



УДК 621.74

Поступила 12.11.2014

И. А. ЗАЯЦ, БНТУ, научный руководитель канд. техн. наук В. А. СКВОРЦОВ, БНТУ

## УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

*В процессе выполнения работы проводились уточненные расчеты горизонтальных литниковых систем для различных деталей, получаемых в разовых литейных формах. Результаты работы показали, что масса металла в литниковых системах колеблется в широких интервалах и уточненный расчет горизонтальных литниковых систем позволяет точно рассчитать их массу, что позволяет рассчитывать количество металла в металлозавалке.*

*In the course of fulfillment of work the specified calculations of horizontal gating systems for various parts produced in dispensable molds were carried out. The results of work showed that the weight removal value in gating systems fluctuates in big intervals and the specified calculation of horizontal gating systems enables to calculate precisely their weight that allows to calculate quantity of metal in metal charge.*

Литниково-питающие системы (ЛПС) служат для обеспечения заполнения литейных форм металлом с оптимальной скоростью, исключающей образование в отливке недоливов и неметаллических включений и компенсирующей объемную усадку в период затвердевания отливки с получением в ней металла заданной плотности. ЛПС должна также удовлетворять требованиям технологичности при изготовлении моделей, форм и отливок. При этом необходимо стремиться к созданию по возможности компактных ЛПС. Излишнее их развитие ведет к перерасходу металла, завышению затрат труда, низкой эффективности использования оборудования и площадей.

В работе приводится порядок расчета типовых литниковых систем, к которым относятся горизонтальные, боковые, сифонные, верхние и дождевые. Для их расчета использовали упрощенные методы, основанные на следующих допущениях:

- расплав рассматривался как идеальная жидкость с постоянной вязкостью, охлаждение расплава и нагрев формы при ее заполнении не учитывались;
- движение расплава рассматривалось как установившееся движение тяжелой жидкости по закрытым каналам.

При конструировании литниковой системы придерживались ряда правил, направленных на обеспечение требований к литниковым системам.

1. Протяженность каналов литниковой системы делали максимально короткой и жидкий металл подводили к полости формы кратчайшим путем.

2. Поток металла, подводимый в полость формы, направлен вдоль стенки отливки.

3. Подвод металла обеспечивает одностороннее движение металла в форме.

4. Подвод металла осуществляли в наиболее массивную часть отливки.

Расчет сводится к определению площади наименьшего сечения литниковой системы (стояка или питателя) с последующим определением (по соотношениям) площадей элементов системы.

Конкретная литая деталь представляет собой оригинальную конструкцию, что приводит к необходимости создания самостоятельной ЛПС для каждой отливки. Вместе с тем, литые детали имеют много общего в размерах стенок, узлов, их соединений, благодаря чему открываются возможности для типизации конструкций ЛПС и выработки общих методов их расчета.

В настоящей работе выполнен уточненный расчет горизонтальных литниковых систем для типовой отливки. Расчет сводится к определению площади наименьшего сечения литниковой системы (стояка или питателя) с последующим определением (по соотношениям площадей сечения) остальных элементов системы [1].

Для сужающихся литниковых систем площадь наименьшего сечения питателя ( $F_n$ ) находим по формуле (метод Озанна-Диттерта):

$$F_n = \frac{G}{\rho \tau \mu \sqrt{2gH_p}}, \quad (1)$$

где  $G$  – масса отливки с литниковой системой, кг;  $\rho$  – плотность заливаемого расплава, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  –

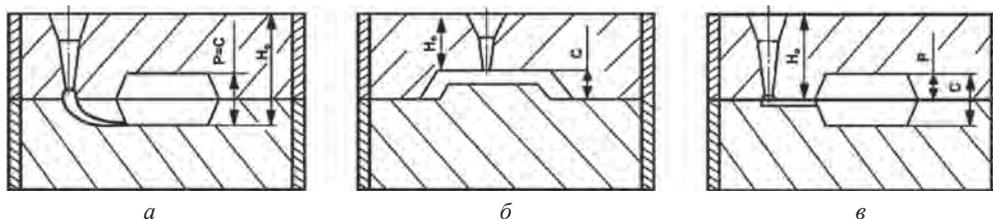


Рис. 1. К расчету статического напора различных конструкций литниковых систем: а – сифонная; б – верхняя; в – боковая

продолжительность заливки формы,  $c$ ;  $\mu$  – коэффициент расхода расплава, учитывающий потери на трение, повороты в литниковой системе;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $H_p$  – расчетный статический напор, м.

