

DOI: 10.15593/2224-9877/2016.1.14

УДК 621.74.011

В.Н. Лабутин, Д.О. Пустовалов, К.В. Шаров,**А.В. Богомяков, С.А. Белова**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**РАСЧЕТ ДЛИНЫ ШЛАКОУЛОВИТЕЛЯ
ДО ПЕРВОГО ПИТАТЕЛЯ**

Для получения качественной отливки необходимо предотвратить попадание неметаллических включений в полость формы. Для этого следует обеспечить должную работу элемента литниковой системы – шлакоуловителя. При этом необходимо, чтобы за время прохождения потока по всей длине шлакоуловителя шлаковые частицы, даже те из них, которые сначала находились на дне, всплывали на полную высоту канала. Скорость течения в шлакоуловителе должна быть такой, чтобы поток металла не мог увлечь за собой частицы, уже всплывающие в его верхнюю часть. Это становится возможным, если скорость потока не превосходит некоторой предельной величины. В современном литейном производстве представлено множество методик расчета литниковых систем, по которым полученные данные отличаются. В представленной работе обобщены данные о критической скорости течения потока металла для шлаковых частиц железоуглеродистых сплавов, а также о средней линейной скорости подъема металла в форме. Приведены расчеты литниковых систем по стандартным методикам и по методике, предложенной авторами, расчеты шлакоуловителя производили с учетом, что литниковая система в данном случае должна быть замкнутой. Показано, что не все представленные методы дают адекватный результат, так как в стандартных методиках расчета принимается вес литниковой системы, колеблющийся в пределах 10–20 %. Разработанная методика расчета литниковой системы, основанная на критической скорости течения потока металла в шлакоуловителе, в отличие от стандартных методик дает результаты расчетов в виде размеров сечений элементов литниковых систем и длины шлакоуловителя, исходя из заданных параметров литейно-модельных указаний.

Ключевые слова: литниковая система, шлакоуловитель, неметаллические включения, шлаковая частица, скорость всплытия, критическая скорость потока, средняя линейная скорость потока, минимальная длина шлакоуловителя, размеры шлакоуловителя, площади сечений элементов литниковой системы, качество отливок, литниковая система, питатель, продолжительность заливки, суммарное сечение, плотность, металлостатический напор.

V.N. Labutin, D.O. Pustovalov, K.V. Sharov,**A.V. Bogomiagkov, S.A. Belova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**THE CALCULATION OF THE LENGTH SLAG TRAP
TO THE FIRST FEEDER**

For quality castings necessary to prevent non-metallic inclusions in the mold cavity. To ensure the specified requirements necessary to ensure the proper operation of the cell gating system – slag trap. It is necessary to ensure that during flow along the entire length slag trap slag particles, even those who initially were on bottom surfaced over the full height of the channel. slag trap in flow rate should be

such that the metal flow could not entrain the particles already in its pop-top. This becomes possible when the flow rate does not exceed a certain limit value. In today's foundries are a lot of methods for calculating gating systems on which the findings are different. This article summarizes data on critical flow rate, the flow of metal to the slag particles of iron-carbon alloys, as well as the average ramp rate of the metal in the mold. Calculations gating systems by standard techniques and methodology proposed by the authors, slag trap calculations made taking into account that the gating system in this case should be closed. It is shown that not all the methods give adequate results, as standard methods of calculation adopted by the weight of the gating system oscillating in the range of 10-20%. Drawing the method of calculating the gating system, based on the critical velocity of flow of the metal in slag trap gives the results of calculations in the form of cross-sectional dimensions of elements and the length of the gating systems slag trap, based on specified parameters foundry and model guidance, unlike conventional techniques.

Keywords: gating system, slag trap, nonmetallic inclusions, slag particles, ascent rate, the critical flow rate, average linear flow rate, minimum length slag trap, slag trap sizes, cross-sectional area of elements of gating system, quality of castings, feeder, length of the fill, total cross section, density, metallostatic head.

Правильный выбор типа литниковой системы во многом определяет качество отливок и технико-экономические показатели литейного цеха. При проектировании и выборе типа литниковой системы необходимо учитывать ряд факторов: особенности свойств сплава, конфигурацию отливки, положение отливки в форме и разъем формы, наличие стержней и пр. Нередко одной из причин появления дефектов и брака отливок является неправильно спроектированная литниковая система.

Одним из распространенных видов брака отливок является наличие неметаллических включений, которые образуются в сплавах в процессе их производства – выплавки и разливки. Неметаллические включения существенно влияют на свойства изделий, их эксплуатационные характеристики в зависимости от природы, количества, формы, размера и характера распределения. Размеры неметаллических включений и их количество в стали должны соответствовать ГОСТ 1178–75 «Металлографические методы определения неметаллических включений».

Для предотвращения попадания неметаллических включений в полость формы в литниково-питающей системе предусмотрены шлакоуловители, которые имеют различные конструкции.

Принцип работы шлакоуловителя (рис. 1) основан на том, что неметаллические частицы, находящиеся в заливаемом металле (частицы шлака, флюса, продукты разрушения огнеупорных материалов и формы) имеют значительно меньшую плотность, чем расплавленный металл, в связи с чем, попав из стояка 1 в шлакоуловитель 2, они всплывают наверх и остаются в верхней части шлакоуловителя, не

имеющего соединения с полостью литейной формы, а в расположенные ниже питатели 3, выходящие непосредственно в полость формы, поступает лишь более тяжелый расплавленный металл.

