

РАСЧЕТ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФАСОННЫХ ОТЛИВОК ПРИ ВРАЩЕНИИ ФОРМЫ ВОКРУГ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Е.В. Широков, В.А. Красичков, О.Ю. Курдюмов

Показана необходимость использования каналов литниковой системы при получении сложнопрофильных отливок в условиях вращения формы вокруг горизонтальной оси. Рассматривается наиболее простая конструкция вращающейся литниковой системы, состоящая из двух каналов: центрального металлоприёмника и питателя. Отмечается, что эффективность работы такой литниковой системы возможна при выполнении ряда условий, основными из которых являются обеспечение непрерывного поступления расплава в рабочую полость формы и организация соответствия между конструктивными особенностями каналов литниковой системы и характером движения жидкого металла по этим каналам. Приведены необходимые для расчета литниковой системы исходные параметры процесса заполнения формы. Показана достаточно сложная взаимозависимость между технологическими параметрами и последовательность их расчета, отправной точкой которого является оптимальное время заполнения рабочей полости формы. Отмечается возможность проведения необходимых проверок и корректировок геометрических параметров каналов литниковой системы и других технологических параметров. Учитывая трудоёмкость процедуры расчёта и итерационный характер определения ряда параметров литниковой системы алгоритм, реализующий данную методику, было решено реализовать на ПК с помощью VBA MS Excel.

Ключевые слова: центробежный способ литья, получение фасонных отливок, литниковая система вращающейся формы, горизонтальная ось вращения, течение расплава в каналах литниковой системы, соотношение технологических параметров, расчет каналов литниковой системы, корректировки в расчете, блок-схема, работа с программой.

Основным преимуществом изготовления фасонных отливок центробежным способом является силовое воздействие центробежного поля на каждую частицу расплава в процессе заполнения рабочей полости формы и в процессе формирования самой отливки. Реализовать это преимущество в производстве возможно только в том случае, если при разработке технологического процесса будут учтены все его особенности. В том числе и особенности

функционирования литниковой системы, которые определяют подходы к ее конструированию и расчету.

При заполнении форм вращающихся вокруг горизонтальной оси, как правило, применяется простая и достаточно эффективная схема заполнения [1], состоящая из стационарного заливочного приспособления, а также вращающихся металлоприемника, питателей и самой рабочей полости формы (рисунок 1).

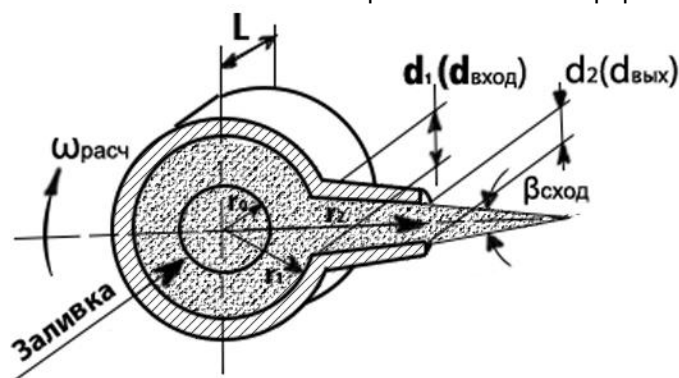


Рисунок 1 – Схематичное изображение вращающегося металлоприемника с питателем

РАСЧЕТ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФАСОННЫХ ОТЛИВОК ПРИ ВРАЩЕНИИ ФОРМЫ ВОКРУГ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Для нормального срабатывания схемы заполнения необходимо выполнить два основных условия:

- создать в металлоприемнике кольцевой вращающийся слой жидкого металла достаточной толщины с целью обеспечения непрерывной подачи металла в рабочую полость (рабочие полости), заполнения полости за оптимальное время, рафинирование металла от неметаллических включений;
- организовать необходимое соответствие между конструкцией литниковых каналов и характером движения жидкого металла, которое позволяет создать положительное давление в каналах литниковой системы, устранить в них явление инжекции и окисления металла, а также уменьшить турбулентность потока расплава.

Анализ выполнения этих двух условий приводится в материалах работы [2]. На основе изложенных материалов проектирование и расчет литниковых систем при горизонтальном вращении (вращение вокруг горизонтальной оси) можно свести к следующему.