Для определения массы отливки с литниковой системой на чертеж наносятся литейно-модельные указания: плоскость разъема, положение отливки в форме, припуски на механическую обработку, уклоны, галтели, конфигурацию стержней, стержневые знаки, зазоры между формой и стержнем, определяются заливаемые отверстия, технологические приливы, расположение прибылей, питающих бобышек и др. [2, 3]. На основании литейно-модельных указаний определяются габаритные размеры моделей, разрабатываются эскиз расположения моделей на подмодельной плите и конструкция литниковой системы, по которым рассчитываются длины питателей и шлакоуловителей. Выбираются номинальные размеры опок в свету.

Номинальные размеры опок в свету зависят от конструкции литниковой системы, габарита моделей, необходимых минимальных толщин, слоя формовочной смеси между моделями и стенками опок, между моделями, между моделью и шлакоуловителем, которые зависят от массы отливки и выбираются по табл. 1.

Таблица 1. Минимальные толщины слоев формовочной смеси на различных участках опоки, мм

Масса отливки, кг	Минимально допустимая толщина слоя, мм				
	от стенки опоки до модели	между моделями*	между моделью и шлакоуловителем	от верха модели до верха опоки	от низа модели до низа опоки
До 5	20	30	30	4	50
6–10	30	40	30	50	60
11–25	40	50	30	60	70
26–50	50	60	40	70	90
51–100	60	70	50	90	100
101–250	70	100	60	100	120
251–500	8-	–	70	120	150
501–1000	90	–	120	150	200
1001–2000	100	–	150	200	250
2001–3000	125	–	200	250	300
3001–4000	150	–	225	275	350
4001–5000	175	–	250	300	370
5001–10000	200	–	250	350	400
Более 10000	250	–	250	400	450

Полученные данные позволяют определить минимальные размеры опок, которые окончательно уточняют по ГОСТ 2133-75. На практике рассматривается несколько типоразмеров опок и выбирается размер опоки, в которой содержится минимальное количество формовочной смеси, затраченной на единицу массы получаемых отливок.

При разработке технологии на конкретную автоматическую линию применяются размеры опок, используемые на данной линии.

Продолжительность заливки формы ( $\tau$ ) определяют по формулам, полученным в результате обобщения опыта работы различных литейных цехов. Для сложных по конфигурации тонкостенных отливок массой до 500 кг время заливки рекомендуется определять по формуле:

$$\tau = S\sqrt{G}, \tag{2}$$

где  $S$  – коэффициент, зависящий от толщины стенки отливки; при толщине стенок 2,5–3,5; 3,5–6,0 и 8–15 мм соответственно равен 1,66, 1,85 и 2,2.

Для средних и крупных отливок

$$\tau = S\sqrt[3]{G\delta}, \tag{3}$$

где  $\delta$  – преобладающая толщина стенки отливки; при  $\delta$  до 10; 10–20; 20–40; 40 мм и более коэффициент  $S$  соответственно равен 1,0; 1,35; 1,50; 1,70.

Расчетный статический напор  $H_p$  зависит от типа литниковой системы, положения отливки в форме, способа заливки и других факторов и рассчитывают из соотношения:

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2C}, \tag{4}$$

где  $H_0$  – высота стояка от уровня металла в литниковой воронке или чаше до места подвода металла в форму, м;  $P$  – расстояние от верхней точки отливки до уровня подвода расплава в форму, м;  $C$  – высота отливки в форме, с.

Для сифонной литниковой системы (рис. 1, а), когда  $P = C$ ,  $H_p = H_0 - C/2$ . При подводе металла сверху (рис. 1, б)  $P = 0$ ,  $H_p = H_0$ . В случае симметричного расположения отливки относительно плоскости разъема и подвода металла в ней (рис. 1, в)  $P = C/2$ ,  $H_p = H_0 - C/8$ .

Значение коэффициента расхода литниковой системы ( $\mu$ ) определяют по справочным таблицам.

