

В. С. Чуркин,
Э. В. Гофман,
О. В. Дувалов,
А. В. Чуркин

ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНОГО ВСАСЫВАНИЯ ПРИ ЛИТЬЕ
ПО ПЕНОПОЛИСТИРОЛОВЫМ МОДЕЛЯМ

Литье по пенополистироловым моделям основано на применении прогрессивного метода формообразования. При изготовлении формы применяются модели из пенополистирола, которые после формовки из формы не удаляются. В процессе заливки под тепловым воздействием заливаемого сплава происходит деструкция полистирола, продукты которой удаляются через стенку формы.

Несмотря на ряд существенных достоинств (снижение трудоемкости изготовления моделей и форм, упрощение конструкции и повышение точности формы) данный метод литья не получил широкого применения. Одной из главных причин этого является осложнение экологической обстановки в литейном цехе из-за выделения в его атмосферу токсичных продуктов деструкции пенополистирола.

Заливка форм, изготовленных по пенополистироловым моделям, другим прогрессивным способом литья - вакуумным всасыванием (ЛВВ) позволяет не только решить экологические проблемы, но и реализовать известные преимущества ЛВВ (повышение выхода годного, механических свойств отливок, заполняемости форм и т.д.).

Схема установки литья вакуумным всасыванием для изготовления отливок по пенополистироловым моделям приведена на рисунке. Форма 4, изготовленная по пенополистироловой модели 7, устанавливается в герметизированную вакуумную камеру 8, которая через воздухопровод 9 соединена с ресивером 12. Разрежение в ресивере создается с помощью вакуум-насоса 14. Расплав находится в тигле 1, помещенном в главную радиационную печь 2. Для осуществления заливки формы открывают кран 1. При этом воздух из вакуумной камеры перетекает в ресивер, а в вакуумной камере создается увеличивающееся во времени разрежение

$$\Delta P_K = P_a - P_K.$$

где P_a и P_K - соответственно атмосферное давление и давление воздуха в вакуумной камере.

Скорость изменения разрежения ΔP_K регулируется изменением площади дросселя 10, установленного на пути газового потока. Под воздействием перепада давлений ΔP_0 сплав из тигля по металлопрово-

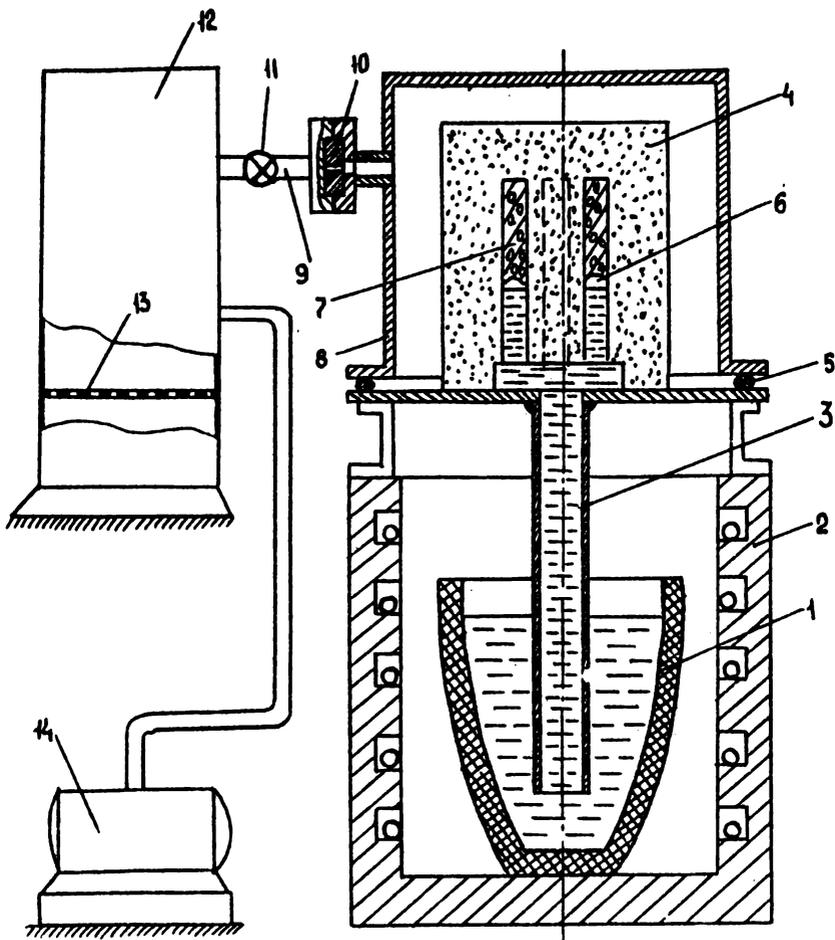


Рис. Схема установки для литья вакуумным всасыванием по пенополистироловым моделям