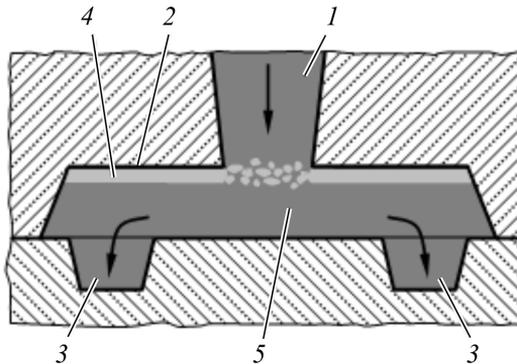


Рис. 1. Принцип работы шлакоуловителя:
1 – стояк; 2 – шлакоуловитель; 3 – питатели;
4 – шлак; 5 – расплавленный металл

Рассчитывая параметры шлакоуловителя, необходимо учитывать следующее. При получении годных отливок излишний расход металла на литниково-питающую систему снижает технологический выход годного, поэтому длина шлакоуловителя должна быть минимальной, но достаточной для задержания неметаллических частиц.

Необходимо, чтобы за время прохождения потока по всей длине шлакоуловителя даже те частицы, которые сначала находились на дне, всплывали на полную высоту канала.

Скорость течения в шлакоуловителе должна быть такой, чтобы поток металла не мог увлечь за собой частицы, уже всплывающие в его верхнюю часть. Это становится возможным, если скорость потока не превосходит некоторую предельную величину.

Исследования Б.В. Рабиновича показали, что для шлаковых частиц диаметром $d_{\min} = 1$ мм в потоке жидкого чугуна и стали критическая скорость, не способная их извлечь из пристеночного слоя, составляет $v_{\text{ш.кр.}} = 40$ см/с.

Огромная номенклатура отливок из разных сплавов предопределяет использование самых разнообразных методов расчета и фактических рекомендаций по конструированию литниковых систем и их элементов.

Цель работы – проанализировать различные способы, выбрать или разработать наиболее оптимальную систему расчета минимальной длины шлакоуловителя с расчетом литниково-питающей системы исходя из критической скорости движения металла в шлакоуловителе.

Для этого в качестве исходной для расчетов выбираем деталь «муфта», для которой разработаны литейно-модельные указания (рис. 2, 3) и рассчитаны параметры литниковой чаши (рис. 4).

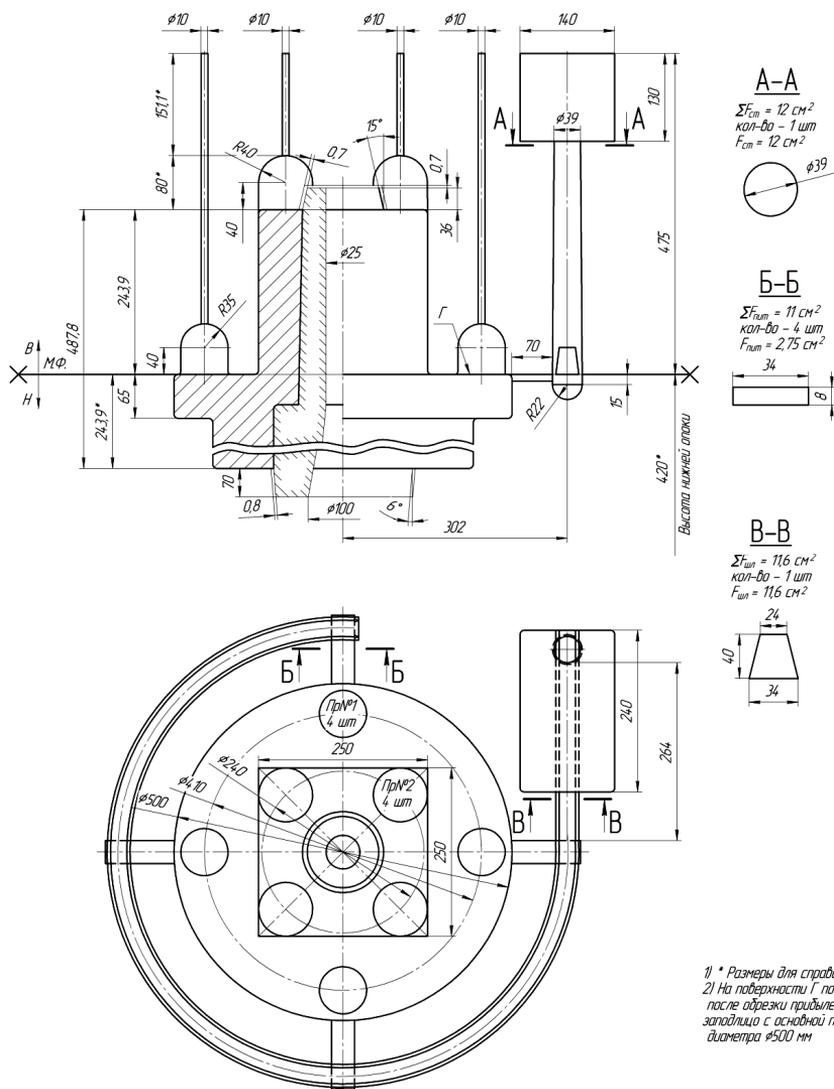


Рис. 2. Литейно-модельные указания для отливки детали «муфта», рассчитанные по стандартной методике