Для чугуна при заливке в сырую форму применяют  $\mu = 0,35-0,50$ ; в сухую –  $0,41-0,60$ ; для стали соответственно  $0,25-0,42$  и  $0,30-0,50$ .

Площади сечений других элементов литниковой системы для отливки из серого чугуна рассчитывают из соотношений:

$$F_{\text{п}}:F_{\text{шл}}:F_{\text{ст}} = 1:1,2:1,4, \quad (5)$$

где  $F_{\text{шл}}$  – площадь сечения шлакоуловителя;  $F_{\text{ст}}$  – площадь сечения стояка в самом узком месте.

Зная площади сечений основных элементов литниковой системы, можно определить остальные их размеры.

Питатели и шлакоуловители имеют, как правило, трапециевидальное поперечное сечение, площадь которого определяют по формуле:

$$F_{\text{п(шл)}} = \frac{a+b}{2} \cdot h_{\text{п(шл)}}, \quad (6)$$

где  $a, b$  – соответственно большее и меньшее основание трапеции, м;  $h_{\text{п(шл)}}$  – высота питателя (шлакоуловителя), м.

Размеры питателя при расчете зависят от места присоединения его к отливке. В случае присоединения питателя к прибыли отливки принимаются следующие соотношения его размеров:  $b = 0,7a$ ,  $h_{\text{п}} = 1,25a$ . Подставив их в формулу (6), получим размер большего основания

$$a = \sqrt{1,07F_{\text{п}}}. \quad (7)$$

В случае присоединения питателя непосредственно к отливке высота его должна быть на 3–5 мм меньше толщины стенки, к которой он присоединен, но не менее  $h_{\text{п min}}$ .

Минимальную высоту питателя для чугунных отливок определяют по эмпирическому уравнению

$$h_{\text{п min}} = 3,5 - 0,01[T_{\text{зал min}} - (1670 - 124C_{\text{экр}}) - 100], \quad (8)$$

где  $T_{\text{зал min}}$  – минимальная температура заливки, К;  $C_{\text{экр}}$  – углеродный эквивалент.

Углеродный эквивалент зависит от положения чугуна относительно эвтектичной точки на диаграмме железо-углерод и может быть определен из выражения

$$C_{\text{экр}} = C_{\text{общ}} + 0,3(\text{Si} + \text{P}), \quad (9)$$

где  $C_{\text{общ}}$  – содержание углерода в чугуне; Si, P – содержание в чугуне кремния и фосфора.

Значение углеродного эквивалента ( $C_{\text{экр}}$ ) для серых чугунов марок СЧ15; СЧ20; СЧ25 принимают соответственно 4,25; 4,1; 3,85, для высокопрочных чугунов ВЧ45, ВЧ50 – соответственно 3,9; 3,8, для ковких чугунов КЧ30-6; КЧ45-6 – соответственно 3,1; 3,0.

Длина питателя выбирается в зависимости от конструкции литниковой системы, массы отливки, минимально допустимой толщины слоя смеси между моделью и шлакоуловителем и берется по возможности минимальной.

В случае подвода расплава к отливке несколькими питателями рассчитанная площадь сечения питателя ( $F_{\text{п}}$ ) является суммарной.

Для определения размеров сечения шлакоуловителя применяются такие же соотношения, как и для питателей, присоединенных к прибыли отливки. Поскольку для освобождения от неметаллических включений расплав должен пройти внутри шлакоуловителя определенное расстояние, его длину до питателя ( $l_{\text{шл}}$ ) рассчитывают по формуле:

$$l_{\text{шл}} = 1,2h_{\text{шл}} \frac{v_{\text{шл}}}{v_{\text{в}}}, \quad (10)$$

где  $h_{\text{шл}}$  – высота сечения шлакоуловителя, м;  $v_{\text{шл}}$  – скорость сплава в шлакоуловителе, м/с;  $v_{\text{в}}$  – скорость всплытия частицы, м/с.

Скорость всплытия частиц  $v_{\text{в}}$  находят из формулы:

$$v_{\text{в}} = 2 \sqrt{\frac{d_{\text{шл}}}{3} \frac{\rho_{\text{Ме}} - \rho_{\text{шл}}}{\rho_{\text{Ме}}}} \cdot g, \quad (11)$$

где  $d_{\text{шл}}$  – диаметр частицы (~0,002 м);  $\rho_{\text{Ме}}, \rho_{\text{шл}}$  – плотность соответственно расплава и неметаллической частицы (~4500 кг/м<sup>3</sup>), кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с.