ду 3 поступает в форму. При этом снизу на его поверхность действует атмосферное давление P_a , а сверху - давление P_Φ в газовом зазоре б между расплавом и нижней поверхностью пенополистироловой модели. При заполнении полости формы сплавом происходит плавление и испарение полистирола. Расплавленный полистирол с нижней поверхности модели стекает на поверхность поднимающегося в форме расплава. При этом происходит испарение полистирола. Пары полистирола фильтруются через стенку формы в вакуумную камеру, из которой через воздухопровод поступают в ресивер, где происходит их конденсация. Конденсат скапливается в нижней части ресивера, проходя через решетку 13.

В рассмотренной схеме продукты деструкции полистирола не только не попадают в атмосферу цеха, но и могут быть после конденсации возвращены в производство для изготовления моделей.

Для обеспечения качественного заполнения формы необходимо, чтобы скорость поступления расплава в форму v была согласована со скоростями плавления и испарения полистирола ($v_{пл}$ и $v_{исп}$).

Между поверхностью расплава и нижней поверхностью модели расположена прослойка б жидкого полистирола $\delta_{ж}$ и газовый зазор $\delta_{газ}$ б. За время dt за счет стекания расплавленного полистирола и подъема уровня расплава толщина газового зазора уменьшится на величину

$$d\delta_{газ} = v_{пл} \cdot \rho_{п} \cdot dt / \rho_{ж} + v \cdot dt,$$

где $\rho_{п}$ - плотность твердого полистирола;

$\rho_{ж}$ - плотность жидкого полистирола.

За это же время часть полистирола испарится и толщина газового зазора уменьшится на величину $d\delta_{газ} = v_{исп} \cdot dt$.

В установившемся процессе ($\delta_{газ} = const$) должно соблюдаться равенство

$$v_{пл} \cdot \rho_{п} / \rho_{ж} + v = v_{исп}. \quad \text{или} \quad v = v_{исп} - v_{пл} \cdot \rho_{п} / \rho_{ж}. \quad (1)$$

Для вычисления скорости заполнения формы сплавом v можно в первом приближении применить формулу [1]

$$v = \frac{d(\Delta P_\Phi)}{dt} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d(P_a - P_\Phi)}{dt} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP_\Phi}{dt}, \quad (2)$$

где ρ - плотность расплава.

Применим для газа в зазоре уравнение Клапейрона-Менделеева

$$P_\Phi \cdot V_{газ} = RT \cdot m_{газ},$$

где $V_{газ}$ - объем газа в зазоре;

$m_{газ}$ - масса газа в зазоре;

R - газовая постоянная;

T - температура газа.

Дифференцируя это выражение (приняв $T = \text{const}$), получим

$$\frac{dP_{\Phi}}{dt} = \left[RT \frac{dm_{\text{газ}}}{dt} - P_{\Phi} \frac{dV_{\text{газ}}}{dt} \right] \cdot \frac{1}{V_{\text{газ}}} \quad (3)$$

В уравнении (3) величина $dm_{\text{газ}}/dt$ представляет собой массовый расход газа при фильтрации через стенку формы. Применив для фильтрации газа закон Дарси, получим

$$\frac{dm_{\text{газ}}}{dt} = - \frac{M (P_{\Phi}^2 - P_K^2)}{2 RT} \quad (4)$$

где M - пропускная способность стенки формы, зависящая от ее газопроницаемости и конфигурации поперечного сечения.

Для расчета давления в вакуумной камере P_K можно применить формулу [1]

$$P_K = P_P + (P_A - P_P) \cdot \exp(-\beta t), \quad (5)$$

где P_P - давление газа в ресивере;

β - коэффициент, зависящий от объема камеры, диаметра дросселя (диафрагмы) и давления в ресивере.