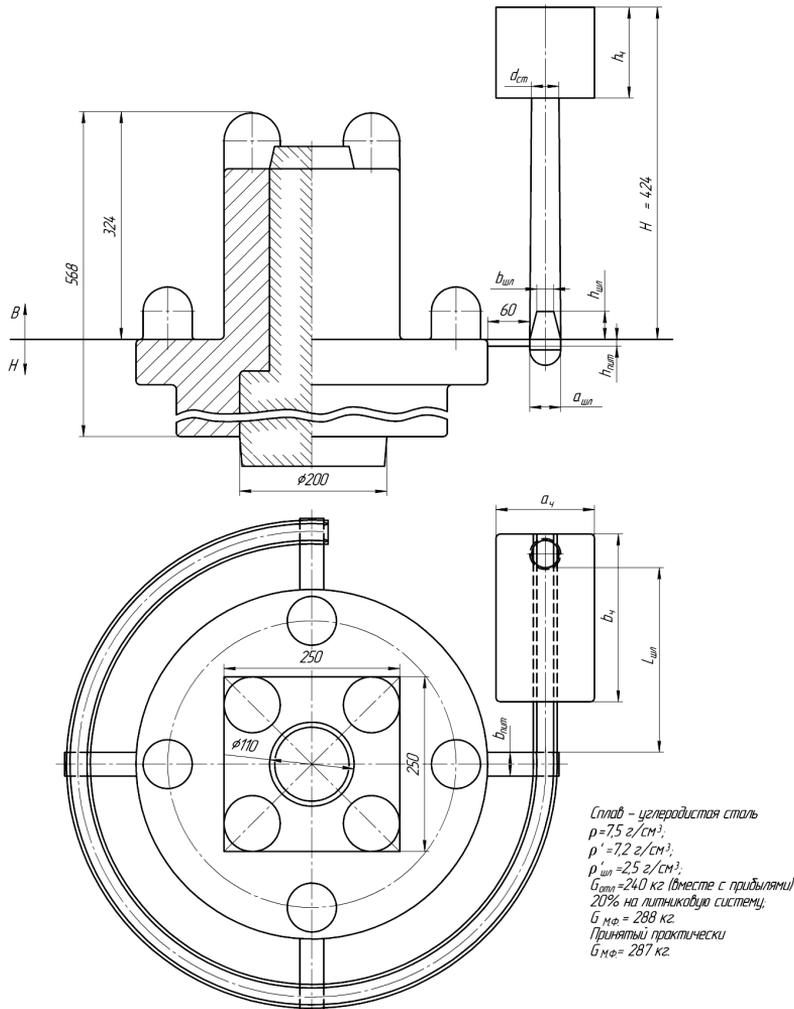


Рис. 3. Литейно-модельные указания для отливки детали «муфта», рассчитанные по разработанной авторами методике

Исходные данные для расчетов по формулам разных авторов (согласно литейно-модельным указаниям):

- сплав – углеродистая сталь:
 - плотность твердого металла $\rho = 7,5 \text{ г/см}^3$;
 - плотность расплава $\rho' = 7,2 \text{ г/см}^3$;
- плотность жидкого шлака $\rho_{\text{шл}} = 2,5 \text{ г/см}^3$;
- высота отливки в форме по положению при заливке $C = 568 \text{ мм}$;
- вес расплава, проходящего через шлакоуловитель, $G' = 240 \text{ кг}$;
- толщина стенки отливки $\delta > 40 \text{ мм}$.

