

составляет 17–19 с. На подготовку кокиля к очередной заливке (разборка, покраска, сборка) затрачивалось 90–100 с. Из графика видно, что даже при таком режиме работы кокиля, когда 45–50% времени цикла затрачивается на охлаждение кокиля до начальной температуры после выбивки отливки, максимальная температура рабочей поверхности достигает 1070 К, что вызывает упруго-пластические деформации в материале формы при контакте с расплавленным металлом отливки. Это недопустимо при длительной эксплуатации чугунных кокилей.

С целью выявления возможностей увеличения производительности кокиля и создания благоприятных условий для его работы исследовалось влияние принудительного охлаждения на цикл литья при различных начальных температурах рабочей поверхности чугунной формы. Результаты экспериментов приведены на рис. 2. В качестве охладителя в данном случае использовалась пароводяная смесь ( $P_{\text{изб}} = 0,2$  ати). Из графика (рис. 2) видно, что продолжительность цикла охлаждаемого кокиля составляет при изменении  $T_{2н}$  от 500 до 730 К 160–90 с, а в условиях естественного охлаждения при тех же начальных параметрах — 800–220 с. Таким образом, изменение начальной температуры более существенно влияет на цикл неохлаждаемого кокиля. Из графика также видно, что применение искусственного охлаждения особенно эффективно при низких начальных температурах. Цикл кокиля, охлаждаемого пароводяной смесью, при  $T_{2н} = 500$  К можно сократить в 6 раз по сравнению с естественно охлаждаемым, создавая при этом лучшие условия с точки зрения стойкости формы.

Результаты проведенных исследований были использованы при проектировании новой охлаждаемой кокильной оснастки для литья тонкостенных изделий из серого чугуна (мойка, утятница) на Слуцком заводе сантехоборудования. Производственные испытания показали, что производительность такой оснастки увеличилась в 2,5–2,8 раза по сравнению с неохлаждаемой.

УДК 621.746.6

*Н.П.Жмакин, Р.И.Есьман, Э.А.Гурвич*

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНОМ ПРИ ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ С ПОМОЩЬЮ ЕСТЕСТВЕННОГО ЗАЗОРА

С целью изучения кинетики роста газового зазора и возможностей его регулирования были проведены эксперименты в лабораторных условиях. Опыты проводились на плоских кокилях при литье отливки из сплава АЛ4.

При этом изменялись: толщина отливок, длина кокиля, его начальная температура, интенсивность охлаждения со стороны внешней поверхности.

Исследования показали, что основной причиной образования газового зазора и роста его величины для рассматриваемых случаев является деформация (прогиб) формы, которая в первые моменты после заливки по мере увеличения перепада температуры между рабочей и внешней поверхностями пластины кокиля растет, а затем при выравнивании температур и релаксации температурных напряжений на различных стадиях охлаждения металлической формы уменьшается. При сопоставлении кривых зазора  $\delta$  и деформации  $f$  (рис. 1) видно, что максимальная величина зазора несколько больше остаточной деформации в момент его образования (точка А). Это связано с усадкой самой отливки и термическим расширением (сжатием) кокиля в процессе их охлаждения.

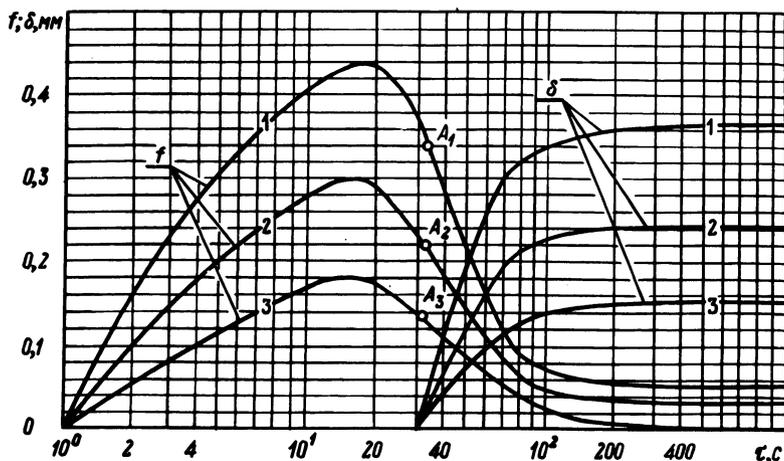


Рис. 1. Влияние длины кокиля на кинетику деформации и газового зазора (сплав АЛ4 — отливка; сталь 20 — кокиль; 1 —  $l = 260$  мм; 2 —  $l = 200$  мм; 3 —  $l = 160$  мм).

