

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ФОРМ ПРИ ЛИТЬЕ ВАКУУМНЫМ ВСАСЫВАНИЕМ

Цель технологической организации процесса заливки формы сводится к обеспечению качественного ее заполнения сплавом. Качественное заполнение формы при литье вакуумным всасыванием реализуется при выполнении двух комплексных требований:

1. Продолжительность заливки $t_{зал}$ должна находиться в некотором оптимальном интервале, т. е. должно выполняться условие

$$t_{min} \leq t_{max}$$

где t_{max} – максимально допустимая продолжительность заливки, определяемая способностью сплава в данных тепловых условиях заполнять форму без недоливов и образования спаев при четком воспроизведении рельефа полости формы;

t_{min} – минимально допустимая продолжительность заливки, при которой исключаются дефекты, связанные с захватом газов, образованием окисных плен и несплошностей.

2. Обеспечение плавного заполнения формы без существенного развития фонтанирования при исключении колебаний уровня сплава.

При литье в металлические формы оптимальную продолжительность заливки следует принимать ближе к t_{max} . Можно принять

$$t_{opt} = (0,8 \div 1,0) t_{max}. \quad (1)$$

Для расчета t_{max} можно рекомендовать следующую формулу [1]

$$t_{max} = \frac{c_1 \rho_1 R_{np} \left(1 + \frac{\lambda_{кр}}{\alpha \delta_{кр}}\right)}{\lambda_{кр} / \delta_{кр}} \cdot \ln \left[\frac{T_{10} - T_{20}}{(T_{н.ж} - T_{20}) \left(1 + \frac{\lambda_{кр}}{\alpha \delta_{кр}}\right)} \right] + \frac{c_1 \rho_1 R_{np}}{\alpha} \times \\ \times \ln \left[\frac{(T_{н.ж} - T_{20}) \lambda_{кр}}{(T_{л} - T_{н.ж}) \alpha \delta_{кр}} \right] + \frac{c_{эф} \rho_{ж-т} R_{np}}{\alpha} \ln \frac{T_{л} - T_{н.ж}}{3}, \quad (2)$$

где c_l и ρ_l – теплоемкость и плотность жидкого сплава;

$c_{эф}$ – эффективная теплоемкость сплава в интервале ликвидус–солидус;

R_{np} – приведенная толщина стенки отливки;

T_{10} и T_{20} – температура заливки и начальная температура формы;

$\lambda_{кр}$ и $\delta_{кр}$ – теплопроводность и толщина кокильного покрытия;

α – коэффициент теплоотдачи от головы потока сплава к поверхности формы, $\alpha=5,2 \lambda_l/(4R_{np})$, где λ_l – теплопроводность жидкого сплава;

$\rho_{ж-т}$ – плотность сплава в жидко-твердом состоянии.

Эффективная теплоемкость сплава в интервале ликвидус–солидус определяется по формуле

$$c_{эф} = c_{ж-т} + \frac{Q_{кр}}{T_l - T_c},$$

где $c_{ж-т}$ – теплоемкость сплава в жидко-твердом состоянии;

$Q_{кр}$ – удельная теплота кристаллизации в интервале ликвидус–солидус;

T_l и T_c – температуры ликвидуса и солидуса сплава;

По формулам (1) и (2) рассчитывается оптимальная продолжительность заливки для самого тонкостенного элемента t_l отливки, как правило, находящегося при литье вакуумным всасыванием в верхней части формы.

При условии обеспечения плавного заполнения среднюю скорость при заливке данного элемента можно определить по формуле

$$V_2 = \frac{(P_2 - P_p) \cdot \beta_2 \cdot \exp(-\beta_2 t_2)}{\rho_1 \cdot g}, \quad (3)$$

где P_p – давление в ресивере;

P_2 – давление в вакуумной камере в момент начала заполнения верхней части формы;

β_2 – газодинамический коэффициент при заполнении верхней части формы, определяемый при заданных объеме камеры V_k и давлении P_p , площади проходного сечения дросселирующего устройства $\omega_{\partial 2}$, включенного в начале заполнения рассматриваемого участка формы.

