



УДК 621.746

Поступила 15.03.2016

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ СЛОЖНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

FEATURES OF THE CALCULATION OF VENTILATION DUCTS OF COMPLEX METAL FORM

М. В. КАМИНЕЦ, И. МИХАЙЛОВ, научный руководитель канд. техн. наук, доцент Т. В. МАТЮШИНЕЦ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: matushtv@bntu.by

M. V. KAMINETS, I. MIHAJLOV, scientific director T. V. MATJUSHINETS, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: matushtv@bntu.by

Предложена методика расчета вентиляционных каналов металлической формы. Показано, что использование САЕ-системы позволяет проводить расчеты вентиляционных каналов металлической формы для каждой отливки индивидуально, при этом учитывая как конфигурацию самой отливки, так и геометрию литниковой системы.

The method of calculating ventilation ducts metal mold. It is shown that the use of CAE-system allows calculations ventilation channels of metal mold for each casting individually, while taking into account both the configuration of the casting itself and the geometry of the gating system.

Ключевые слова. Вентиляционные каналы. Металлическая форма. Отливка. САЕ-система. Конфигурация отливки.

Keywords. Ventilation ducts. The metal form. Casting. CAE-systems. Casting configuration.

Важнейшим этапом проектирования технологии получения кокильной отливки является выбор и расчет вентиляционных каналов металлической формы, позволяющих снизить содержание газовой фазы в металле. Проанализировав работы В. С. Серебро [1, 2] и А. И. Вейника [3] по расчету сечения вентиляционных каналов, можно сделать вывод, что предложенные методики основываются на ряде допущений и упрощений и не учитывают динамику заполнения металлом формы.

Учет динамики заполнения формы производится через массовую скорость заливки, которая принимается в зависимости от массы отливки, по номограмме, построенной на основе эмпирических данных. Таким образом, при выборе массовой скорости заливки учитывается только масса отливки, но не учитываются другие технологические параметры, определяющие характер и скорость заполнения формы жидким расплавом, а именно, конструкция и размеры сечений литниковой системы, конфигурация, размеры и положение отливки в металлической форме, а также теплофизические свойства огнеупорного покрытия металлической формы. Причем массовая скорость заливки принимается постоянной для всего периода заполнения формы, в то время как на практике она является функцией металлостатического напора.

Предлагается методика расчета вентиляционных каналов [4], включающая следующие этапы.

На первом этапе расчета проводится компьютерное моделирование технологического процесса получения отливки, позволяющее получить необходимые исходные данные для расчета вентиляционных каналов. Исходными данными для моделирования являются теплофизические свойства материала отливки и формы, трехмерная конструкция отливки и литниковой системы, начальные температуры металла и формы.

Результаты расчета визуализируются, а также формируются в виде числовых данных. Визуализация результатов моделирования позволяет получить реальную картину заполнения формы расплавом, скоростные поля потоков расплава, температурные поля расплава и формы. Данные по температурным и скоростным полям металла и формы, а также положению фронта движущегося расплава в различные моменты времени заполнения формы, полученные в результате компьютерного моделирования, компонуется в виде таблиц и являются исходными данными для расчета сечения вентиляционных каналов.

На втором этапе расчета по таблицам данных, полученных на этапе 1, проводится расчет сечения вентиляционных каналов для каждого момента времени процесса заполнения полости формы расплавом.

Расчет радиуса вентиляционных каналов производится по формуле Гагена-Пуазейля:

$$R_B = [8\mu_T a X_B / (\pi N_B)]^{1/4}, \quad (1)$$

где R_B – суммарный радиус вентиляционных каналов, м; m_T – динамический коэффициент вязкости газа при $T \rightarrow T_{\text{зал}}$ ($T_{\text{зал}}$ – температура заливки металла), Н·с/м²; X_B – длина вентиляционного канала, м; N_B – число вентиляционных каналов; a – обобщенная характеристика вентиляционной способности формы, м⁵/(Н·с):

$$a = d\Omega \left(p_1 + \frac{p_{1H}}{R_{\text{отл}}} \int_0^{X_2} q_{\text{уд}} dx \right) / \left[dt(p_1 - p_{1H})p_1 \right], \quad (2)$$

где $R_{\text{отл}}$ – толщина стенки отливки на момент времени t , м:

$$R_{\text{отл}} = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n N_i}{3n},$$

где N_i – количество сеточных элементов в i -м сечении отливки на момент времени t ; n – число элементарных сечений отливки на момент времени t ; $q_{\text{уд}}$ – объемная газотворная способность единицы объема облицовки, м³/м³; X_2 – толщина стенки облицовки, м; $\Omega(t)$ – функция изменения (свободной поверхности расплава) объема залитого металла (данные моделирования), м³:

$$\Omega(t) = V_i^{\text{мет}} - V_{i-1}^{\text{мет}},$$

где $V_i^{\text{мет}}$, $V_{i-1}^{\text{мет}}$ – соответственно объем, занимаемый металлом на текущем и предыдущем шаге расчета, м³; p_{1H} – начальное давление в полости формы, Н/м²; t – текущий момент времени, с; p_1 – давление газа в полости формы на момент времени t , Н/м²:

$$p_1 = \frac{p_{1H} V_{1H} T_1}{T_{1H} V_1} - \pi R_B^2 t \sqrt{2\rho_{1H} V_{1H} R^2 T_1^2 \left(\frac{p_{1H} V_{1H}}{V_1^4} - \frac{p_{\text{ср}}}{V_1^3} \right)}, \quad (3)$$

где ρ_{1H} – плотность газа в полости формы до начала движения металла, кг/м³; V_{1H} – объем воздуха в полости формы до начала движения металла, м³; T_{1H} – температура в полости формы до начала движения металла, К; V_1 – объем воздуха в полости формы на момент времени t с начала движения металла (данные моделирования), м³; T_1 – температура в полости формы на момент времени t с начала движения металла (данные моделирования), К; R – газовая постоянная, Н·м/(кг·К); $p_{\text{ср}}$ – давление в окружающей среде, Н/м²; π – число пи.

