

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ СИЛИКАТНОГО РАСПЛАВА

В промышленных камнелитейных расплавах молекулярная концентрация сеткообразующих окислов ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ) достигает 65 % и более. Наиболее характерными минералами, слагающими каменное литье, являются пироксены, имеющие цепочечное сочленение кремнекислородных тетраэдров, близкое к составу  $(SiO_3)_n$ . Можно предполагать, что мотивы ближнего порядка, свойственные кристаллическим пироксенам, частично воспроизводятся и в жидких силикатах, особенно при значительном их переохлаждении.

Деформация (течение) таких материалов может быть связана с разрывом цепей, их относительным сдвигом, «выпрямлением», разрывом мостиковых связей между цепями и т.п.

В связи с этим переохлажденным силикатным стеклам свойственны явления упруго-замедленной деформации, наличие предельного напряжения сдвига, что говорит о сложности их реологической природы. С повышением температуры и переходом стекла в жидкоподвижное состояние отдельные звенья реологической модели будут вырождаться, что ведет к ее значительному упрощению.

Полученные нами ранее аналитические зависимости течения высоковязких систем базируются на ламинарном течении ньютоновских жидкостей. Возможность применения их к течению петругического расплава требует оценки реологической природы последнего в технологическом интервале температур заливки. Для этого в настоящей работе сравнивали скорости истечения типового камнелитейного расплава, найденные экспериментально, с расчетными, полученными аналитически для ламинарного истечения ньютоновской жидкости при малых числах Рейнольдса ( $Re < 100$ ).

В экспериментах использовался промышленный горнблендитовый расплав, содержащий:  $SiO_2$  – 48,0;  $Al_2O_3$  – 13,9;  $CaO$  – 8,6;  $MgO$  – 8,3;  $FeO$  – 12,4;  $Fe_2O_3$  – 1,7;  $Cr_2O_3$  – 0,5;  $CaF_2$  – 0,8 (% по массе).

В литейном тракте опытной установки, состоящем из последовательно соединенных цилиндрических стояка (длиной  $l_{cm}$ ) и питателя (длиной  $l_{num}$ , диаметром  $D_{num}$ ), создавались за счет внешнего обогрева изотермические условия течения расплава.

Для скорости напорного истечения из питателя при малых числах Рейнольдса расчет по изложенной выше методике дает

$$v = \frac{\sqrt{\frac{v^2}{D_{num}^4} \cdot (64l_{cm} \cdot m_{cm}^2 + 64l_{num})^2 + 8\alpha g l_{cm}} - \frac{v}{D_{num}^2} (64l_{cm} m_{cm}^2 + 64l_{num})}}{2\alpha}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса ( $\alpha=2$ );

$F$  – площади поперечного сечения соответствующих каналов,  $m = F_{num}/F_{cm}$ ;

$\nu$  – кинематическая вязкость.

Для разных температур заливки (а следовательно, и разных  $\nu$ ) было получено удовлетворительное совпадение расчета по формуле (1) с экспериментально найденными по расходу расплава величинами скорости  $v$ .

Результаты опытов показывают, что для гомогенного горнблэндитового расплава в интервале температур заливки практически вполне приемлемой является реологическая модель ньютоновской жидкости. Поскольку многие другие камнелитейные расплавы (базальтовые, диабазовые, шлаковые и т.п.) по составу мало отличаются от горнблэндитового, то можно полагать, что ньютоновское течение в равной мере свойственно и им до наступления периода кристаллизации.

Также были проведены эксперименты по всасыванию в вертикальные цилиндрические каналы силикатного горнблэндитового и боратного расплавов в изотермических условиях. Данные опытов и расчета показывают, что, несмотря на неизбежные погрешности в экспериментальном определении вязкости и плотности расплавов, полученные при всасывании величины  $\tau$  близки к рассчитанным по формуле (2). Продолжительность заполнения канала при всасывании в вертикальный цилиндрический канал  $\tau$  определяется по формуле

$$\tau = \frac{\nu}{gD} \left[ \left( 12,6 + \frac{32\Delta P}{D\gamma} \right) \ln \frac{\frac{\Delta P}{\gamma} - h_1}{\frac{\Delta P}{\gamma} - h_2} - \frac{32}{D} (h_2 - h_1) \right], \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести;

$\gamma$  – плотность расплава;

$\Delta P$  – рабочее разрежение;

$D$  – диаметр заполняемого канала.

Существенное влияние на величину  $\tau$  оказывает неизотермичность условий всасывания. При изотермических условиях закономерности всасывания определяются формулами, базирующимися на ламинарном течении ньютоновской жидкости.

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 камнелитейных 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-