Так как $\beta_2 t_2 \ll 1$, а $\frac{P_a - P_2}{\rho g} \approx Z_m - l_0 + H_n$, где P_a – атмосферное давление;

Z_m – высота металлопровода; l_0 – заглубление металлопровода в тигле; H_n – высота нижней толстостенной части полости формы, можно записать

$$V_2 = \left(\frac{P_a - P_p}{\rho g} - (Z_m - l_0) - H_n \right) \cdot \beta_2.$$

Отсюда находим, что для обеспечения заданной продолжительности заливки верхнего элемента формы t_2 необходимо обеспечить следующее значение газодинамического коэффициента

$$\beta_2 = \frac{H_s}{t_2 \left(\frac{P_a - P_p}{\rho g} - (Z_m - l_0) - H_n \right)}, \quad (4)$$

где H_s – высота верхнего элемента отливки.

Для обеспечения плавного заполнения верхнего элемента заполнение нижнего толстостенного элемента должно проводиться при меньшем значении $\beta = \beta_1$, причем

$$\beta_1 = \frac{\beta_2 \cdot \omega_2}{k_2 \cdot \omega_1}, \quad (5)$$

где ω_2 и ω_1 – площади соответственно верхнего и нижнего участков полости формы;

k_2 – поправочный коэффициент.

Для обеспечения плавного заполнения нижнего участка формы без существенного развития фонтанирования сплава из металлопровода при его заполнении необходимо реализовать следующее значение газодинамического коэффициента:

$$\beta_m = \frac{\beta_1 \cdot \omega_1}{k_1 \cdot \omega_m}, \quad (6)$$

где ω_m – площадь сечения металлопровода.

При реализации найденных по формулам (4)–(6) значений β будет обеспечено плавное заполнение всей формы без колебаний уровня и существенного развития фонтанирования.

Для реализации данных значений β необходимо при заданных значениях V_k и P_p определить площади дросселирующих устройств, включаемых в начале процесса заливки (ω_{d0}), в момент окончания заполнения металлопровода t_m (ω_{d1}) и в момент окончания заполнения нижнего участка полости формы t_l (ω_{d2}):

$$\omega_{\partial 0} = \frac{V_{\kappa}(P_a - P_p)^{0.79} \beta_{\kappa}}{1331577}, \quad (7)$$

$$\omega_{\partial 1} = \frac{V_{\kappa}(P_1 - P_p)^{0.79} \beta_1}{1331577}, \quad (8)$$

$$\omega_{\partial 2} = \frac{V_{\kappa}(P_2 - P_p)^{0.79} \beta_2}{1331577}, \quad (9)$$

где V_{κ} – объем вакуумной камеры, м³;

$\omega_{\partial 0}, \omega_{\partial 1}, \omega_{\partial 2}$ – площади дросселя, м².

$$P_1 = P_a - \rho g(Z_{\kappa} - l_0);$$

$$P_2 = P_a - \rho g(Z_{\kappa} - l_0 + H_n).$$

Приведем последовательность расчетов процесса заполнения полости формы для отливки с двумя расположенными по высоте тонкостенным и толстостенным элементами. В общем случае при наличии n элементов полости формы алгоритм расчета сводится к следующему:

1) определение оптимальной продолжительности заполнения верхнего тонкостенного элемента по формуле (1);

2) расчет значения газодинамического коэффициента при заполнении этого элемента по формуле

$$\beta_n = \frac{H_n}{t_{\text{онм}} \left(\frac{P_a - P_p}{\rho n} - (Z_{\kappa} - l_0) - \sum_{i=1}^{n-1} H_i \right)},$$

где H_i – высота нижележащих элементов полости формы;

3) расчет значений коэффициентов β при заполнении нижележащих элементов полости формы по формуле

$$\beta_i = \frac{\beta_{i+1} \cdot \omega_{i+1}}{k_{i+1} \cdot \omega_i};$$

4) расчет коэффициента β при заполнении металлопровода по формуле (6);

