки, сопрягающейся с питателем, модуль ее охлаждения (R_T^M) всегда должен быть меньше модуля охлаждения питающего элемента ЛПС (стояка, шлакоуловителя, коллектора). В этом случае, короткий и тонкий питатель, даже имея модуль охлаждения меньший, чем термический узел отливки, с которым он сопрягается ($R_i^M \leq R_T^M$), может обеспечить необходимые условия его питания. Данный эффект обусловлен увеличением длительности затвердевания расплава в питателе за счет тепла, поступающего в него от сопрягающихся с питателем элементов ЛПС и отливки. Дистанция такого теплового воздействия со стороны каждого из сопрягающегося с питателем элементом не превышает двух диаметров окружностей, вписанных в поперечное (живое) сечение питателя ($D_{п}$), и возрастает с уменьшением длины питателя при его неизменном поперечном сечении.

То есть, при длине питателя $l > 4 D_{п}$ сопрягающиеся с ним элементы ЛПС и отливка не оказывают сколько-нибудь существенное влияние на продолжительность затвердевания расплава в питателе и, соответственно, длительность питания затвердевающей отливки расплавом через питатель.

По своей структуре формула (4) является незамкнутой. Поэтому вычисление искомой величины «а» проводят итерационным методом (методом последовательных приближений). Для упрощения нахождения значений стороны или диаметра питателя по формуле (4) построили номограмму, представленную на рис. 1, для значений l от 5 до 30 мм и R_T^M от 0,15 до 1,0 см.

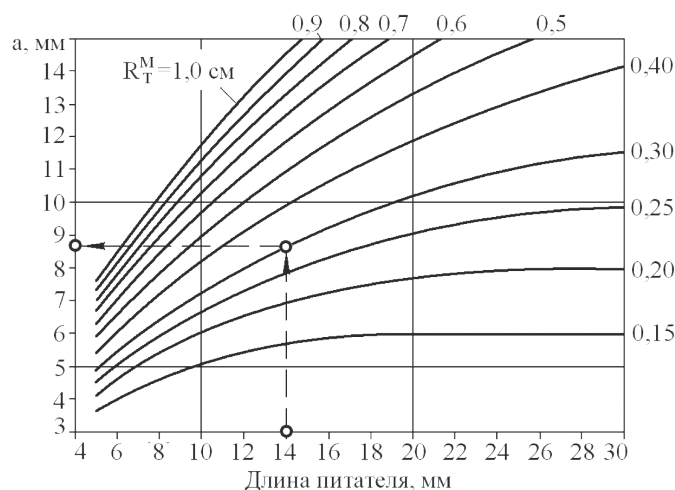


Рис. 1. Номограмма для определения стороны (диаметра) питателя квадратного (круглого) поперечного сечения

Использование формулы (4) или номограммы на рис. 1 в первом приближении позволяет определить минимально допустимые размеры питателя, обеспечивающие получение в отливке под питателем плотного металла.

В качестве примера рассчитаем размеры питателя отливки из стали 35Л. Предположим, сто

отливка имеет форму куба (рис. 2) с размерами 60×60×35 мм, а ее питание осуществляется через питатель квадратного поперечного сечения (а×а) от стояка квадратного сечения со стороной 44 мм.

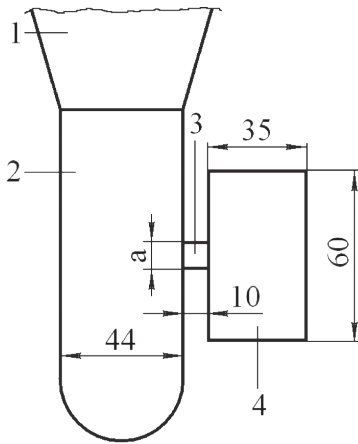


Рис. 2. Схема ЛПС и отливки:

1 – литниковая воронка; 2 – стояк;
3 – питатель; 4 – отливка

Расчет

Исходя из конструктивных соображений длину стояка (1) принимаем равной 1 см.