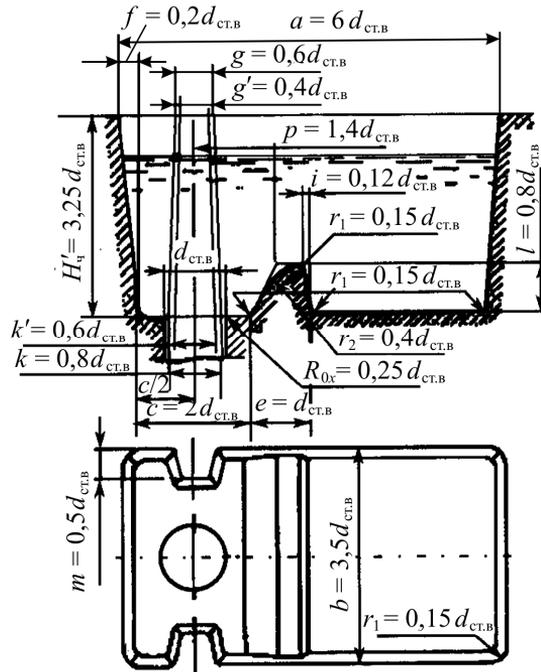


Рис. 4. Литниковая чаша

- Параметры стояка:
 - диаметр стояка $d_{CT} = 44$ мм;
 - длина стояка $l_{CT} = H_0 - h_{ч} + h_3 = 424 - 140 + 40 = 324$ мм = 32,4 см (где h_3 – высота зумпфа);
 - объем стояка $V_{CT} = F_{CT} \cdot l_{CT} = 14,2 \cdot 32,4 = 460$ см³;
 - вес стояка $G_{CT} \approx V_{CT} \cdot \rho = 460 \cdot 7,5 = 3,45$ кг.
- Параметры питателей:
 - объем питателей $V_{ПИТ} = \sum F_{ПИТ} \cdot 4l_{ПИТ} = 12,9 \cdot 4 \cdot 6 = 310$ см³;
 - вес питателей $G_{ПИТ} \approx V_{ПИТ} \cdot \rho = 310 \cdot 7,5 = 2,3$ кг.
- Параметры литниковой чаши:
 - диаметр стояка $d_{CT} = 44$ мм;
 - высота чаши $h_{ч} = 3,25 \cdot d_{CT} = 140$ мм = 14 см;
 - габаритные размеры чаши – $b_{ч} = 3,5 \cdot d_{CT} = 150$ мм = 15 см;
 - $a_{ч} = 6 \cdot d_{CT} = 260$ мм = 26 см;
 - объем чаши $V_{ч} \approx h_{ч} \cdot b_{ч} \cdot a_{ч} = 14 \cdot 15 \cdot 26 = 5460$ см³;
 - вес чаши $G_{ч} \approx V_{ч} \cdot \rho = 5460 \cdot 7,5 = 41$ кг ($\rho = 7,5$ г/см³ – удельный вес затвердевшего сплава).

Вес литниково-питающей системы

$$G_{\text{м.с}} = G_{\text{ч}} + G_{\text{ст}} + G_{\text{пит}} = 41 + 3,45 + 2,3 = 46,8 \text{ кг.}$$

Металлоемкость формы $G_{\text{м.ф}} = G_{\text{отл}} + G_{\text{м.с}} = 240 + 46,8 \approx 287 \text{ кг.}$

Расчет литников в узком смысле предусматривает определение продолжительности заливки формы металлом и размеров элементов литниковой системы. Однако такое решение задачи еще не гарантирует получения качественной отливки, так как, например, неудачно выбранное место подвода питателей может привести к размыву формы или стержня и вызвать брак отливки по различным дефектам. Исходя из этого при расчете литниковой системы одновременно решаются следующие основные задачи: определение продолжительности заливки формы металлом; выбор места подвода металла и направления питателей; выбор размеров и соотношения площадей элементов литниковой системы.

Расчет шлакоуловителя производят с учетом, что литниковая система в данном случае должна быть замкнутой (запирающейся) и необходимо выдержать следующие соотношения площадей сечений $\sum F_{\text{пит}} < \sum F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}}$ (питателей, шлакоуловителей и стояка соответственно):

для чугуна

- 1 : 1,5 : 2 – для среднего и крупного литья;
- 1 : 1,2 : 1,4 – для крупного литья;
- 1 : 1,1 : 1,15 – для среднего и мелкого литья;
- 1 : 1,06 : 1,11 – для тонкостенного мелкого литья;

для стали

- 1 : 1,05 : 1,1 – для простых толстостенных отливок;
- 1 : 1,1 : 1,2 – для сложных тонкостенных отливок;
- 1 : 1,3 : 1,6 – для крупных отливок.

Предлагаемая авторами методика расчета

1. Для получения качественной отливки большое значение имеет средняя линейная скорость подъема металла в форме

$$v_{\text{ср}} = \frac{C}{\tau_{\text{зал}}}, \quad (1)$$

где C – высота отливки в форме по положению при заливке, мм; $\tau_{\text{зал}}$ – оптимальная продолжительность заливки, с.

Значения v_{cp} зависят от толщины стенок отливки и вида сплава. Данные для стали и чугуна представлены в табл. 1.

Таблица 1

Минимальные допустимые значения v_{cp}
поднятия уровня металла в форме

Сплав	Толщина стенки отливки, мм	v_{cp} , мм/с
Чугун	Более 40, а также все плоские отливки, отливаемые в горизонтальном положении	10–8
	10–40	20–10
	4–10	30–20
	1,5–4	100–30
Сталь	7–10	20
	10–40	20–10
	>40	10–8

2. Суммарное сечение шлакоуловителя $\sum F_{шл}$ определяют исходя из формулы критической скорости

$$v_{ш.кр} = \frac{G' \cdot 1000}{\rho' \cdot \sum F_{шл} \cdot \tau_{зал}}, \quad (2)$$

где G' – вес расплава, проходящего через шлакоуловитель (без литниковой системы), кг, $G' = G_{дет} + G_{прип} + G_{приб}$, $G_{дет}$ – вес детали, $G_{прип}$ – вес припусков, $G_{приб}$ – вес прибылей; ρ' – плотность расплава, г/см³; $\sum F_{шл}$ – суммарное сечение шлакоуловителя; $\tau_{зал}$ – продолжительность заливки в соответствии с табл. 1, с,

$$\tau_{зал} = \frac{C}{v_{cp}}. \quad (3)$$

В соответствии с формулой (1) и табл. 1 принимаем $v_{cp} = 9$ мм/с (по табл. 1 – 10–8 мм/с); следовательно $\tau_{зал} = \frac{C}{v_{cp}} = \frac{568}{9} = 63$ с.

Тогда суммарное сечение шлакоуловителя $\sum F_{шл}$ выражается через формулу

$$\sum F_{шл} = \frac{G' \cdot 1000}{v_{шл} \cdot \rho' \cdot \tau_{зал}}. \quad (4)$$

Согласно формуле (4) $\sum F_{\text{шл}} = \frac{240 \cdot 1000}{40 \cdot 7,2 \cdot 63} = 13,2 \text{ см}^2$.

Отливка является простой толстостенной, и должно соблюдаться соотношение $\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,05 : 1,1$.