5) расчет площади диафрагм, включаемых в начале процесса и в конце заполнения металлопровода и каждого из $(n-1)$ участков формы:

$$\omega_{00} = \frac{V_k (P_a - P_p)^{0,79} \beta_m}{1331577};$$

$$\omega_{0i} = \frac{V_k (P_i - P_p)^{0,79} \beta_i}{1331577},$$

где $P_i = P_a - \rho g (Z_m - l_0 + \sum_1^i H_k)$;

6) расчет моментов времени включения в сеть соответствующих диафрагм:

- для диафрагмы ω_{01} $t_0=0$;

- для диафрагмы ω_{0i} $t_1 = \frac{(Z_m - l_0) \rho g}{(P_a - P_p) \beta_m}$;

- для диафрагмы ω_{0i} $t_i = t_{i+1} + \frac{H_{i-1} \cdot \rho g}{\left(\frac{P_a - P_p}{\rho g} - (Z_m - l_0) - \sum_1^{i-1} H_k \right)}$.

На рис. 1 и рис. 2 приведены расчетные и экспериментальные данные по кинетике заполнения формы для отливки рабочего колеса гидромолота из сплава АК7ч при управлении заливкой с применением постоянного для всего процесса значения $\beta=0,219 \text{ с}^{-1}$ и при реализации трех рассчитанных значений β : $\beta_m=0,0273 \text{ с}^{-1}$, $\beta_1=0,0020 \text{ с}^{-1}$ и $\beta_2=0,219 \text{ с}^{-1}$.

Отливка представляет собой сочетание нижней протяженной в горизонтальном направлении части и тонкостенных лопаток с суммарной площадью ω_2 , расположенных сверху. Геометрические параметры отливки и металлопровода следующие: $Z_m=0,6 \text{ м}$; $l_0=0,3 \text{ м}$; $\omega_m=30 \text{ см}^2$; $V_k=0,07 \text{ м}^3$; $P_a-P_p=63000 \text{ Па}$; $\omega_1=300 \text{ см}^2$; $\omega_2=36 \text{ см}^2$; $R_{np}=0,1 \text{ см}$; $H_1=3 \text{ см}$; $H_2=3 \text{ см}$; $T_{10}=750 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{20}=300 \text{ }^\circ\text{C}$. Значение коэффициента $\beta=\beta_2=0,219 \text{ с}^{-1}$ рассчитано по формулам (2) и (4).

Анализ сравнения рис. 1 и рис. 2 показывает, что при заполнении формы с использованием одного фиксированного значения β в верхней и нижней частях отливки имеют место существенные отклонения уровня сплава от равновесных значений, вызванные значительным развитием фонтанирования.

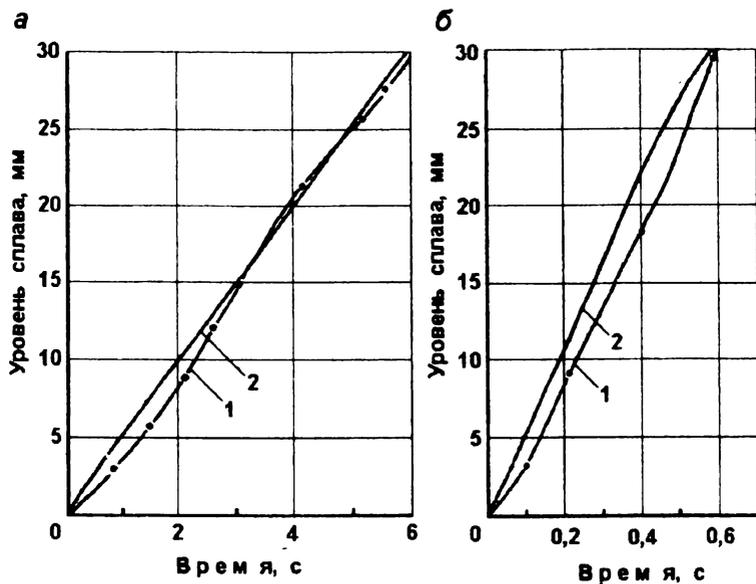


Рис. 1. Кинетика заполнения участков формы: а – нижнего при $\beta_1=0,002 \text{ с}^{-1}$; б – верхнего при $\beta_2=0,0219 \text{ с}^{-1}$; 1 – фактический уровень; 2 – расчетный уровень