Скорость расплава в шлакоуловителе рассчитывают по формуле:

$$v_{\text{шл}} = \frac{G_{\text{ж}}}{\tau \rho_{\text{Ме}} F_{\text{шл}}}, \quad (12)$$

где  $G_{\text{ж}}$  – масса жидкого металла в форме, кг;  $\tau$  – продолжительность заливки, с;  $F_{\text{шл}}$  – площадь поперечного сечения шлакоуловителя, м<sup>2</sup>.

Если через шлакоуловитель расплав подводится к нескольким отливкам, то площадь его поперечного сечения  $F_{\text{шл}}$  умножается на количество отливок. При большой длине шлакоуловителя его делают ступенчатым, уменьшая площадь после прохождения очередного питателя.

Диаметр стояка  $d_{\text{ст}}$  в самом узком месте определяют из выражения:

$$d_{\text{ст}} = 2 \sqrt{F_{\text{ст}} \frac{n}{\pi}}, \quad (13)$$

где  $n$  – количество отливок в форме, шт.

По найденному значению  $d_{\text{ст}}$  вычисляют верхний диаметр стояка ( $d_{\text{ст.в}}$ ), для расширяющегося стояка (машинная формовка)  $d_{\text{ст}} = d_{\text{ст.в}}$ , а для сужающегося (ручная формовка)  $d_{\text{ст.в}} = d_{\text{ст}} + 2h_{\text{укл}}$ , где  $h_{\text{укл}}$  – основание уклона, определяемого по ГОСТ 3212-92.



ковой системы, которая будет состоять из трех шлакоуловителей, шести питателей, стояка с литниковой воронкой и определяем их размеры. Длина шлакоуловителей, располагающихся между моделями, будет равна 352 мм, а между шлакоуловителями – 306 мм.

По формуле (3) определяем время заливки

$$\tau = 2,2\sqrt{1,0 \cdot 12} = 7,6 \text{ с.}$$

Определяем статический напор  $H_p$ , для чего находим  $H_0$ , которое будет равно высоте верхней опоки, равной 250 мм, высоту отливки  $C = 34,4$  мм и расстояние от места подвода металла до верха отливки  $P = 12,2$  мм:

$$250 - \frac{12,2^2}{2 \cdot 34,4} = 248 \text{ мм.}$$

Выбираем значение коэффициента  $\mu$ , которое для чугуна при заливке в сырую форму для выбранной литниковой системы составляет 0,4.

По формуле (1) рассчитываем площадь сечения питателя ( $F_{\text{п}}$ ):

$$\sum F_{\text{п}} = \frac{12}{7000 \cdot 7,6 \cdot 0,4 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,248}} = 0,00026 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{п}} = \frac{0,00026}{12} = 0,000021 \text{ м}^2.$$

Определяем площади сечения шлакоуловителей и стояка для одной отливки из соотношения (5):

$$F_{\text{шл}} = 0,000021 \cdot 1,2 = 0,000025 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{ст}} = 0,000021 \cdot 1,4 = 0,000029 \text{ м}^2.$$

Находим массу питателей и шлакоуловителей:

$$G_{\text{п}} = 0,000021 \cdot 0,90 \cdot 7000 \cdot 6 = 0,08 \text{ кг,}$$

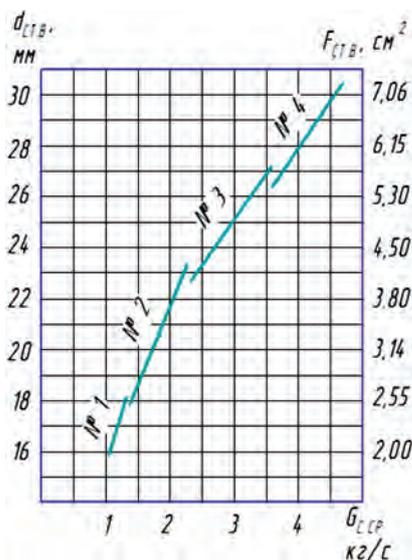


Рис. 3. Определение номера литниковой воронки

$$G_{\text{шл}}^1 = 0,000025 \cdot 6 \cdot 0,306 \cdot 7000 = 0,32 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{шл}}^2 = 0,000025 \cdot 4 \cdot 0,352 \cdot 7000 = 0,25 \text{ кг.}$$