Тогда после расчета в соответствии с указанным соотношением получаем:

– суммарное сечение питателей $\sum F_{\text{пит}} = 12,6 \text{ см}^2$;

– суммарное сечение шлакоуловителей $\sum F_{\text{шл}} = 13,2 \text{ см}^2$;

– сечение стояка $F_{\text{ст}} = 13,9 \text{ см}^2$.

Учитывая рассчитанные сечения $\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 12,6 : 13,2 : 13,9 \text{ см}^2$, можно определить:

– Диаметр стояка

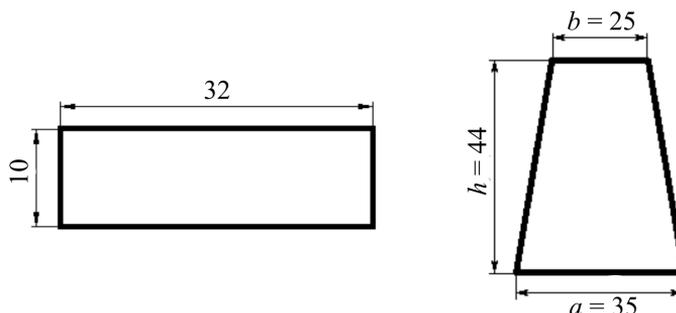
$$D_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \sum F_{\text{ст}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14,2}{3,14}} = 4,25 \text{ см} \approx 43 \text{ мм.}$$

– Размеры питателя. В связи с тем, что суммарное сечение питателей $\sum F_{\text{пит}} = 12,9 \text{ см}^2$, а количество питателей 4 шт., размер одного питателя $F_{\text{пит}} = 3,2 \text{ см}^2$.

– Размеры шлакоуловителя. В связи с тем, что суммарное сечение шлакоуловителей $\sum F_{\text{шл}} = 13,2 \text{ см}^2$, количество шлакоуловителей 1 шт., площадь шлакоуловителя $\sum F_{\text{шл}} = 13,2 \text{ см}^2$.

Наиболее часто используется трапециевидный шлакоуловитель, так как он лучше улавливает шлаки, допуская меньшие потери тепла.

Учитывая, что площадь шлакоуловителя определяют из формулы $\sum F_{\text{шл}} = 0,68 \cdot h^2$, можно определить его размеры:



$$h = \sqrt{\frac{F_{\text{шл}}}{0,68}} = \sqrt{\frac{13,2}{0,68}} = 4,4 \text{ см},$$

$$h = 1,25a,$$

$$a = \frac{h}{1,25} = 35 \text{ мм} = 3,5 \text{ см},$$

$$b = 0,7a = 0,7 \cdot 35 = 25 \text{ мм} = 2,5 \text{ см}.$$

Проверка:

$$F = \frac{a+b}{2} \cdot h = \frac{2,5+3,5}{2} \cdot 4,4 = 13,2 \text{ см}^2.$$

Проверка скорости потока в шлакоуловителе по формуле (2):

$$v_{\text{шл.кр}} = \frac{G' \cdot 1000}{\rho' \cdot \sum F_{\text{шл}} \cdot \tau_{\text{зал}}} = \frac{240 \cdot 1000}{7,2 \cdot 13,2 \cdot 63} = 40 \text{ см/с}.$$

Для нормальной работы шлакоуловителя для детали «муфта» условия выполнено.

3. Далее определяем длину шлакоуловителя. Учитывая, что разные авторы предлагают свои формулы для определения длины шлакоуловителя, произведем расчеты по этим формулам.

По источникам [1, 5] длина шлакоуловителя

$$L_{\text{шл}} = \frac{h_{\text{пит}} \cdot v_{\text{шл.кр}}}{1,15 \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\rho' - \rho_{\text{шл}}}{\rho'} \cdot d} - \beta \cdot v_{\text{шл.кр}}}, \quad (5)$$

где $\beta = 0,2$ – коэффициент пропорциональности.

$$\text{Тогда } L_{\text{шл}} = \frac{1 \cdot 40}{1,15 \cdot \sqrt{981 \cdot \frac{7,2 - 2,5}{7,2}} \cdot 0,1 - 0,2 \cdot 40} = 33,3 \text{ см} = 333 \text{ мм}.$$

По источнику [4] длину шлакоуловителя определяют следующим образом:

$$L_{\text{шл}} \geq 17,5 \cdot \frac{q \cdot m_{\tau_n}}{h_{\text{шл}}}, \quad (6)$$

где $L_{\text{шл}}$ – длина шлакоуловителя от кромки стояка до 1-го питателя, см;
 q – доля всей массы металла, протекающей через шлакоуловитель;
 $h_{\text{шл}}$ – высота шлакоуловителя, см; $m_{\tau_{\text{н}}}$ – начальный массовый расход металла, кг/с

$$m_{\tau_{\text{н}}} = k \cdot m_{\tau_{\text{сп}}} = k \cdot \frac{G'_{\text{шл}}}{\tau_{\text{зал}}} = k \cdot \frac{240}{63} = k \cdot 3,8 \text{ кг/с},$$

где $G'_{\text{шл}}$ – количество металла, протекающего через шлакоуловитель, кг; k – коэффициент, учитывающий падение скорости заливки под затопленный уровень,

$$k = 1 + \frac{h_{\text{о.в}}}{h_0} \cdot \left(\frac{2}{1 + \sqrt{1 - \frac{h_{\text{о.в}}}{H_0}}} \right) = 1 + \frac{32,4}{56,8} \cdot \left(\frac{2}{1 + \sqrt{1 - \frac{32,4}{42,4}}} \right) = 1,77,$$

где $h_{\text{о.в}}$ – высота отливки над линией разъема (см. рис. 3), $h_{\text{о.в}} = 32,4$ см;
 h_0 – высота отливки, $h_0 = 56,8$ см; H_0 – гидростатический напор (высота уровня расплава в чаше над уровнем подвода расплава в форму), $H_0 = 42,4$ см.

