

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.74.041

В.А. Изотов, А.А. Акутин, Ю.С. Федулова

ПРАКТИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДОЖДЕВОЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева

Представлена методика расчета исполняемых размеров дождевой литниковой системы для отливок из алюминиевых сплавов, обеспечивающая отсутствие в отливке брака по «вторичному шлакообразованию» и «спай» на стадии заполнения полости литейной формы в условиях наложенных ограничений на заполняемость. Проведено практическое опробование разработанной методики расчета. Оценена возможность применения дождевого подвода для отливок из магниевых сплавов.

Ключевые слова: направленное затвердевание, дождевая литниковая система, «вторичное шлакообразование», «спай», методика расчета, минимально допустимая скорость заполнения, критическое значение силы удара струи, температура заливки.

Получение отливок из алюминиевых сплавов является очень сложной задачей, так как эти сплавы имеют высокое сродство к кислороду, малую удельную массу и высокую теплопроводность, сплавы эти относятся к группе А, то есть к сплавам, которые имеют склонность к образованию браков типа «спай», «вторичное шлакообразование», «рыхлота» (в зоне образующегося «проточного течения»). Для получения алюминиевых отливок, в основном, используются литниковые системы типа: сифонной, ярусной, вертикально-щелевой, что не всегда позволяет получать годные корпусные тонкостенные отливки. Это связано с тем, что часть отливки становится литниковой системой для более удаленных частей, что приводит к различным усадочным дефектам. Поэтому совершенствование подачи металла в полость формы без использования ее в роли литниковой системы является очень актуальной задачей. Перспективной для литья корпусных отливок из алюминиевых сплавов может стать дождевая литниковая система, которая нашла применение при получении отливок из чугуна. В тоже время принято, что верхний подвод металла для литья алюминиевых сплавов применять и исследовать нельзя, и проведенный анализ показывает, что надежные методики расчета дождевых литниковых систем для алюминиевых сплавов отсутствуют, хотя системы такого вида получили достаточно широкое распространение в практике литья благодаря ряду преимуществ. Во-первых, подобные литниковые системы дают возможность обеспечить направленное заполнение и затвердевание отливок, что позволяет получать годные отливки, во-вторых, они обеспечивают достаточно высокий коэффициент использования металла. Однако, как показали теоретические исследования, методик проектирования таких литниковых систем не существует. Поэтому проблема разработки и проектирования дождевой литниковой системы для отливок из алюминиевых сплавов с учетом выбора оптимальных размеров, параметров заливки и условий заполнения полости форм расплавом, обеспечивающих необходимое качество отливок, является весьма актуальной.

Исследования, проведенные ранее авторами [1–3], позволили изучить характер течения сплава в дождевой литниковой системе, установить факторы, влияющие на возникно-

вание в отливке дефектов «вторичное шлакообразование», «спай», «неслитина» на стадии заполнения полости литейной формы и наложить ограничения на заполняемость, обеспечивая при этом отсутствие образования данных видов брака. На основании проведенных экспериментальных и теоретических исследований разработана методика расчета исполняемых размеров дождевой литниковой системы для отливок из алюминиевых сплавов, которая заключается в следующем:

1) принимаются начальные условия: толщина стенки отливки δ , напор H , высота падения расплава в полости литейной формы h ;

2) определение максимально возможного диаметра струи $d_{\text{отв.макс}}$, м:

$$d_{\text{отв.макс}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{N_{\text{кр}}}{2 \cdot \rho \cdot \pi \cdot g \cdot \mu \cdot \sqrt{H(\mu^2 H + h)}}}, \quad (1)$$

где ρ – плотность расплава, кг/м³; μ – коэффициент расхода литниковой системы, $\mu = 0,8$; H – напор металла, м. Рекомендуемый напор $H = 0,05 - 0,1$ м; h – высота падения металла, м; $N_{\text{кр}}$ – критическое значение величины силы удара струи расплава, $N_{\text{кр}} = 0,28$ Н.