Рассчитываем модуль охлаждения термического узла отливки:

$$R_T^M = \frac{6 \cdot 6 \cdot 3,5}{2 \cdot 6 \cdot 6 + 4 \cdot 6 \cdot 3,5} = 0,81 \text{ см.}$$

Рассчитываем модуль охлаждения стояка:

$$R_C^M = 0,25 \cdot 4,4 = 1,1 \text{ см.}$$

Поскольку $R_C^M \geq R_T^M$, то по номограмме на рис. 1 находим, что, для рассматриваемого случая (при $l = 10$ мм и $R_T^M = 0,81$ см), величина $a = 10,7$ мм. То есть размеры питателя квадратного поперечного сечения при его длине $l = 10$ мм составляют 10,7×10,7 мм, либо, в случае питателя круглого поперечного сечения, его диаметр составит $d = 10,7$ мм. Расчет завершен.

Область применимости формулы (4) определяли по результатам компьютерного моделирования затвердевания отливки (сталь 35Л) с размерами 60×60×35 мм (см. рис. 2). Заливка формы – мгновенная. Компьютерное моделирование проводили с использованием программы LVM-flow. В исследованиях предполагали, что для производства отливок используют литейную форму из песчано-глинистой (ПГС) или химически твердеющей (ХТС) смеси, стальной кокиль, кварцевую керамическую оболочковую форму (КО), выполненную на основе гидролизованного раствора этилсиликата и кварца молотого пылевидного. Заливку форм расплавом стали проводят при следующих условиях:

- 1 – полубесконечная форма из ПГС с начальной температурой 20 °С;
- 2 – полубесконечная форма из ХТС с начальной температурой 20 °С;
- 3 – КО с толщиной стенки 5 мм в опорном наполнителе с кажущейся удельной плотностью 400 кг/м³ (крошка пеношамотная) и начальной температурой 20 °С;
- 4 – стальной кокиль с начальной температурой 350 °С;
- 5 – КО с толщиной стенки 5 мм и начальной температурой 20 °С без опорного наполнителя;
- 6 – КО с толщиной стенки 5 мм и начальной температурой 950 °С без опорного наполнителя;
- 7 – КО с толщиной стенки 5 мм и начальной температурой 20 °С заформована в опорном наполнителе (песок кварцевый);
- 8 – КО с толщиной стенки 5 мм и начальной температурой 950 °С заформована в опорном наполнителе (песок кварцевый).

Анализ результатов компьютерного моделирования показал, что формулу (4) целесообразно применять в расчетах для отливок, получаемых в формах из неметаллических материалов. Для отливок, получаемых в кокиль, формула (4) требует определенных уточнений. В пользу данных выводов свидетельствуют изображения границ жидкой фазы в литниковых каналах и отливках, представленные на рис. 3.

На рис. 3 представлены изображения границ жидкой фазы в литниковых каналах и отливках в момент времени, когда расплав в отливке или питателе полностью затвердел, то есть, в момент прекращения питания отливки. В скобках (рис. 3) указано время затвердевания расплава в питателе со стороны его сопряжения с отливкой.

Для проверки адекватности результатов компьютерного моделирования реальному процессу формирования литья, из стали 35Л изготовили отливки-представители с элементами ЛПС, размеры которых указаны в примере расчета настоящей работы. Отливки-представители получали в КО и формы из ХТС. Наличие усадочных дефектов в отливках оценивали визуально после их порезки по средней линии, что схематично представлено на рис. 4.

Результаты визуальной оценки качества изготовленных отливок свидетельствуют об удовлетворительной сходимости полученных расчетных и экспериментальных данных, что позволяет рекомендовать формулу (4) для ее использования при проектировании ЛПС и компьютерном моделировании затвердевания отливок в литейных формах из неметаллических материалов.

