

смесей с тепловой сушкой и противопопригарных красок взамен применяемых для этих целей окиси железа технической и железного сурика. Испытания огарка проводились на одном из наиболее ажурных стержней отливки из серого чугуна "корпус распределителя". Стержень изготовлялся на пескострельной машине мод. 305 из смеси следующего состава (в вес. %): кварцевый песок 1К02Б – 95,26; огарок колчеданный – 1,5; сульфитно-спиртовая барда  $\gamma = 1,265 \text{ кг/см}^3 - 3,17$ ; глина формовочная – 0,67; крепитель УСК-1 – 2,33; вода – 0,07.

Данная смесь имела следующие физико-механические свойства: прочность по сырому  $\sigma_{сж} = 0,05 \text{ кгс/см}^2$ ; прочность по-сырому  $\sigma_p = 15 \text{ кгс/см}^2$ ; газопроницаемость  $K = 90$  и газотворность  $\Gamma = 12 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Для покраски стержня применялась следующая противопопригарная краска (в вес. %): дистен-силлимонитовой концентрат ДСК-II – 79,0; огарок колчеданный – 15,0; глина формовочная молотая – 2,4; сульфитно-спиртовая барда – 3,6; вода до удельного веса краски  $\gamma = 1,3 - 1,7 \text{ г/см}^3$ .

Эта краска обладает следующими физико-механическими свойствами: прочность красочного слоя – 2,3 кг; прочность сцепления с формой – 0,21 кгс/см<sup>2</sup>; коэффициент седиментационной устойчивости – 0,0028.

Вся полученная партия отливок имела качественную поверхность. В дальнейшем исследованиями огарка как противопопригарной добавки в сочетании с наполнителями красок тальком и пирофилитом для стержней отливок "головок блока цилиндров" трактора МТЗ-80 подтвердилось его положительное влияние на улучшение качества поверхности отливок.

УДК 621.746.047

*И.В. Земсков*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОДОБИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛИТЬЯ ВЫЛИВАНИЕМ НА ПОВОРОТНЫХ УСТАНОВКАХ

Для моделирования литья выливанием необходим анализ дифференциальных уравнений движения металла, на основании которого можно установить критерии подобия, масштабные коэффициенты и структурную формулу процесса (рис. 1).

Так как в процессе литья тепловые потери металла при заполнении формы незначительны, что обеспечивается футеровкой и электроподогревом металлоприемника и металлопровода, движения металла можно отнести к изотермическому ( $\rho = \text{const}$ ). Кроме того, процесс характеризуется сравнительно небольшими линейными скоростями движения металла ( $Re \approx 8500$ ), что позволяет классифицировать его как

ламинарное. Уравнение нестационарного, ламинарного движения по трубе круглого сечения при наличии влияния только силы тяжести получим из общих уравнений Стокса для изотермического движения вязкой несжимаемой жидкости и уравнения несжимаемости [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \nabla^2 u; \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \nabla^2 v; \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla^2 w; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

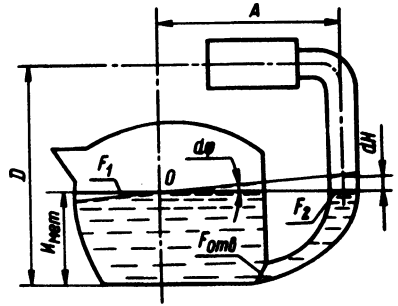


Рис. 1. Расчетная схема.

Полагая, что  $u = v = 0$ ,  $F_x = F_y = 0$ , и заменяя давление на потенциал объемных сил из (1), получим

$$\frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial w}{\partial z} - g - \nu^2 w = g \frac{\partial H}{\partial z}, \quad (3)$$

где  $\partial H$  – перепад уровней металла в металлоприемнике и металлопроводе (форме).

Этот перепад уровней при повороте узлов установки на угол  $d\varphi$  за время  $dt$  составит

$$dH = \frac{\pi A}{180^\circ} \omega dt.$$

Но за время поворота  $dt$  величина  $dH$  не только растёт, но и падает в результате перетекания жидкости из металлоприемника в форму (истечение жидкости при переменном напоре под переменный уровень)

$$dH_{\text{УМ}} = \left( - \frac{F_1 + F_2}{F_1 F_2} + F_{\text{отв}} \right) 2 \sqrt{2g} dt^2.$$

Поэтому потенциал объемных сил за время  $dt$  определится разностью

$$dV = g(dH - dH_{yM}) = g \frac{\pi A}{180^\circ} \omega dt - g \left( -\frac{F_1 + F_2}{F_1 F_2} \mu F_{\text{отв}} 2\sqrt{2g} \right)^2 dt^2.$$