Для определения массы стояка находим его площадь сечения и диаметр в верхней части:

$$d_{\text{ст.в.}} = 2\sqrt{0,000029 \frac{12}{3,14}} = 0,02 \text{ м} = 20 \text{ мм.}$$

По номограмме рис. 3 определяем номер литниковой воронки № 2, а по табл. 2 – ее размеры:  $d_{\text{ст.в.}} = 23$  мм,  $h_r = D = 3 \cdot 23 = 69$  мм. Высота стояка  $H_{\text{ст}} = 250 - 69 = 181$  мм.

Таблица 2. Определение размеров литниковой воронки

$D = (2,7-3)h_{\text{ст.в.}}$	Номер воронки	$G_{\text{с.нач.}}$	$D = h_r$	$d_{\text{ст.в.}}$
	1	до 1,5	50	18
	2	1,5–2,5	60	23
	3	2,5–3,5	75	27
	4	3,5–5,0	90	30

По ГОСТ 3212-92 [3] определяем величину уклона – 1,45 мм и нижний диаметр стояка  $d_{\text{н}} = 23 + 2,9 = 26$  мм.

Определяем массу стояка и литниковой воронки:

$$G_{\text{ст}} = \frac{3,14 \cdot 0,023^2 + 3,14 \cdot 0,026^2}{8} \times$$

$$\times 0,181 \cdot 7000 = 0,59 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{л.в.}} = \frac{3,14 \cdot 0,023^2 + 3,14 \cdot 0,069^2}{8} \times$$

$$\times 0,069 \cdot 7000 = 1,0 \text{ кг.}$$

Таким образом, масса литниковой системы будет равна:

$$G_{\text{л.с.}} = 0,08 + 0,32 + 2 \cdot 0,25 + 0,59 + 1,0 = 2,49 \text{ кг.}$$

Определяя массу литниковой системы по формуле (2), уточняем время заливки, а по формуле (1) – площадь сечения питателя:

$$\tau' = 2,2 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 12 + 2,49} = 8,4 \text{ с,}$$

$$\sum F_{\text{п}}' = \frac{12 + 2,49}{7000 \cdot 8,4 \cdot 0,4 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,248}} = 0,00028 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{п}}' = \frac{0,00028}{12} = 0,000023 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{шл}}' = 0,000023 \cdot 1,2 = 0,000027 \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{ст}}' = 0,000023 \cdot 1,4 = 0,000032 \text{ м}^2,$$

$$G_{\text{п}}' = 0,000023 \cdot 0,090 \cdot 7000 \cdot 6 = 0,087 \text{ кг,}$$

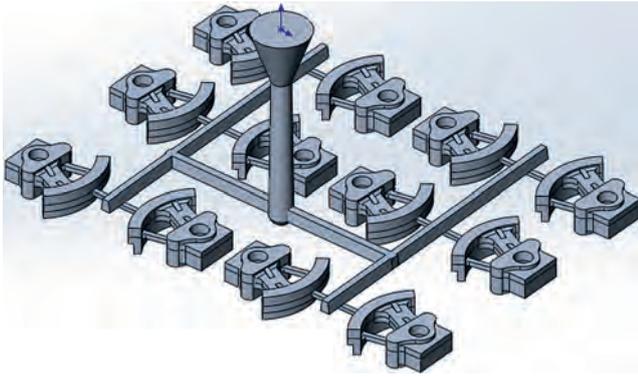


Рис. 4. 3D-модель отливок с литниково-питающей системой

$$G_{\text{шл}}^1 = 0,000027 \cdot 6 \cdot 0,306 \cdot 7000 = 0,35 \text{ кг,}$$

$$G_{\text{шл}}^2 = 0,000027 \cdot 4 \cdot 0,352 \cdot 7000 = 0,27 \text{ кг,}$$

$$d_{\text{ст.в.}} = 2 \sqrt{0,000032 \cdot \frac{12}{3,14}} = 0,022 \text{ м} = 22 \text{ мм.}$$

Номер литниковой воронки не изменился, так как  $d_{\text{ст.в.}} = 23$  мм, следовательно, не изменилась и масса стойка и литниковой воронки:

$$G'_{\text{л.с.}} = 0,087 + 0,35 + 2 \cdot 0,27 + 0,59 + 1,00 = 2,57 \text{ кг.}$$

Определяем минимальную длину шлакоуловителя по формуле (10), при которой шлаковые частицы всплывут в верхнюю часть шлакоуловителя.