Диаметр питателя принимается с учетом условия:

$$d_{\text{отв}} \leq \delta \quad (2)$$

$$d_{\text{отв}} \leq d_{\text{отв.макс}} \quad (3)$$

3) определение минимально допустимой скорости заполнения полости литейной формы расплавом $\omega_{\text{ф.мин}}$, м/с;

$$\omega_{\text{ф.мин}} = \left(\frac{b_{\text{ф}}}{b_{\text{м}}}\right)^{-3,21} \cdot \left(\frac{H}{l_{\text{ом}}}\right)^{-1,89} \cdot \left(\frac{\sigma \cdot v}{l_{\text{оф}}^2 \cdot \rho_{\text{м}} \cdot g \cdot h}\right)^{0,503} \quad (4)$$

где $b_{\text{ф}}$ и $b_{\text{м}}$ – теплоаккумулирующие способности формы и металла соответственно;

4) определение минимального количества питателей, обеспечивающих заполнение полости литейной формы:

$$n_{\text{мин}} = b_{\text{отл}} / 120 \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где $b_{\text{отл}}$ – длина стенки отливки, в которую подводятся «дождевые» питатели.

Количество питателей принимается с учетом условия:

$$n > n_{\text{мин}}, \quad (6)$$

5) определение расхода расплава через питатели:

$$Q_{\text{отв}} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (7)$$

Должно выполняться условие неразрывности потока:

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{отв}}; \quad (8)$$

6) определение скорости заполнения полости формы расплавом:

$$\omega_{\delta} = \frac{Q_{\delta}}{F_{\delta}}. \quad (9)$$

Должно выполняться условие:

$$\omega_{\text{ф}} \geq \omega_{\text{ф.мин}}. \quad (10)$$

Если оно не выполняется, то необходимо увеличить расход, приняв больше количество питателей.

7) определение длины «компактной» части струи расплава:

$$l = L \cdot d_{\text{отв}}, \quad (11)$$

$$L = 10,17 \cdot \text{Fr}^{0,16} \cdot \text{We}^{0,408}. \quad (12)$$

Должно выполняться условие:

$$l \geq h_{\text{отл}}. \quad (12)$$

Если условие (12) выполняется, то отливка заливается и обеспечиваются условия бездефектного заполнения с рассчитанными параметрами литья. Если условие (12) не выполняется, то необходимо увеличить диаметр отверстия, но при этом должны выполняться условия (2) и (3). Затем провести расчет повторно. Если условия (2) и (3) не выполняются, то бездефектное заполнение полости литейной формы невозможно и необходимо сменить вид литниковой системы;

6) из соотношения $\Sigma F_{\text{пит}} : \Sigma F_{\text{лк}} : \Sigma F_{\text{ст}} = 1 : 2 : 1$ (1 : 3 : 1) (условие замкнутости литниковой системы) рассчитываются геометрические размеры элементов литниковой системы.

7) определение коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·К):

$$\alpha = \frac{\text{Nu}_{\text{дж}} \cdot \lambda}{l_0}, \quad (13)$$

где λ – теплопроводность металла, Вт/м·К; $\text{Nu}_{\text{дж}}$ – критерий Нуссельта, характеризует отношение теплоотдачи в результате движения потока к передаче теплоты чистой теплопроводностью:

$$\text{Nu}_{\text{дж}} = 0,000017 \cdot \text{Re}_{\text{дж}}^{1,547}, \quad \text{Re}_{\text{дж}} \leq 80, \quad (14)$$

где $\text{Re}_{\text{дж}}$ – критерий Пекле, представляет собой среднюю меру отношения интенсивности переноса теплоты теплопроводностью:

$$\text{Re}_{\text{дж}} = \frac{\omega_{\text{ср}} \cdot l_0}{a}, \quad (15)$$

где a – коэффициент температуропроводности; $\omega_{\text{ср}}$ – средняя скорость падения струи расплава:

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_0 + \omega_1}{2} = \frac{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} + \sqrt{2 \cdot g \cdot (\mu^2 \cdot H + h)}}{2}; \quad (16)$$