Рассчитав коэффициент, получаем $m_{\tau_{\text{н}}} = k \cdot 3,8 = 1,77 \cdot 3,8 = 6,7$ кг/с.

Определяем долю всей массы металла, протекающей через шлакоуловитель:

$$q = \frac{G_{\text{отл}}}{G_{\text{м.ф}}} = \frac{240}{287} = 0,836. \quad (7)$$

Тогда длина шлакоуловителя согласно формуле (7) должна быть

$$L_{\text{шл}} \geq 17,5 \cdot \frac{q \cdot m_{\tau_{\text{н}}}}{h_{\text{шл}}} = 17,5 \cdot \frac{0,836 \cdot 6,7}{4,4} = 22,3 \text{ см} = 223 \text{ мм}.$$

По источнику [8] длина шлакоуловителя

$$L_{\text{шл}} = 1,2 \cdot h_{\text{шл}} \cdot \frac{v_{\text{шл.кр}}}{v_{\text{в.с}}} = 1,2 \cdot 4,4 \cdot \frac{40}{9,2} = 23 \text{ см} = 230 \text{ мм},$$

$$\text{где } v_{в.с} = \sqrt{\frac{d}{3} \cdot \frac{\rho' - \rho_{шл}}{\rho'} \cdot g} = \sqrt{\frac{0,1}{3} \cdot \frac{7,2 - 2,5}{7,2} \cdot 981} = 9,2 \text{ см/с.}$$

По источнику [14] длина шлакоуловителя

$$L_{шл} = \frac{H_{шл} \cdot v_{шл.кр}}{v_{в.с}}, \quad (8)$$

где $L_{шл}$ – длина шлакоуловителя от кромки стояка до первого питателя, см; $H_{шл}$ – высота шлакоуловителя, см; $v_{шл.кр}$ – критическая скорость потока в шлакоуловителе, $v_{шл.кр} = 40$ см/с; $v_{в.с}$ – скорость всплытия шлаковой частицы в турбулентном потоке, см/с,

$$\begin{aligned} v_{в.с} &= 1,15 \cdot \sqrt{g \cdot \frac{(\rho' - \rho_{шл})}{\rho'} \cdot d - \beta \cdot v_{шл.кр}} = \\ &= 1,15 \cdot \sqrt{981 \cdot \frac{7,2 - 2,5}{7,2} \cdot 0,1 - 0,2 \cdot 40} = 8,61 \text{ см/с,} \end{aligned}$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 981$ см/с²; ρ' – плотность расплава, $\rho' = 7,2$ г/см³; $\rho_{шл}$ – плотность жидкого шлака, г/см³, $\rho_{шл} = 2,5$; d – минимальный размер шлаковой частицы, $d = 0,1$ см; β – коэффициент пропорциональности, $\beta = 0,2$.

$$\text{Тогда } L_{шл} = \frac{4,4 \cdot 40}{8,61} = 20,4 \text{ см} = 204 \text{ мм.}$$

По источнику [15]

$$L_{шл} = \frac{H_{шл} \cdot v_{шл.кр}}{v_{в.с}} = \frac{4,4 \cdot 40}{9,2} = 191 \text{ мм,}$$

где скорость всплытия шлаковой частицы

$$v_{в.с} = 1,15 \cdot \sqrt{g \cdot \frac{(\rho' - \rho_{шл})}{\rho'} \cdot d} = 1,15 \cdot \sqrt{981 \cdot \frac{7,2 - 2,5}{7,2} \cdot 0,1} = 9,2 \text{ см/с.}$$

Сравнительные данные по результатам расчета длины шлакоуловителя по методикам разных авторов представлены ниже.

Сравнительные данные, полученные с использованием различных методик расчета:

Источник (в списке литературы)	Длина шлакоуловителя $L_{шл}$, мм
14	204
8	230
1; 5	333
15	191
4	223

Из приведенных выше данных видно, что разброс по длине шлакоуловителя достаточно большой – от 191 до 333 см.

Авторы предлагают проводить расчет длины шлакоуловителя следующим образом:

1. Определить время заполнения формы $\tau_{зал}$ по табл. 1.
2. Определить суммарное сечение шлакоуловителя $\sum F_{шл}$ по формуле (4).
3. Определить длину шлакоуловителя по формуле (8):

$$L_{шл} = \frac{H_{шл} \cdot v_{ш.кр}}{v_{в.с}} = \frac{H_{шл}}{\beta} = \frac{H_{шл}}{0,2} = \frac{44}{0,2} = 220 \text{ мм},$$

где $v_{в.с} = \beta \cdot v_{ш.кр}$; $\beta = 0,2$; $H_{шл} = 44$ мм.

Размер $L_{шл} = 220$ мм укладывается в полученные с использованием различных методик расчета данные.