Скорость расплава в шлакоуловителе определяем по формуле (11):

$$\sigma_{\text{шл.}} = \frac{12 + 2,57}{8,4 \cdot 7000 \cdot 0,00016 \cdot 6} = 1,55 \text{ м/с.}$$

Скорость всплытия шлака по формуле (11)  $d_{\text{шл.}} = 0,002$  м и  $\rho_{\text{шл.}} = 4500$  кг/м<sup>3</sup>:

$$\sigma_{\text{в.}} = \sqrt{\frac{0,002}{3} \cdot \frac{7000 - 4500}{7000}} \cdot 9,8 = 0,29 \text{ м/с,}$$

$$l_{\text{шл.}} = 1,2 \cdot 0,014 \cdot \frac{1,55}{0,29} = 0,089 \text{ м} = 89 \text{ мм.}$$

В соответствии с конструкцией литниковой системы длина шлакоуловителя от стойка до шлакоуловителя составляет  $306:2 = 153$  мм, поэтому возможность образования шлаковых включений по вине литниковой системы отсутствует.

Найдем минимальную высоту питателя по формуле (8) при  $T_{\text{зал.}} = 1340$  °С:

$$h_{\text{п min}} = 3,5 - 0,01 \times \\ \times [(1340 - 273) - (1670 - 124 \cdot 4,1) - 100] = 5,5 \text{ мм.}$$

Принимаем высоту питателя 5,5 мм.

С целью анализа эффективности разработанной литниково-питающей системы в работе было выполнено моделирование литейных процессов получения отливки «Сектор».

На основании полученных расчетов с использованием пакета Solid Works была создана 3-мерная модель отливки с литниково-питающей системой (рис. 4).

Генерацию конечно-элементной сетки выполняли с использованием пакета ProCAST [4], модуль MeshCAST. Сам процесс заключался в подборе оптимальных параметров элементарных объемов. Моделирование литейных процессов проводили с использованием пакета ESI ProCast, который позволяет моделировать следующие процессы: тепловые процессы при затвердевании, образование усадочных раковин и макро- и микропористости, гидродинамические процессы при заливке. Кроме того, формирование и расчет любых «критериев качества» для прогноза структуры, пригара, размыва формы, механических свойств, напряжений, трещин и др. Базовые модели (затвердевание, усадка и др.), опираясь на реальную физику процессов, максимально универсальны по сплавам и способам литья. В программном пакете ProCast моделирование ведется на базе метода конечных элементов (МКЭ), который позволяет использовать наиболее адекватные физические и геометрические модели. Работа с сеткой построена по модульному принципу: предпроцессорные модули предназначены для задания начальных и граничных условий и подготовки геометрических моделей к проведению расчетов литейных процессов, в которых непосредственно выполняются расчетные операции, обработка и анализ результатов моделирования.

Подготовку файлов, описывающих начальные и граничные условия, проводили с использованием модулей «PreCAST» и «ProCAST». Модуль «PreCAST» является препроцессорным модулем системы автоматизированного моделирования «ProCAST». Программа предназначена для подготовки всех негеометрических данных для численных расчетов в процессорных модулях типа «Fraction Solid» и «Flow». Одна из важнейших функций программы – подготовка файлов со свойствами сплавов и материалов. Модуль «PreCAST» позволяет синтезировать теплофизические свойства железоуглеродистых и цветных сплавов по задаваемому химическому составу. Начальные и граничные условия, использованные при моделировании литейных процессов технологии изготовления отливки «Сектор», приведены в табл. 3–5, результаты моделирования – на рис. 5.