8) определение температуры заливки расплава:

$$T_{\text{зал}} = \frac{\alpha \cdot T_{\text{пов}} \cdot \Delta\tau - 2 \cdot \Delta\tau \cdot \alpha \cdot T_{\text{окр}} + 2 \cdot c \cdot \rho \cdot l_0 \cdot T_{\text{пов}}}{(2 \cdot c \cdot \rho \cdot l_0 - \Delta\tau \cdot \alpha) \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^n \left(0,936 \left(\frac{\text{Re}_{\text{идж}} \cdot l_{0\text{илк}}}{L_{\text{илк}}} \right)^{-0,75} \right) \right)}, \quad (17)$$

где $T_{\text{пов}}$ – температура поверхности расплава, $T_{\text{пов}} = T_L + \Delta T_{\text{распл}}$, К; T_L – температура ликвудуса сплава, К; $\Delta T_{\text{распл}}$ – изменение температуры расплава, К; $\Delta T_{\text{распл}} = 30$ °С – значение получено экспериментально; $T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, К; $\Delta\tau$ – время падения металла, с:

$$\Delta\tau = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot g \cdot (\mu^2 \cdot H + h)}}; \quad (18)$$

c – теплоемкость металла, Дж/кг·К; $\Delta T_{\text{лс}}$ – потери теплоты металла при его течении в каналах литниковой системы, град:

$$\Delta T_{\text{лс}} = T_{\text{зал}} \cdot \sum_{i=1}^n \left(0,936 \left(\text{Re}_{\text{идж}} \cdot l_{0\text{илк}} / L_{\text{илк}} \right)^{-0,75} \right); \quad (19)$$

где $\text{Re}_{\text{идж}}$ – критерий Рейнольдса:

$$\text{Re}_{\text{идж}} = \frac{\omega_{\text{илк}} \cdot l_{0\text{илк}}}{\nu}, \quad (20)$$

где ν – кинематическая вязкость расплава, м²/с; $L_{\text{илк}}$ – длина литникового канала, м; $l_{0\text{илк}}$ – характерный размер элемента литниковой системы, м:

$$l_{0\text{илк}} = \frac{F_i}{P_i}, \quad (21)$$

где F_i – площадь сечения литникового канала, м²; P_i – периметр сечения литникового канала, м; n – количество литниковых каналов, в которых определяется охлаждение расплава.

По разработанной методике проведен расчет дождевой литниковой системы для отливки «Крышка» (рис. 1) из сплава АК12, массой 2,4 кг, габаритные размеры: 310×162×129 мм.

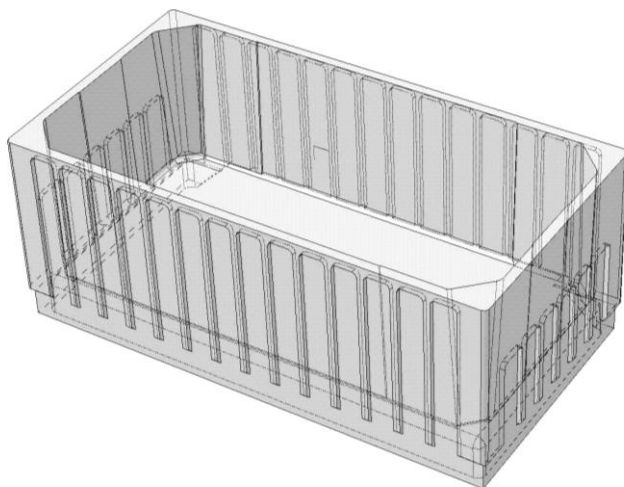


Рис. 1. 3D-модель отливки «Крышка»

Отливка крышка с дождевой литниковой системой представлена на рис. 2.