Определение суммарной площади питателей:

$$\sum F_{пит} = \frac{1000 \cdot G_{м.ф}}{\mu \cdot \rho' \cdot \tau_{зал} \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}}, \quad (9)$$

где $G_{м.ф}$ – металлоемкость формы, кг; μ – коэффициент расхода металла (табл. 2); ρ' – плотность жидкого расплава, г/см³; $\tau_{зал}$ – продолжительность заливки формы, с; g – ускорение свободного падения, см/с²; H_p – расчетный металлостатический напор.

Таблица 2

Коэффициенты расхода жидкого металла в литниковой системе μ

Сплав	Коэффициент расхода μ при литье	
	в сырую форму	в сухую форму
Чугун	0,35–0,5	0,41–0,6
Сталь	0,25–0,42	0,3–0,5

Учитывая, что $G_{м.ф} = 288$ кг (см. рис. 3) и $\mu = 0,55$, определяем время заполнения формы

$$\tau_{зал} = A \cdot G_{м.ф}^{0,4} = 2,4 \cdot 287^{0,4} = 23,12 \text{ с,}$$

где A – коэффициент, зависящий от марки сплава:

Сплав	A
СЧ, ВЧ, БЧ	3,7
Углеродистая сталь	2,4

Рассчитываем гидростатический напор:

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C} = 42,4 - \frac{32,4^2}{2 \cdot 56,8} = 33,2 \text{ см,}$$

где H_0 – гидростатический напор, см; P – высота отливки в верхней полуформе, см; C – высота всей отливки, см.

Тогда в соответствии с формулой (9) определяем суммарное сечение питателей

$$\sum F_{пит} = \frac{1000 \cdot G_{м.ф}}{\mu \cdot \rho' \cdot \tau_{зал} \cdot \sqrt{2g \cdot H_p}} = \frac{1000 \cdot 288}{0,55 \cdot 7,2 \cdot 23,12 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 33,2}} = 12,3 \text{ см}^2.$$

Используя соотношение $\sum F_{пит} : \sum F_{шл} : \sum F_{ст} = 1 : 1,05 : 1,1$ (для простых стальных толстостенных отливок), вычисляем $\sum F_{шл} = 13 \text{ см}^2$, $\sum F_{ст} = 13,5 \text{ см}^2$.

Определяем скорость потока в шлакоуловителе по формуле (4):

$$v_{шл} = \frac{G' \cdot 1000}{\rho' \cdot \sum F_{шл} \cdot \tau_{зал}} = \frac{240 \cdot 1000}{7,2 \cdot 13 \cdot 23,12} = 111 \text{ см/с.}$$

По условию критическая скорость потока $v_{шл.кр} = 40 \text{ см/с}$. Тогда $v_{шл} > v_{шл.кр}$.

Таким образом, при скорости потока $v_{шл.кр} = 111 \text{ см/с}$ шлакоуловитель, рассчитанный по стандартной методике [13], не выполнит предназначенную ему функцию, т.е. не будет задерживать шлаковые частицы.

Список литературы

1. Теория литейных процессов: учебник / В.Д. Белов [и др.]; под ред. Х. Ри. – Хабаровск: Изд-во краевой типографии, 2008. – 580 с.
2. Справочник литейщика / П.Ф. Василевский, А.Е. Демаков, П.Н. Плеханов [и др.]; под ред. Н.Н. Рубцова. – М.: Машиностроение, 1962. – 611 с.
3. Галдин Н.М. Условия задержания шлаковых включений в литниковых системах для алюминиевых сплавов // Дефекты отливок и меры по их предупреждению: материалы семинара / Моск. дом науч.-техн. пропаганды им. Ф.Э. Дзержинского. – М., 1970. – С. 159–165.
4. Справочник по чугунному литью / А.А. Жуков [и др.]; под ред. Н.Г. Гиришвича. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
5. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов: учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 214 с.
6. Кальман А. Исследование явлений, протекающих в каналах литниковой системы чугунных отливок, с точки зрения равномерности заполнения форм // 28-й Междунар. конгресс литейщиков. – М.: Машгиз, 1964. – С. 319–347.
7. Косников Г.А., Морозова Л.М. Литейное производство. Проектирование технологии получения отливок в разовых формах: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 51 с.
8. Кукуй Д.М., Скворцов В.А., Андрианов Н.В. Теория и технология литейного производства: учебник для вузов: в 2 ч. Ч. 2. Технология изготовления отливок в разовых формах. – М.: ИНФРА-М: Новое знание, 2011. – 405 с.
9. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. – М.: Машиностроение, 1966. – 423 с.
10. Рекомендации по разработке литейной технологии на отливки из чугуна, стали и цветных сплавов / НИИцветмет экономики и информации. – М., 1980. – 140 с.
11. Технология литейного производства: учеб. пособие по циклу практ. занятий / Г.С. Саначева, Т.Н. Степанова, В.Н. Баранов, И.Ю. Губанов; Гос. ун-т цвет. металлов и золота. – Красноярск, 2008. – 96 с.
12. Саначева Г.С. Технология литейного производства. Проектирование литейных форм: учеб. пособие / Гос. ун-т цвет. металлов и золота. – Красноярск, 2006. – 100 с.

13. Технология литейного производства: литье в песчаные формы: учебник для вузов / А.П. Трухов [и др.]; под ред. А.П. Трухова. – М.: Академия, 2005. – 524 с.

14. Чернышов Е.А., Паньшин В.И. Литейные технологии. Основы проектирования в примерах и задачах: учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 2011.– 287 с.