Рис. 5. Результаты моделирования

Таблица 3. Теплофизические свойства литейной формы

Материал литейной формы	Теплоемкость $c$ , КДж/( $m^3 \cdot C$ )	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/( $m \cdot C$ )
Сырые песчано-глинистые смеси (литье в землю)	700	26–27

Таблица 4. Теплофизические свойства чугуна СЧ20

Плотность $\rho$ , $кг/м^3$	Удельная теплоемкость $c$ , Дж/( $кг \cdot C$ )	Теплопроводность $\lambda$ , Вт/( $m \cdot C$ )	$T_{лик}$ , $^{\circ}C$	$T_{сол}$ , $^{\circ}C$
7100	3,3–3,5	54	1180	1080

Таблица 5. Начальные условия

Температура заливки $T_c$ , $^{\circ}C$	Температура литейной формы $T_f$ , $^{\circ}C$	Линейная скорость заливки $v$ , м/с	Коэффициент теплоотдачи между отливкой и формой, Вт/( $m^2 \cdot c$ )
1340	20	0,3	500

В результате моделирования установлено, что время затвердевания до температуры  $T_{сол}$  составляет 53 с. Анализ усадочных дефектов в программе ProCAST показал (рис. 5), что усадочные раковины образуются в теле отливки, глубина усадки 5–7 мм, а вероятность образования более 80%. Таким образом, разработанная на первом этапе конструкция литниковой системы не позволяет изготавливать годные отливки для детали «Сектор».

Для устранения выявленных недостатков необходимо предусмотреть в конструкции ЛПС уста-

новку питающих бобышек. Для этого с учетом объема образующейся усадочной раковины и необходимого объема питаемого узла следует выполнить расчет геометрических размеров (определить форму и объем питающей бобышки), обеспечивающий изготовление бездефектной отливки. Также необходимо с учетом предусмотренных питающих бобышек выполнить повторный расчет ЛПС.

Так как выбранному материалу СЧ20 (ГОСТ 1412-85) отливки «Сектор» свойственна объемная усадка в размере 1,2% и по результатам моделирования были выявлены усадочные дефекты, то расчет начинаем с узла питания и прибыли отливки.

Диаметр питающей бобышки можно определить по номограмме, учитывающей массу и толщину стенки отливки (рис. 5.25 [1, с. 329]), а площадь шейки – по таблице 5.11 [1, с. 330].

Из номограммы диаметр питающей бобышки  $D_6 = 66$  мм. Значение площади сечения шейки бобышек  $S_{ш} = 7$  см<sup>2</sup>.

После установки питающих прибылей изменилась масса литниково-питающей системы. Определив массу питающих прибылей по формуле (3), уточняем время заливки, а по формуле (1) – площадь сечения питателя:

$$\tau' = 2,2 \sqrt{1,0 \cdot 12 + 2,49 + 0,7 \cdot 6} = 9,5 \text{ с,}$$

$$\sum F'_n = \frac{12 + 2,49 + 4,2}{7000 \cdot 9,5 \cdot 0,4 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,248}} = 0,00032 \text{ м}^2,$$

$$F'_n = \frac{0,00032}{12} = 0,000026 \text{ м}^2,$$

$$F'_{шл} = 0,000026 \cdot 1,2 = 0,000031 \text{ м}^2,$$

$$F'_{ст} = 0,000026 \cdot 1,4 = 0,000036 \text{ м}^2,$$

$$G'_n = 0,000026 \cdot 0,090 \cdot 7000 \cdot 6 = 0,098 \text{ кг},$$

$$G'_{шл} = 0,000031 \cdot 6 \cdot 0,306 \cdot 7000 = 0,4 \text{ кг},$$

$$G'_{шл}{}^2 = 0,000031 \cdot 4 \cdot 0,352 \cdot 7000 = 0,31 \text{ кг},$$

$$d_{ст.в.} = 2 \sqrt{0,000036 \cdot \frac{12}{3,14}} = 0,023 \text{ м} = 23 \text{ мм}.$$