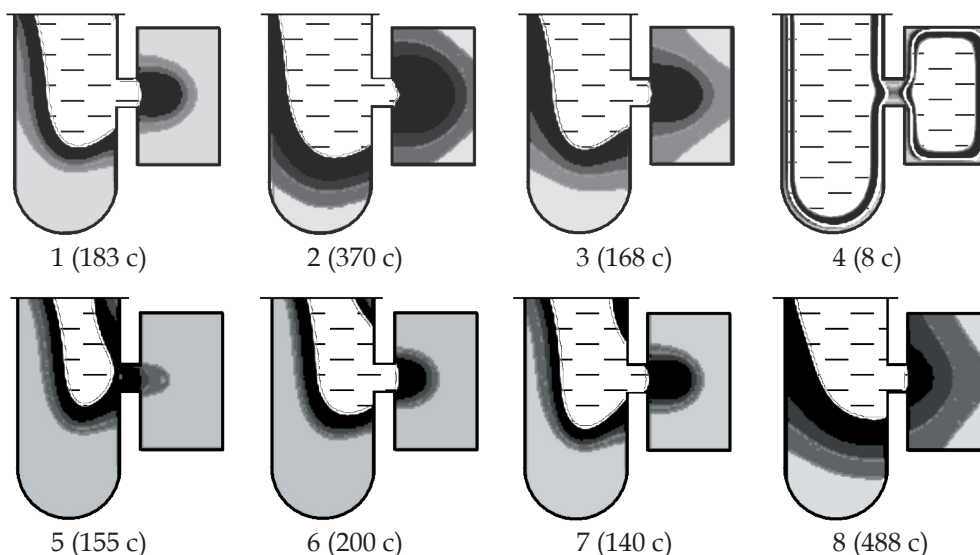


Рис. 3. Схемы границ жидкой фазы (обозначены белой линией) в литниковых каналах и отливках в момент полного затвердевания расплава в питателе:

- 1 – форма из ПГС;
- 2 – форма из ХТС;
- 3 – КО в опорном наполнителе (крошка пеношамотная) с начальной температурой 20 °С;
- 4 – стальной кокиль;
- 5 – КО без опорного наполнителя с начальной температурой 20 °С;
- 6 – КО без опорного наполнителя с начальной температурой 950 °С;
- 7 – КО в опорном наполнителе (песок кварцевый) с начальной температурой 20 °С;
- 8 – КО опорном наполнителе (песок кварцевый) с начальной температурой 950 °С

В случае необходимости повышения эффекта последовательности затвердевания расплава в системе отливка-питатель-литниковый ход, питатель следует выполнить в виде усеченной пирамиды или конуса с расположением отливки на его меньшем основании. В этом случае значение «а» или «d», рассчитанное по формуле (4), будет соответствовать значению стороны (диаметра) питателя в области его сопряжения с отливкой.

Исходя из изложенного, взамен общепринятого условия (1), условие получения плотного металла в термическом узле отливки, сопрягающегося с питателем, целесообразно записать в следующем виде:

$$\tau_{п-с} > \tau_{п-ц} > \tau_{п-т} > \tau_{цц}$$

где $\tau_{п-с}$, $\tau_{п-ц}$, $\tau_{п-т}$ – время затвердевания расплава в точке пересечения геометрической оси питателя со стороны стояка, в центре питателя, в геометрическом центре питателя со стороны термического узла отливки соответственно (рис. 5); $\tau_{цц}$ – время затвердевания расплава в геометрическом центре теплового узла отливки.