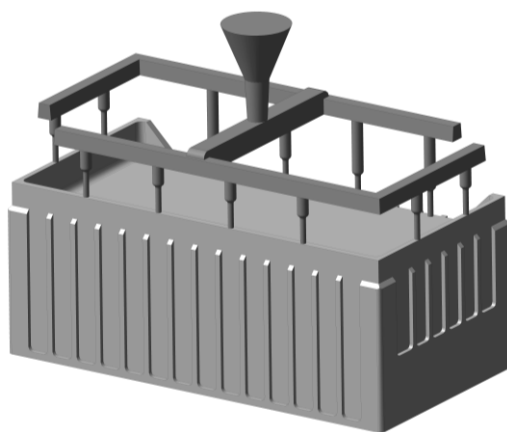


Рис. 2. Отливка с дождевым подводом расплава

Для подтверждения адекватности разработанной методике по рассчитанным исполняемым размерам дождевой литниковой системы получена экспериментальная отливка «Крышка». Залитая отливка с элементами литниковой системы представлена на рис. 3.

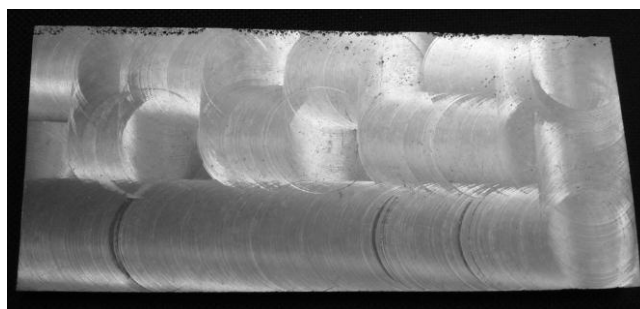


Рис. 3. Опытная отливка «Крышка» и макрошлиф боковой стенки опытной отливки

Для того, чтобы оценить загрязненность полости литейной формы изготовлен макрошлиф боковой стенки отливки с помощью фрезерования. Полученный образец показал наличие мелких пор в зоне технологического напуска на механическую обработку.

Проведена оценка возможности применения дождевой литниковой системы для магниевых сплавов. Для этого разработаны экспериментальные литейные формы для получения отливок типа «плита» с размерами 120x150x10 мм. Заливку проводили в полость формы через стояк и коллектор. Диаметр стояка 15 мм. Эксперименты проводили на сплаве МЛ5. Температура заливки 720 °С. Для сравнения были залиты 5 отливок. Подвод расплава осуществлялся через щелевой питатель толщиной 6 мм, через литниковую сетку с разной площадью отверстий и через «дождевые» питатели (рис. 4). Количество включений в отливке оценивали по снимкам рентгенодефектоскопии опытных отливок.

В отливках, залитых через прямые дождевые питатели, а также с помощью подвода расплава через сетку, отсутствуют неметаллические включения. Аналогичный результат достигнут с помощью вертикально-щелевого подвода расплава.