1. Назначение исходных параметров процесса заполнения формы:

- кинематическая вязкость расплава при температуре заливки ν , м²/с;
- расстояние от оси вращения формы до поверхности расплава с нулевым избыточным давлением (свободная поверхность) r_0 , м;
- расстояние от оси вращения формы до входного отверстия каналов питателей r_1 , м;
- расстояние от оси вращения формы до выходного отверстия каналов питателей r_2 , м;
- протяженность металлоприемника L , м;
- диаметр входного отверстия каналов питателей d_1 , м;
- объём отливок $V_{отл}$, м³;
- масса отливок $M_{отл}$, кг;

2. Определение (возможно задание) оптимального времени заполнения рабочих полостей вращающейся формы [3] $T_{опт}$, с;

Оптимальное время складывается из времени заполнения металлоприемника и времени работы литниковой системы с полностью заполненным металлоприемником $T_{опт} = T_{зап} + T_{рл}$

3. Определение времени заполнения металлоприемника до заданного уровня

свободной поверхности r_0 в металлоприемнике $T_{зап}$, с;

Допускается [3] $T_{зап} \leq 20\% T_{опт}$

4. Определение расчетной угловой скорости вращения изложницы в соответствии с заданным временем заполнения металлоприемника [4] $\omega_{расч}$, с⁻¹

$$\omega_{расч} = \frac{\sqrt{g} \cdot \sqrt[4]{\pi} \cdot \sqrt[4]{r_1^2 - r_0^2}}{\sqrt[4]{\nu \tau_{зап}} \cdot \sqrt{r_2}}$$

где g – ускорение силы тяжести равное 9,8 м/с²

5. Проведение проверки величины $\omega_{расч}$ на достаточность.

Проверка проводится сравнением с критической скоростью вращения формы [5], при которой слой расплава в металлоприемнике еще сохраняет кольцевую цилиндрическую форму

$$\omega_{кр} = \frac{\pi}{30} \cdot 9,6 \cdot \sqrt{\frac{g}{2r_0} \left(7 - \frac{r_0^2}{r_1^2} \right)} \text{ с}^{-1}$$

При сравнении должно выполняться условие $\omega_{расч} > \omega_{кр}$

6. Определение величины расхода жидкого металла через литниковую систему при сформировавшемся кольцевом слое в металлоприемнике с параметрами r_0 и r_1

$$Q_1 = \mu \cdot \nu_2 \cdot F_2 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $F_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$

здесь величина диаметра выходного отверстия d_2 определяется по формуле

$$d_2 = d_1 - 2(r_2 - r_1) \operatorname{tg}(0,5\beta_{сход}),$$

в которой

$$\beta_{сход} = \operatorname{arctg} \frac{d_1 \left(1 - \varepsilon_{цб} \sqrt[4]{\frac{r_1^2 - r_{0\max}^2}{r_2^2 - r_{0\max}^2}} \right)}{r_2 - r_1} \quad [6];$$

$$r_{0\max} = (r_1 - 0,005) \text{ м}, \quad \varepsilon_{цб} = 0,98;$$

$$\nu_2 = \omega_{расч} \sqrt{r_2^2 - r_0^2} \quad [7];$$

$$\mu = 83 \cdot 10^7 \cdot \operatorname{Re}^{-1,861} \cdot d_1^{-0,083} \cdot \left(\frac{r_2 - r_1}{d_2} \right)^{-0,088} \quad [8]$$

здесь $\operatorname{Re} = \frac{\nu_2 d_2}{\nu}$

Окончательно формула имеет вид:

$$Q_1 = 83 \cdot 10^7 \cdot \text{Re}^{-1,861} \cdot d_1^{-0,083} \cdot \left(\frac{r_2 - r_1}{d_2} \right)^{-0,088} \cdot \omega_{\text{расч}} \sqrt{r_2^2 - r_0^2} \cdot 0,25\pi \times$$

$$\times \left\{ d_1^2 - 4d_1(r_2 - r_1) \text{tg} \left[0,5 \text{arctg} \frac{d_1 \left(1 - \varepsilon_{\text{цб}} \sqrt[4]{\frac{r_1^2 - r_{0\text{max}}^2}{r_2^2 - r_{0\text{max}}^2}} \right)}{r_2 - r_1} \right] + 4(r_2 - r_1)^2 \text{tg}^2 \left[0,5 \text{arctg} \frac{d_1 \left(1 - \varepsilon_{\text{цб}} \sqrt[4]{\frac{r_1^2 - r_{0\text{max}}^2}{r_2^2 - r_{0\text{max}}^2}} \right)}{r_2 - r_1} \right] \right\}$$

7. Проведение корректировки величины диаметра выходного отверстия канала питателя d_2 в сторону увеличения в том случае, если его расчетное значение на предыдущем этапе оказалось менее 0,005м. Корректировку следует проводить увеличением диаметра входного отверстия канала питателя d_1 . После корректировки d_2 необходимо уточнить значение Q_1 .

