

Полученные выше зависимости указывают на то, что скорость течения расплавов в каналах литейной формы непосредственно определяется их вязкостью. Снижение вязкости расплава может существенно улучшить заполняемость литейных форм, что особенно важно при получении тонкостенных и фасонных камнелитых отливок.

В настоящей работе для снятия вязкости и улучшения жидкотекучести горнблэндитового расплава использовались добавки в шихту флюорита ( $CaF_2$ ). Влияние фтора на вязкость силикатных расплавов связано с частичным обрывом связей  $Si-O-Si$  и заменой их концевыми группировками  $Si-O-F$ . Изучено влияние добавок  $CaF_2$  в количестве до 10 %. Показано, что введение в шихту  $CaF_2$  является эффективным способом снижения вязкости, увеличения жидкотекучести и плотности горнблэндитовых камнелитых расплавов. Ввиду наблюдавшегося при этом существенного улучшения условий плавки в электродуговых печах, расплав с добавками  $CaF_2$  до 5 % был использован не только для получения отливок в исследовательских целях, но и стал применяться для всех других горнблэндитовых изделий текущего заводского производства.

**В. С. Балин,  
В. М. Карпов**

## **ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ПРИ ЛИТЬЕ ВСАСЫВАНИЕМ**

В настоящее время изготавливаются в основном каменные отливки простой конфигурации: футеровочные плиты различных типоразмеров, центробежные трубы и небольшое количество фасонных изделий, номенклатура которых малочисленна. Технология производства каменных отливок базируется в основном на безлитниковой заливке из ковша открытых форм.

Имеется насущная необходимость получения каменных отливок более сложной конфигурации с достаточно высокой степенью точности и хорошим качеством наружной поверхности, что особенно важно для камнелитых изделий, которые практически не поддаются механической обработке. Для этого требуются закрытые формы.

Высокая вязкость ( $\eta=20-70$  пуаз) и низкая жидкотекучесть силикатных расплавов не позволяют быстро заполнять через литниковые системы тонкие отливки и отливки сложной конфигурации, что приводит к недоливам формы, значительным температурным перепадам внутри отливок, большим внутренним напряжениям и растрескиванию изделий.

Для ускорения заполнения форм необходимо увеличивать гидростатический напор. Делать это за счет высоты литниковой чаши экономически невы-

годно. Увеличение же высоты стояка не достигает цели, так как он является одновременно большим гидравлическим сопротивлением, в котором с ростом напора почти в той же степени растут и потери.

Достаточно быстрое заполнение вязким расплавом тонких полостей форм становится возможным только при большом действующем напоре, который, как указывалось выше, не может быть создан обычными вертикальными напорными элементами литниковой системы. Для увеличения напора целесообразно использовать внешнее давление.

С этой же целью был применен метод вакуумного всасывания, при котором в форме создается значительное разрежение, а внешнее атмосферное давление используется для ускорения заполнения форм. Были изучены основные гидродинамические закономерности заполнения всасыванием вязкой жидкостью простейших полостей литейных форм типа вертикальных и горизонтальных цилиндрических каналов, плоских вертикальных стенок (плиток) и др.

Для описания процессов заполнения использовались интегралы Лагранжа-Коши вдоль линии тока, выражающие баланс энергии в исходном сечении и на фронте потока. Специфика течения высоковязких жидкостей при малых числах Рейнольдса ( $Re < 100$ ), характерных для каменного литья, позволила при анализе закономерностей течения прибегнуть к несколько упрощенной физической модели: пренебречь инерционным напором и величиной скоростного напора. При этом были получены аналитические уравнения, определяющие продолжительность заполнения  $\tau$  различных элементов литейных форм:

а) всасывания в вертикальный цилиндрический канал

$$\tau = \frac{\nu}{gD} \left[ \left( 12,6 + \frac{32\Delta P}{D\gamma} \right) \ln \frac{\frac{\Delta P}{\gamma} - h_1}{\frac{\Delta P}{\gamma} - h_2} - \frac{32}{D} (h_2 - h_1) \right], \quad (1)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$\gamma$  – плотность расплава;

$\Delta P$  – рабочее разрежение;

$D$  – диаметр заполняемого канала.

б) всасывания в горизонтальный цилиндрический канал

$$\tau = \frac{16\nu}{gD^2} \cdot \frac{l_2^2 - l_1^2}{\frac{\Delta P}{\gamma} - h} + \frac{12,6\nu}{gD} \cdot \frac{l_2 - l_1}{\frac{\Delta P}{\gamma} - h}; \quad (2)$$

в) всасывания в полость между двумя вертикальными стенками (плитками)

$$\tau = \frac{\nu}{g} \left\{ \left[ \frac{32mH}{d^2} + \frac{25,2m}{d} + \frac{3}{b^2} \left( \frac{\Delta P}{\gamma} - H \right) \right] \ln \frac{\frac{\Delta P}{\gamma} - H}{\left( \frac{\Delta P}{\gamma} - H \right) - h} - \frac{3}{b^2} h \right\}. \quad (3)$$

Формула (1) позволяет рассчитать продолжительность заполнения вертикального цилиндрического канала между сечениями, находящимися на расстояниях  $h_1$  и  $h_2$  от уровня жидкости в ванне. По зависимости (2) определяется продолжительность заполнения всасыванием горизонтального участка канала между сечениями, находящимися на расстояниях  $l_1$  и  $l_2$  от входа из ванны при начальном вертикальном участке канала, имеющем высоту  $h$ . Формула (3) относится к случаю, когда всасывание в плоскую полость (плитку) толщиной  $2b$  осуществляется снизу через цилиндрический патрубок длиной  $H$  и диаметром  $d$ . При этом коэффициент  $m$  характеризует отношение площадей горизонтальных сечений полости и патрубка ( $m = F_{пол}/F_{патр}$ ), а величина  $h$  – высоту заполняемой части полости (плитки) от патрубка.

Анализ уравнений (1)–(3) показывает, что большое влияние на продолжительность заполнения оказывает величина разрежения, кинематическая вязкость жидкости  $\nu$ , диаметр заполняемого канала  $D$  или толщина полости плитки  $2b$ . Продолжительность заполнения зависит не только от длины заполняемого участка ( $h_2 - h_1$ ,  $l_2 - l_1$ ), но и от его положения по отношению к входному сечению ( $h_1$ ,  $l_1$ ).

Проверка приемлемости приближенной физической модели нестационарного течения, нашедшей отражение в формулах (1)–(3), проводилась путем заполнения вертикального, горизонтального каналов и плоских полостей (плиток) всасыванием высоковязких жидкостей при малых числах Рейнольдса ( $Re < 100$ ). В качестве таких жидкостей служили касторовое масло либо раствор хлористого лития ( $LiCl$ ) с кинематической вязкостью  $(5 - 60) \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>/с.

Результаты опытов свидетельствуют об их достаточно хорошей сходимости с расчетными данными. Это значит, что при расчетах заполнения каналов и полостей (плиток) вязкими жидкостями при малых числах Рейнольдса вполне возможно пренебречь инерционным напором и кинетической энергией струи.