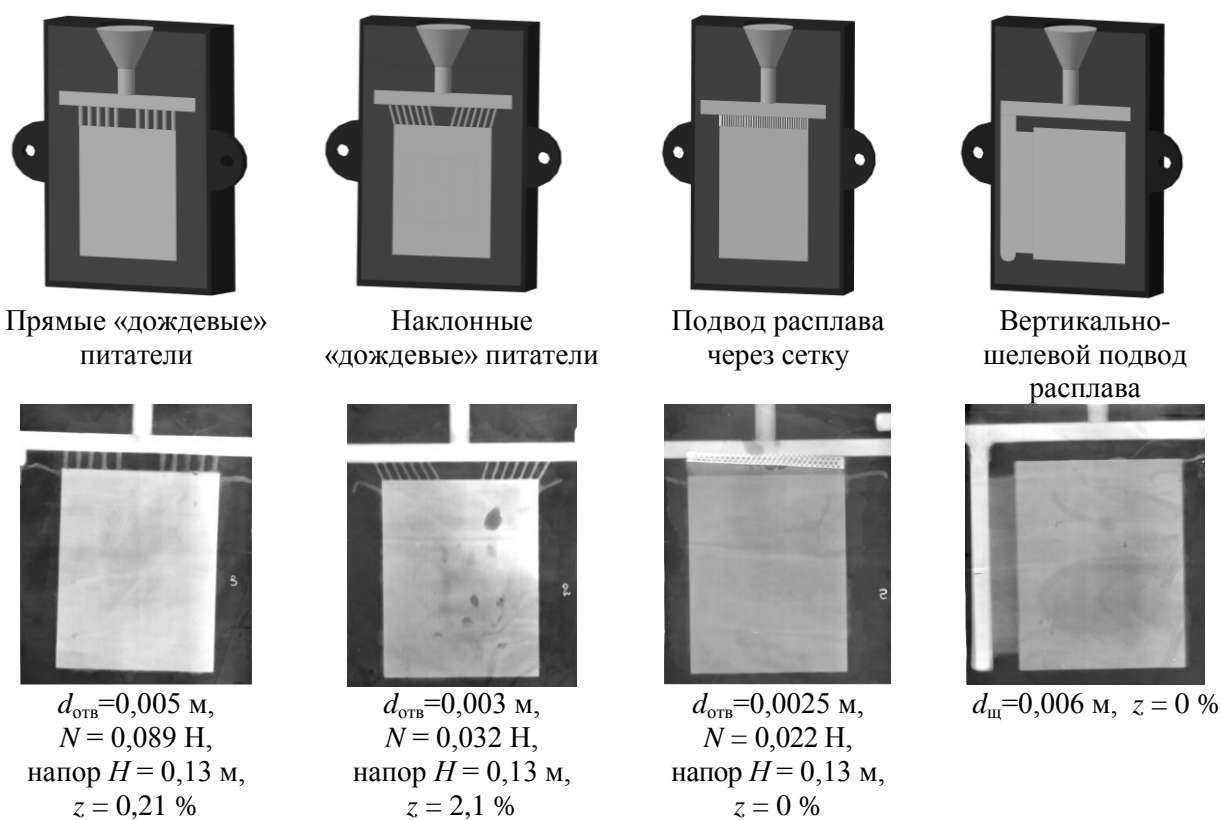


Рис. 4. Схемы подвода расплава в полость литейной формы и снимки рентгенодефектоскопии экспериментальных отливок

Выводы

Разработанная методика расчета дождевой литниковой системы позволяет получать отливки с минимальным весом литниковой системы и с отсутствием брака по «вторичному шлакообразованию». Адекватность методики расчета подтверждена практическим опробованием, в результате которого получена отливка «Крышка» из алюминиевого сплава. Это свидетельствует о том, что разработанная методика является надежной и пригодной для применения ее на производстве при получении отливок из алюминиевых сплавов. Результаты рентгенодефектоскопии экспериментальных отливок из магниевых сплавов позволяют сделать вывод о возможности применения дождевого подвода и для магниевых сплавов,

адаптировав разработанную методику расчета исполняемых размеров дождевой литниковой системы.

Библиографический список

1. **Артамонова, Ю. С.** Выбор оптимальных скоростей заполнения полости литейной формы при использовании дождевой литниковой системы / Ю. С. Артамонова [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – М., 2011. № 6.
2. **Изотов, В. А.** Выбор температуры заливки алюминиевого сплава при заполнении полости формы дождевой литниковой системой / В. А. Изотов, А. А. Акутин, Ю. С. Артамонова, // Вестник «РГАТУ им. П. А. Соловьева». – Рыбинск, 2011. № 2 (21).
3. **Артамонова, Ю. С.** Возможность использования дождевой литниковой системы для заливки форм сплавами на основе алюминия / Ю. С. Артамонова [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – М., 2012. № 2.

*Дата поступления
в редакцию 16.10.2012*

V. A. Izotov, A. A. Akutin, Y. S. Fedulova

THE PRACTICAL TESTING OF EXECUTABLE SIZES CALCULATION METHODOLOGY OF SHOWER GATE FOR ALU-ALLOY

Rybinsk State Aviation Technical University n.a. P. A. Solovyov

The executable sizes calculation methodology of shower gate for alu-alloy castings provided the «secondary slag formation» and «shut» absence in casting on a mold cavity filling stage in terms of limited filling is submitted. The practical testing of designed calculation methodology is executed. The application possibility of shower gate for magnesium alloy is estimated.

Key words: aimed solidification, shower gate, «secondary slag formation», «shut», calculation methodology, minimum possible filling speed, critical value of jet blow, pouring temperature.