8. Определение величины расхода жидкого металла из заливного приспособления Q_2 для обеспечения качественного заполнения вращающейся формы путем создания в металлоприемнике устойчиво вращающегося слоя расплава с толщиной, обеспечивающей непрерывное поступление жидкого металла во входное отверстие канала питателя. Определение проводится с использованием формулы

$$\tau_{\text{зан}} = \frac{2\pi \cdot L}{(\mu \cdot \omega_{\text{расч}} \cdot F_2)^2} \cdot Q_2 \cdot \ln \frac{Q_2 - \mu \cdot \omega_{\text{расч}} \cdot F_2 \cdot \sqrt{r_2^2 - r_1^2}}{Q_2 - \mu \cdot \omega_{\text{расч}} \cdot F_2 \cdot \sqrt{r_2^2 - r_0^2}} - \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\mu \cdot \omega_{\text{расч}} \cdot F_2} \left(\sqrt{r_2^2 - r_0^2} - \sqrt{r_2^2 - r_1^2} \right)$$

Для проведения корректировки величины расхода Q_2 в сторону уменьшения или увеличения необходимо учитывать, что зависимость расхода Q_2 от времени заполнения $\tau_{\text{зан}}$ носит гиперболический характер. При резком увеличении расхода время заполнения металлоприемника уменьшается незначительно, а при уменьшении расхода резко увеличивается период заполнения металлоприемника, что

снижает эффективность работы литниковой системы.

9. Для предотвращения переполнения металлоприемника жидким металлом необходимо определить безопасную величину диаметра заливочного отверстия в металлоприемнике d_0 .

Определение проводится с использованием формулы

$$Q_2 = 83 \cdot 10^7 \cdot \text{Re}^{-1,861} \cdot d_1^{-0,083} \cdot \left(\frac{r_2 - r_1}{d_2} \right)^{-0,088} \cdot \sqrt[4]{\frac{\pi g^2}{\nu \tau_{\text{зан}}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{r_1^2}{r_{0\text{min}}^2} - 1} \cdot \sqrt{r_2^2 - r_{0\text{min}}^2} \cdot F_2,$$

где $r_{0\text{min}}$ – минимальное значение радиуса свободной поверхности расплава в металлоприемнике.

При определении должно выполняться условие

$$d_{0\text{ме}} < 2r_{0\text{min}}$$

P.S. Определение диаметра заливочного отверстия проводится из условия, что максимальный расход через вращающуюся литниковую систему Q_1 не может превысить значение притока металла из заливочного устройства Q_2 , а может только

асимптотически приближаться к нему. Такое приближение $Q_1 \approx Q_2$ при всех других постоянных параметрах литниковой системы может случиться только при уменьшении r_0 до своего минимально возможного значения. Следовательно, эту величину $r_{0\text{min}}$ можно определить по формуле для определения Q_1 с подстановкой Q_2 вместо Q_1 (см. этап №6).

Алгоритма вышеприведенной методики расчета параметров литниковой системы можно представить в виде блок-схемы показанной на рисунке 2. Учитывая

РАСЧЕТ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФАСОННЫХ ОТЛИВОК ПРИ ВРАЩЕНИИ ФОРМЫ ВОКРУГ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

трудоёмкость процедуры расчёта и итерационный характер определения ряда параметров литниковой системы алгоритм, реализующий данную методику, было решено реализовать на ПК с помощью VBA MS Excel (рисунок 3). Для повышения надежности программы в ней реализован ряд проверок исходных данных с выдачей соответствующих информационных сообщений (рисунок 4).