Уравнение (3) запишется следующим образом:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial w}{\partial z} - g - \nu \nabla^2 w = \frac{g\pi A}{180^\circ} \omega \frac{\partial t}{\partial z} - g \left( -\frac{F_1 + F_2}{F_1 F_2} \mu F_{\text{отв}} 2\sqrt{2g} \right)^2 \frac{dt^2}{\partial z} \quad (4)$$

Перейдем от уравнения (4) к уравнению (5), относящемуся к модели процесса, умножая каждую величину на соответствующую константу:

$$\begin{aligned} \frac{a_v}{a_t} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{a_v^2}{a_1} w \frac{\partial w}{\partial z} - a_g g - a_\nu \frac{a_v}{a_1^2} \nu \nabla^2 w = a_g a_\omega a_t \frac{g\pi A}{180} \omega \frac{\partial t}{\partial z} - \\ - \frac{a_g^2 a_t^2}{a_1} 8g^2 \mu^2 \left( \frac{F_1 + F_2}{F_1 F_2} \cdot F_{\text{отв}} \right)^2 \frac{\partial t^2}{\partial z}. \end{aligned} \quad (5)$$

Из уравнения (5) получаем

$$\frac{a_v}{a_t} = \frac{a_v^2}{a_1} = a_g = \frac{a_\nu a_v}{a_1} = a_g a_\omega a_t = \frac{a_g^2 a_t^2}{a_1}. \quad (6)$$

Разделив (6) на  $\frac{a_v^2}{a_1}$ , получаем систему уравнений

$$\frac{a_1}{a_t a_v} = 1 = \frac{a_g a_1}{a_v^2} = \frac{a_\nu}{a_v a_1} = \frac{a_g a_\omega a_t a_1}{a_v^2} = \frac{a_g^2 a_t^2}{a_v^2}. \quad (7)$$

Масштабные множители получим из приравнивания к единице индикаторов подобия (7):

$$\frac{a_1}{a_v a_t} = 1; \quad \frac{a_g a_1}{a_v^2} = 1; \quad \frac{a_\nu}{a_v a_1} = 1; \quad a_\omega a_t = 1; \quad \frac{a_g^2 a_t^2}{a_v^2} = 1.$$

Только два множителя из шести можно задать произвольно, остальные определяются из приведенных зависимостей. Очевидно,  $a_g = 1$ . Кроме того,

задано  $a_\nu = \frac{\nu_M}{\nu_B}$ . Тогда получим

$$a_1 = (a_\nu)^{2/3}; \quad a_v = (a_\nu)^{1/3}; \quad a_t = (a_\nu)^{1/3}; \quad a_\omega = \frac{1}{(a_\nu)^{1/3}}.$$

Рассматривая каждое из уравнений (7) в отдельности и переходя от индикаторов подобия к критериям, получим

$$sh = \frac{1}{vt} = idem; \quad Fr = \frac{v^2}{gl} = idem; \quad Re = \frac{vl}{\nu} = idem;$$

$$K_4 = \frac{g\omega t l}{v^2} = \text{idem}; \quad K_5 = \frac{v^2}{g^2 t^2} = \text{idem}.$$

С целью исключения параметра  $v$  из всех критериев, кроме Фруда, выполним их комбинирование. При этом общее количество критериев уменьшится

$$\text{sh x Re} = \frac{l}{vt} \cdot \frac{vd}{v} = \frac{ld}{tv} = K_1;$$

$$K_4 \times K_5 = \frac{g\omega t l}{v^2} \cdot \frac{v^2}{g^2 t^2} = \frac{\omega l}{gt} = K_2.$$

Так как для исследуемой системы преобладающее значение для движения жидкости имеют силы тяжести и только критерий Фруда содержит величину  $v$ , то критериальное уравнение можно записать в виде

$$Fr = f(K_1; K_2); \quad \frac{v^2}{gl} = f\left(\frac{ld}{vt}; \frac{\omega l}{gt}\right). \quad (8)$$

Используя известные способы нахождения эмпирических формул, уравнение (8) приведено к явному виду:

$$Fr = 1,1985 \cdot 10^4 (K_1)^{1,9900} + \frac{K_2}{0,0145 \cdot 10^{-2} K_1 + 1,1003 \cdot 10^{-6}} - 0,2517 \cdot 10^4 K_2. \quad (9)$$

Выполненный анализ позволил установить масштабные коэффициенты, необходимые при изготовлении модели и пересчете результатов моделирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л о й ц я н с к и й Л.Г. Механика жидкости и газа. — М., 1970.