Выводы

Разработана методика расчета размеров питателя, обеспечивающего получение отливки в неметаллической форме без усадочной рыхлоты или раковины в месте их сопряжения. Установлено, что эффективность пита-

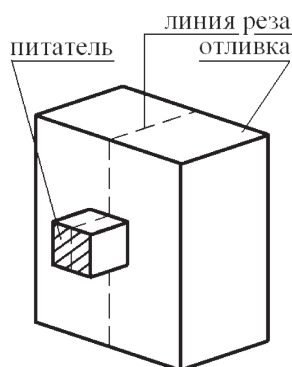


Рис. 4. Схема разрезки отливки

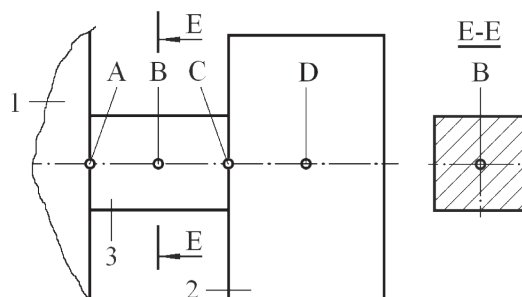


Рис. 5. Схема расположения контрольных точек при определении значений величины $\tau_{п-с}(A)$, $\tau_{п-ц}(B)$, $\tau_{п-т}(C)$, $\tau_{цц}(D)$ в неравенстве (5): 1 – стояк; 2 – питатель; 3 – отливка

ния затвердевающей отливки резко повышается, если длина питателя меньше четырех диаметров окружности, вписанной в изображение его живого сечения. Адекватность расчетных и экспериментальных данных по условиям питания отливок-представителей позволяет рекомендовать разработанную методику для практических расчетов размеров питателей отливок, получаемых в формы из неметаллических материалов.

Библиографический список

1. Дубицкий Г. М. Литниковые системы / Г. М. Дубицкий. – М.: Свердловск: 1962. – 256 с.

2. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям / С. И. Репях. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.

3. Литье по выплавляемым моделям / В. Н. Иванов, С. А. Казеннов, Б. С. Курчман и др; под общ. ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. – 3-е изд, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с., ил.

Поступила 21.08.2014



УДК 621.74.045

Производство

Ивченко З. А.
АО «МОТОР СИЧ»

Репях С. И. /д. т. н./
НМетАУ

Расчет размеров питателей мелких центробежнолитых отливок из титановых сплавов

Разработана методика расчета размеров поперечного сечения питателя, который обеспечивает рациональные условия заполнения формы расплавом при получении отливок из титановых сплавов массой до 2 кг в графитовые оболочковые формы центробежным способом с вертикальной осью вращения. Методика основана на эмпирических зависимостях, полученных для расчета массовой скорости поступления расплава в литейную форму, при величине коэффициента утяжеления от 10 до 30. Ил. 3. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: отливка, питатель, титановый сплав, модуль охлаждения, частота вращения, расплав

There developed calculation methodology for sizes of cross sections of feeder, which provides rational conditions of form filling with the smelt during getting of castings from titanium alloys with the mass up to 2 kg into graphite investment molds by gyroscopic method with slewing center. This methodology is based on the empirical dependencies obtained for calculation of mass rate of smelt feed into the casting mold, at the loading coefficient from 10 to 30.

Keywords: casting, feeder, titanium alloy, cooling module, rate speed, smelt

Постановка проблемы и состояние вопроса

Одной из задач разработки технологии изготовления отливок, получаемых центробежной заливкой форм с вертикальной осью вращения, является конструирование литниково-питающих систем (ЛПС). Как и в других видах литья по одноразовым моделям, ЛПС для таких отливок должна обеспечить необходимые условия для заполнения рабочих полостей формы расплавом и питания затвердевающей отливки, быть надежной несущей кон-

струкцией модельного блока, удобной для сборки модельного блока и обрезки ее от отливки.

Особенности технологии производства титановых отливок при центробежной заливке форм с вертикальной осью вращения предопределили методику расчета основных параметров заливки и размеров некоторых элементов их ЛПС [1, 2]. Недостаток данной методики – низкая точность расчета суммарной площади поперечного сечения питателей (S_{Π}), поскольку эту величину рассчитывают по формуле, (см^2):