В начальный момент времени ($t=0$) $P_{\Phi} = P_K$ и расплав со скоростью v начинает подниматься в металлопроводе.

$$v = (P_A - P_P) \cdot \beta \cdot \exp(-\beta t) / \rho.$$

В ходе подъема расплава температура нижней поверхности модели увеличивается, достигая в конце заполнения металлопровода значения, равного температуре плавления полистирола $T_{\text{пл}}$. При этом толщина жидкой прослойки $\delta_{\text{ж}} = 0$, а толщина газового зазора $\delta_{\text{газ}} = \delta_{\text{газ.о}}$.

Величина начального значения газового зазора $\delta_{\text{газ.о}}$ для данного сплава и материала модели зависит от давления в ресивере и принятого значения β .

Установившееся значение $\delta_{\text{газ}}$ формируется к концу заполнения формы. Для изменения $\delta_{\text{газ}}$ в ходе процесса можно написать уравнение

$$d\delta_{\text{газ}} / dt = v_{\text{исп}} - v_{\text{пл}} \cdot \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{ж}} - v. \quad (6)$$

Уравнения (2)-(6) представляют собой математическую модель газогидродинамических процессов при заполнении формы с пенополис-

тироловой моделью вакуумным всасыванием. Ее исследование следует проводить с применением численных методов, например метода Рунге-Кутты.

Очевидно, что для решения системы (2)-(6) необходимо совместить ее с соответствующими теплофизическими уравнениями, позволяющими определить величины $V_{пл}$ и $V_{исп}$.

Учитывая низкую теплопроводность пенополистирола, можно пренебречь градиентами температур в модели в горизонтальном направлении по сравнению с вертикальными градиентами температур вблизи нижней поверхности модели. С учетом этого напомним следующую систему теплофизических уравнений:

$$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{d^2T}{dy^2} + \frac{1}{y} \cdot \frac{dT}{dy} \right); \quad (7)$$

$$\left(\frac{dT}{dy} \right)_{y=H_M} = 0; \quad (8)$$

$$\left(\frac{dT}{dy} \right)_{y=0} = -\alpha (T_M - T_{пл}) / \lambda_M + v_{пл} \cdot L_n \cdot \rho_n / \lambda_M; \quad (9)$$

$$T(y; t=0) = T_0. \quad (10)$$

где T - температура модели;

a - коэффициент температуропроводности модели;

T_0 - начальная температура модели;

α - коэффициент теплопередачи от расплава к модели;

H_M - высота модели;

λ_M - коэффициент теплопроводности пенополистирола;

L_M - удельная теплота плавления пенополистирола.

Теплопередача от расплава к модели осуществляется естественной конвекцией, излучением и теплопроводностью. Для расчета α можно применить известные из теплофизики соотношения [2]. При прочих равных условиях α определяется толщиной газового зазора $\delta_{газ}$.

Скорость испарения $v_{исп}$ зависит от температуры поверхности сплава, которая в процессе заливки изменяется незначительно. Конкретный вид этой зависимости необходимо определить экспериментально.

Как показал анализ уравнений (2)-(10), при прочих равных условиях газогидродинамическая и теплофизическая картины заполнения

формы сплавом определяются значениями δ и P_p . Они должны быть выбраны таким образом, чтобы выполнялись следующие необходимые условия качественного заполнения формы:

- форма должна быть заполнена за оптимальное время ($t_{\text{опт}}$), т.е. средняя скорость заполнения должна удовлетворять условию

$$v_{\text{ср}} = H_M / t_{\text{опт}} ;$$

- величина газового зазора $\delta_{\text{газ}}$ не должна превышать некоторые максимальные значения (5-10 мм). При изготовлении форм по пенополистироловым моделям часто используют песок без применения связующих. Если зазор будет иметь большую толщину, то произойдет местное разрушение формы за счет поступления песка из стенки формы в зазор;

- должны быть выполнены условия плавного заполнения формы расплавом [1].

Численное решение приведенных уравнений позволяет определить оптимальные условия процесса для каждого конкретного случая.

Экспериментальная проверка описанного метода литья показала его высокую эффективность как с точки зрения производства и качества отливок, так и для обеспечения экологической чистоты технологического процесса.

Литература

1. Теория и технология методов литья под регулируемым газовым давлением: Учеб. пособие /В.С.Чуркин, Э.В.Гофман, Н.В.Шестаков и др.; Свердл. инж.-пед. ин-т. Свердловск, 1990. 207 с.

2. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М.: Энергоатомиздат, 1990. 366 с.