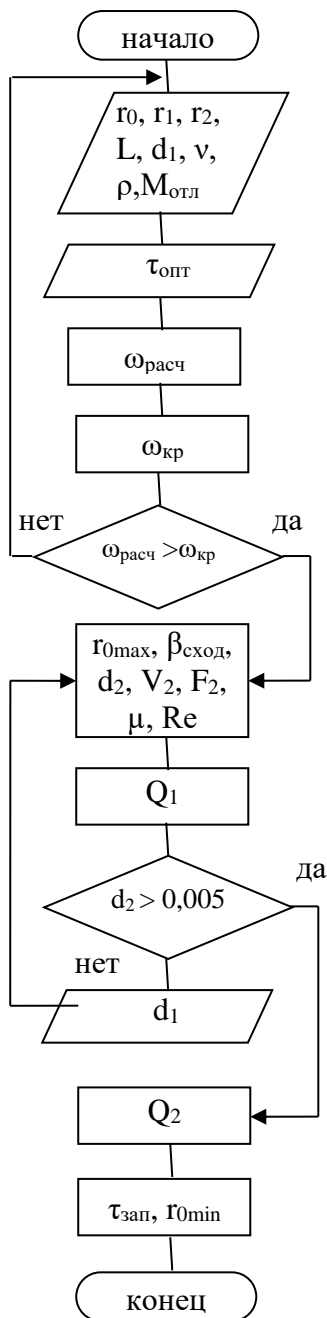


Рисунок 2 – Блок-схема расчета литниковой системы

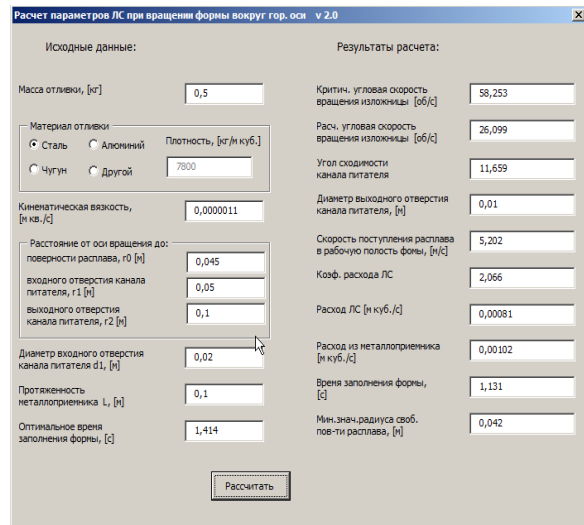


Рисунок 3 – Внешний вид программы расчета литниковой системы

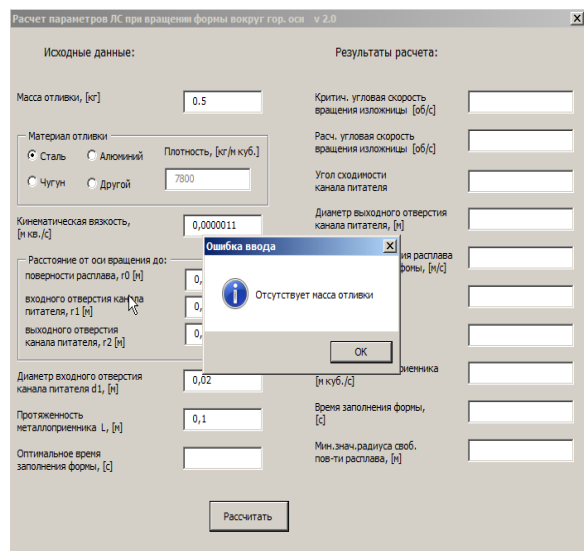


Рисунок 4 – Контроль исходных данных используемых в расчетах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поручиков Ю.П. Эффективность использования конических питателей при литье центрифугированием/Ю.П. Поручиков, Е.В. Широков, В.М. Милаев, Р.И. Силин//Прогрессивная техника и технология литейного производства: тез. докл. науч.-техн. конф. – Пенза, 1980. –С.27
2. Широков Е.В. Исследование и разработка литниковых систем для получения отливок при литье центрифугированием: дис. ... канд. техн. наук. Широков Е.В. – Новокузнецк: ГОУ ВПО СибГИУ, 2006. – 170с.
3. Галдин Н.М. Литниковые системы для отливок из лёгких сплавов /Н.М. Галдин. –М.: Машиностроение, 1978. – 197с.

4. Миляев В.М. Исследование гидродинамических процессов в жидкостях и сплавах в форме, вращающейся вокруг горизонтальной оси (применительно к центробежному способу литья): дис. ... канд. техн. наук. Миляев В.М.-Свердловск: УПИ, 1970.-161с.

5. Юдин С.Б. Центробежное литьё/С.Б. Юдин, М.М. Левин, С.Е. Розенфельд.-М.: Машиностроение, 1972.-280с.

6. Широков Е.В. Определение сходимости каналов литниковой системы при литье центрифугированием /Е.В.Широков// Тез. докл. на VI Международной научно-практической конференции: Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: - Барнаул, 2004.-С.13.

7. Широков Е.В. Об использовании уравнения Бернулли для описания процесса течения расплава во вращающемся литниковом канале/Е.В. Широков//Ползуновский альманах. – Барнаул: АлтГТУ, 2004.-№4.-С.30-33.

8. Широков Е.В. Определение коэффициента расхода вращающихся литниковых систем/Е.В. Широков, В.Г. Москалев//Тез. докл. на VII Международной научно-практической конференции: Проблемы и перспективы развития

литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств: -Барнаул, 2005.-С.13.

Широков Евгений Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. 8 (3852) 29-09-63.

Красичков Владимир Анатольевич – инженер кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. 8 (913)2150549.

Курдюмов Олег Юрьевич – магистрант кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. 8(923)6409215.