15. Чернышов Е.А., Евстигнеев А.И. Теоретические основы литейного производства. Теория формирования отливки: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2015. – 479 с.

References

1. Belov V.D. [et al.] *Teoriia liteinykh protsessov* [Theory of casting processes]. Khabarovsk: RIOTIP, 2008. 580 p.

2. Vasilevskii P.F., Demakov A.E., Plekhanov P.N. *Spravochnik liteishchika* [Directory caster]. Moscow: Mashinostroenie, 1962. 611 p.

3. Galdin N.M. *Usloviia zaderzhaniia shlakovykh vklucheni v litnikovyykh sistemakh dlia aluminievyykh splavov* [Conditions of detention in the slag runner systems for aluminum alloys]. *Defekty otlivok i mery po ikh preduprezhdeniiu. Materialy seminara. Moskovskii dom nauchno-tekhnicheskoi propagandy imeni F.E. Dzerzhinskogo*, 1970, pp. 159-165.

4. Girshovich N.G., Zhukov A.A. *Spravochnik po chugunnomu lit'iu* [Handbook of cast iron casting]. Leningrad: Mashinostroenie, 1978. 758 p.

5. Guliaev B.B. *Teoriia liteinykh protsessov* [Theory of casting processes]. Leningrad: Mashinostroenie, 1976. 214 p.

6. Kal'man A. *Issledovanie iavlenii, protekaiushchikh v kanalakh litnikovoi sistemy chugunnykh otlivok, s toчки zreniia ravnomernosti zapolneniia form* [The study of phenomena occurring in the channels of gating system iron castings, from the standpoint of uniformity of filling out forms]. *28-i Mezhdunarodnyi kongress liteishchikov*. Moscow: Mashgiz, 1964, pp. 319-347.

7. Kosnikov G.A., Morozova L.M. *Liteinoe proizvodstvo. Proektirovanie tekhnologii polucheniia otlivok v razovykh formakh* [Foundry. Design technology for casting in single forms]. Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2000. 51 p.

8. Kukui D.M., Skvortsov V.A., Andrianov N.V. *Teoriia i tekhnologiia liteinogo proizvodstva. Chast' 2. Tekhnologiia izgotovleniia otlivok v*

razovykh formakh [Theory and Technology foundry. Part 2. Manufacturing process of castings in disposable molds]. Moscow: INFRA-M, Novoe znanie, 2011. 405 p.

9. Rabinovich B.V. Vvedenie v liteinuiu gidravliku [Introduction into the casting hydraulics]. Moscow: Mashinostroenie, 1966. 423 p.

10. Rekomendatsii po razrabotke liteinoi tekhnologii na otlivki iz chuguna, stali i tsvetnykh splavov [Recommendations for the development of foundry technology in the iron casting, steel and non-ferrous alloys]. Moscow: Nauchno-issledovatel'skii institut ekonomiki i informatsii, 1980. 140 p.

11. Sanacheva G.S., Stepanova T.N., Baranov V.N., Gubanov I.Iu. Tekhnologiya liteinogo proizvodstva [Foundry technology]. Krasnoyarsk: Gosudarstvennyi universitet tsvetnykh metallov i zolota, 2008. 96 p.

12. Sanacheva G.S. Tekhnologiya liteinogo proizvodstva. Proektirovanie liteinykh form [Foundry technology. Mold Design]. Krasnoyarsk: Gosudarstvennyi universitet tsvetnykh metallov i zolota, 2006. 100 p.

13. Trukhov A.P. [et al.] Tekhnologiya liteinogo proizvodstva: lit'e v peschanye formy [Foundry technology: sand casting]. Moscow: Akademiia, 2005. 524 p.

14. Chernyshov E.A., Pan'shin V.I. Liteinye tekhnologii. Osnovy proektirovaniia v primerakh i zadachakh [Foundry technology. Fundamentals of examples and problems]. Moscow: Mashinostroenie, 2011. 287 p.

15. Chernyshov E.A., Evstigneev A.I. Teoreticheskie osnovy liteinogo proizvodstva. Teoriia formirovaniia otlivki [Theoretical foundations of foundry. The theory of the formation of the casting]. Moscow: Mashinostroenie, 2015. 479 p.

Получено 31.01.2016

Об авторах

Лабутин Владимир Николаевич (Пермь, Россия) – доцент кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: detali@pstu.ru.

Пустовалов Дмитрий Олегович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: pustovalov.dmitrii@inbox.ru.

Шаров Константин Владимирович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: ksharov@yandex.ru.

Богомяков Алексей Васильевич (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: bogomyagkovav@yandex.ru.

Белова Светлана Анатольевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы, технологии и конструирование машин» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: bels_63@mail.ru.

About the authors

Vladimir N. Labutin (Perm, Russian Federation) – Associate Professor, Department “Materials, Technology and Construction of Machines”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: detali@pstu.ru.

Dmitrii O. Pustovalov (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department “Materials, Technology and Construction of Machines”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: pustovalov.dmitrii@inbox.ru.

Konstantin V. Sharov (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department “Materials, Technology and Construction of Machines”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: ksharov@yandex.ru.

Aleksei V. Bogomiagkov (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department “Materials, Technology and Construction of Machines”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: bogomyagkovav@yandex.ru.

Svetlana A. Belova (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department “Materials, Technology and Construction of Machines”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: bels_63@mail.ru.