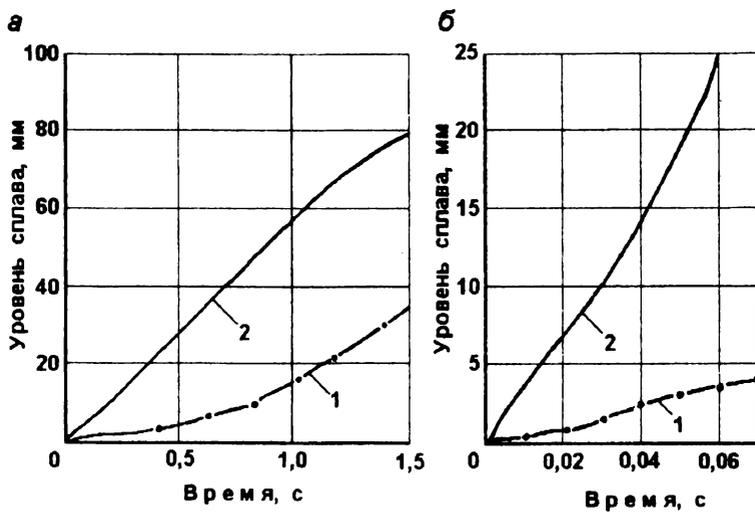


Рис. 2. Кинетика заполнения участков формы при фиксированном значении $\beta = 0,0219 \text{ с}^{-1}$: а – нижнего; б – верхнего; 1 – фактический уровень; 2 – расчетный уровень

Как видно из рис.2, б, при заполнении формы с одним фиксированным значением β уровень сплава в верхней тонкостенной части формы 1 значительно превышает равновесный 2. Поэтому в конце заполнения формы металлоstaticкое давление расплава намного больше перепада давлений, действующего на расплав. Это вызывает опускание уровня сплава с последующими его колебаниями и образование дефектов отливок в виде спаев.

При заполнении формы с использованием трех последовательно включаемых диафрагм с рассчитанными по приведенной методике площадями ($\omega_{\partial 0}=3,36$ мм, $\omega_{\partial 1}=1,14$ мм, $\omega_{\partial 2}=2,87$ мм) обеспечивается плавное, без существенного фонтанирования заполнение всех элементов формы. Погрешность расчетных значений времени не превышает 10 %.

Данная методика может быть рекомендована при изготовлении отливок со значительными перепадами толщин стенок ($\frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} < 0,5$ или $\frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} > 0,6$).

Литература

1. Чуркин Б. С., Гофман Э. Б. Основы литейной гидравлики. Екатеринбург: Изд-во Свердл. инж.-пед.ин-та, 1992. – 236 с.

А. Г. Панчук, Э. Б. Гофман,
Е. А. Казанцева, О. Е. Обожина

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛЕННОСТИ И СОСТАВА МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ ВО ВРЕМЯ ВЫПУСКА, РАСКИСЛЕНИЯ И РАЗЛИВКИ

Известно, что качество кипящего химически задутого слитка во многом зависит от состава металла и в первую очередь от содержания кислорода и температуры металла.

С целью изучения поведения компонентов металла в процессе разливки, нами было проконтролировано около 40 плавок стали марки 08кп. Пробы отбирали из ковша по мере его наполнения, в начале разливки, а также перед наполнением изложниц по ходу состава. В таблице представлено изменение состава металла и шлака за время разливки.

Как видно из рис. 1, содержание марганца и кремния в стали с момента окончания раскисления до разливки первых слитков заметно снижается, что может быть связано с продолжительным усреднением состава металла. В конце разливки, когда в ковше остается 40–50 т металла, вновь наблюдается падение