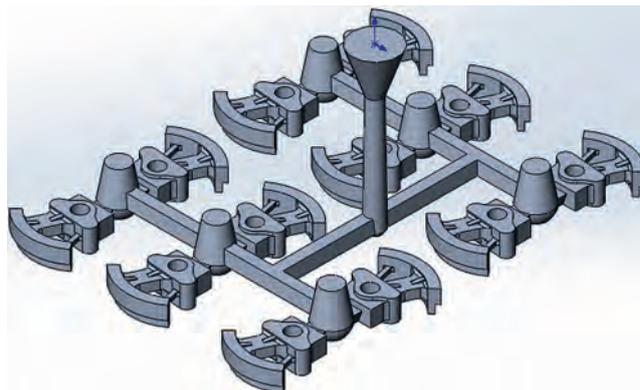


Рис. 6. Модель отливки с литниково-питающей системой

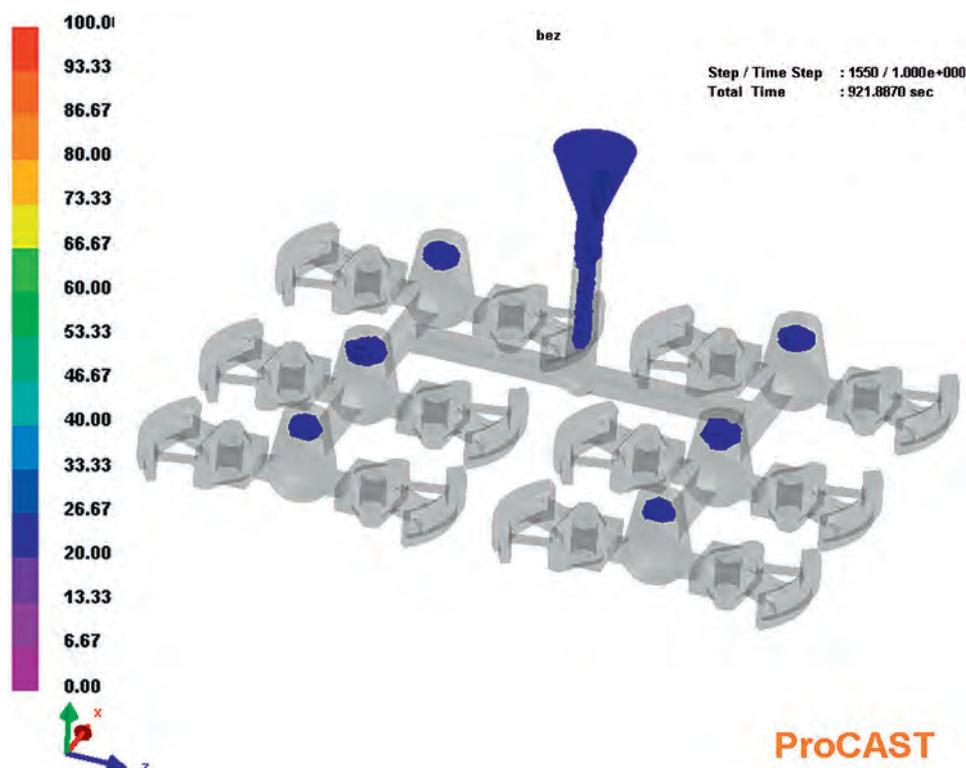


Рис. 7. Результаты моделирования

Номер литниковой воронки не изменился, так как  $d_{ст.в.} = 23 \text{ мм}$ , следовательно, не изменилась и масса стояка и литниковой воронки:

$$G'_{л.с.} = 0,087 + 0,35 + 2 \cdot 0,27 + 0,59 + 1,00 = 2,57 \text{ кг}.$$

Далее повторно проверяем эффективность разработанной литниковой системы путем моделирования литейных процессов.

В программе Solid Works создаем 3-мерную модель отливки с литниково-питающей системой (с питающими бобышками) (рис. 6).

Результаты повторного моделирования (рис. 7) технологии изготовления отливки «Сектор» с новой литниковой системой с питающими бобышками позволили установить, что образующиеся усадочные дефекты располагаются в стояке и питающих бобышках.

Таким образом, путем уточненного расчета литниковой системы и последующего ее моделирования можно получать качественные отливки без усадочных дефектов.

### Литература

1. Кукуй Д. М., Скворцов В. А. Теория и технология литейного производства. Мн., 2011.
2. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.
3. ГОСТ 3212-92. Комплекты модельные. Уклоны формовочные, стержневые знаки, допуски размеров.
4. Справочная система «ProCAST».