Для расчета параметра a (характеристика вентиляционной способности формы) используются данные таблиц.

Расчет вентиляционных каналов металлической формы производится пошагово, в связи с тем что давление газа в полости формы не является постоянным в течение всего процесса заполнения формы, а меняется в зависимости от конфигурации отливки, температуры металла, скорости изменения свободной поверхности расплава. Расчет выполняется во временном интервале от момента начала поступления металла в форму до окончания заполнения формы. Параметры для расчета берутся из таблиц данных для каждого момента времени.

В качестве расчетного сечения вентиляционных каналов принимается максимальное сечение, полученное на i -м шаге расчета.

Расчет по классической методике. Объем полости формы – 0,002 м³. Массовая скорость заливки – 1,42 кг/с. Материал отливки – СЧ20. Начальная температура формы – 250 °С. Коэффициент материала отливки – 1,5. Температура заливки – 1350 °С. Средняя толщина стенки – 10 мм. Металлическая форма без покрытия $q_{\text{уд}} = 0$. Динамический коэффициент вязкости газа – $m_{\text{TH}} = 2 \cdot 10^{-5}$ Н·с/м². Длина вентиляционного канала $X_B = 200$ мм.

В результате имеем

$$a = m \left(1 + \frac{1}{R_{\text{пр}}} \int_0^{x_2} q_{\text{уд}} dx \right) / (\gamma_0 K) = 1,42 / (1,5 \cdot 7,1) = 0,133 \cdot 10^{-6} \text{ м}^5 / (\text{Н} \cdot \text{с}).$$

По зависимости Гагена-Пуазейля:

$$R_B = [8\mu_{\Gamma} a X_B / (\pi N_B)]^{1/4} = [8 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,133 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 / 3,14]^{1/4} = 3,37 \text{ мм}.$$

Расчет по предлагаемому методу. По итогам визуализации результатов математического моделирования заполнения полости формы расплавом были выделены места установки вентиляционных каналов, а также получены данные для 10 циклов расчета (табл. 1).

Таблица 1. Данные системы математического моделирования для расчета сечения вентиляционных каналов

Шаг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_1, K	523	545,717	559,926	576,359	595,769	619,369	649,268	689,648	750,738	871,011
$V_1, \text{м}^3$	0,00018	0,00015	0,00012	0,0001	0,00008	0,00006	0,00004	0,00002	0,00001	0
$p_1, \text{Н/м}^2$	11589,4	12680,4	14031,4	15756,2	18050,9	21289,2	26294,9	35390,3	59533,3	10000
$R_{\text{отл}}(t), \text{мм}$	12,3612	11,7431	11,2487	11,0015	10,507	10,2598	10,0126	9,7653	9,2709	8,6528
$\Omega(t), \text{м}^3$	0,00003	0,00003	0,00003	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001

В табл. 2 приведены значения радиуса вентиляционных каналов, полученные в результате решения системы уравнений (1)–(3).

Таблица 2. Расчетное значение радиуса вентиляционных каналов для каждого шага

Шаг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_B, \text{мм}$	0,5172	0,5534	0,6296	0,6854	0,7557	0,8324	0,9418	2,1364	5,1494	0,5368

Выбираем из рассчитанных значений оптимальное сечение вентиляционных каналов. В нашем случае максимальное значение радиуса вентиляционных каналов на 9-м шаге расчета составляет 5,15 мм.

Использование САЕ-системы для моделирования позволяет производить расчеты вентиляционных каналов для каждой отливки индивидуально, учитывая как конфигурацию самой отливки, так и геометрию литниковой системы.

Литература

1. **Серебро В. С.** Основы теории газовых процессов в литейной форме. М.: Машиностроение, 1991. 208 с.
2. **Серебро В. С.** Опыт расчетов с помощью ЭВМ газового режима кокиля / В. С. Серебро, Э. А. Коган // Технология и оборудование литейного производства. Отечественный опыт. Сер. 4. Экспресс-информация. М.: ВНИИТЭМР. 1985. № 11. С. 9–16.
3. **Вейник А. И.** Кокиль. Минск: Наука и техника, 1972. 352 с.
4. **Об использовании методов численного моделирования при расчете вентиляционных отверстий кокилей / А. Н. Чичко, Т. В. Матюшинец, С. Г. Лихоузов, В. Ф. Соболев // Литейное производство. 2008. № 2. С. 40–43.**

References

1. **Serebro V. S.** *Osnovy teorii gazovyh processov v litejnoj forme* [Basic theory of gas processes in the mold]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991, 208 p.
2. **Serebro V. S., Kogan Je. A.** Opyt raschetov s pomoshh'ju JeVM gazovogo rezhima kokilja [Experience using computer calculations with the gas regime of the mold]. *Tehnologija i oborudovanie litejnogo proizvodstva. Otechestvennyj opyt* [Technology and equipment foundry. National experience]. Serija 4, Jekspress-informacija, Moscow, VNIITJeMR Publ., 1985, no.11, pp. 9–16.
3. **Vejnijk A. I.** *Kokil'* [Chill]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1972, 352 p.
4. **Chichko A. N., Matjushinets T. V., Lihouзов S. G., Sobolev V. F.** Ob ispol'zovanii metodov chislenного modelirovaniya pri raschete ventiljacionnyh otverstij kokilej [The use of numerical simulation methods for calculating the vents molds]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry production*, 2008, no. 2, pp. 40–43.