На рис. 2 показано влияние различных параметров на момент возникновения газового зазора. Из графика видно, что наибольшее влияние на момент возникновения зазора оказывает толщина отливки (рис. 2, а). Это объясняется тем, что при большей толщине необходима более прочная (толстая) корка для удержания гидродинамического напора жидкой фазы отливки при обратном прогибе пластины кокиля и отрыве ее от отливки.

Значительное влияние на начало образования зазора оказывает температура рабочей поверхности кокиля перед заливкой ( $T_{2H}$ ). Изменение во времени при одинаковом увеличении  $T_{2H}$  тем больше, чем толще отливка (рис. 2, б).

Момент возникновения зазора зависит также от длины кокиля. Особенно это характерно для тонкостенных отливок. Как видно из рис. 2, в относительная разница во времени начала образования зазора увеличивается с уменьшением толщины отливки, тогда как абсолютная разность невелика и почти одинакова (кривые почти эквидистантны).

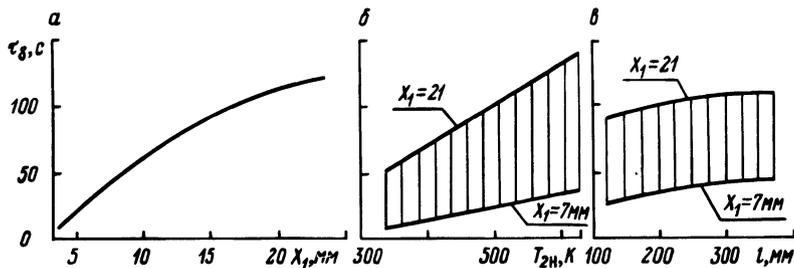


Рис. 2. Зависимость момента возникновения зазора от конструктивных и технологических параметров.

Изучение зависимости максимальной величины газового зазора от технологических и конструктивных параметров показало, что увеличение длины кокиля приводит к существенному росту величины максимального газового зазора. Это связано с тем, что длина кокиля при любой толщине отливки почти не влияет на момент возникновения зазора, в то время как максимальная величина деформации изменяется довольно заметно (рис. 1). Это приводит к смещению точки А для различных длин кокиля на более высокий или низкий уровень в один и тот же момент времени.

Рост зазора с увеличением ширины (длины) формы приводит, естественно, к увеличению времени затвердевания отливки, что особенно характерно для больших толщин отливок. Так, при увеличении длины кокиля в 3 раза (от 125 до 375 мм) в процессе литья отливки толщиной 28 мм в кокиль толщиной 30 мм время затвердевания увеличивается в 2,8–3 раза.

Значительное влияние на величину газового зазора оказывает также интенсивность охлаждения кокиля со стороны внешней поверхности.

Толщина отливки очень мало влияет на максимальную величину газового зазора при циклическом литье. Величина зазора, вызванного усадкой отливки, мала по сравнению с зазором за счет деформации формы.

Для определения естественного зазора между отливкой и кокилем, возникающим главным образом от деформации изгиба кокиля, основываемся на зависимости

$$f = - \frac{3}{2} \frac{Mb}{(n_2) 2h \cdot a)^3 E}, \quad (1)$$

где  $b, h, a$  – характерные размеры пластины кокиля,  $m$ ;  $n$  – число условных расчетных слоев в кокиле;  $E$  – модуль упругости материала кокиля,

$H/M^2$ ;  $M$  — момент изгиба пластины кокиля относительно концов ее закрепления (зависит от термонапряженного состояния кокиля);  $H \cdot m$ :

$$M = b(h \cdot a)^2 \sum_{i=n_1}^n \epsilon_i \left(i - n_1 - \frac{n_2}{2}\right) (\sigma_i^{(1)} + \sigma_i^{(2)} + \sigma_i^{(3)}), \quad (2)$$

где

$$\epsilon_i \begin{cases} -\frac{1}{2} & \text{при } i = n_1, i = n; \\ 1 & \text{при прочих значениях } i. \end{cases}$$

Здесь  $n_1$  — число слоев в отливке;  $n = n_1 + n_2$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots$  — номер слоя;  $\sigma_i^{(1)}$ ,  $\sigma_i^{(2)}$ ,  $\sigma_i^{(3)}$  — соответственно напряжения сжатия, растяжения и изгиба за счет неравномерного поля температур, определяемые по уравнениям термоупругости, которые в конечно-разностной форме имеют вид

$$\sigma_i^{(1)} = -\beta_i E \left[ \left( \frac{u_i + u_{i-1}}{2} + 1 \right) T_0 - T_{20} \right]$$

при  $i = n_2, n_2 + 1, \dots, n$ ;

$$\sigma_i^{(2)} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=n_2}^n \epsilon_i \beta_i E \left[ \left( \frac{u_i + u_{i-1}}{2} + 1 \right) T_0 - T_{20} \right];$$

$$\sigma_i^{(3)} = \frac{3}{2n_2^3} \left(i - n_1 - \frac{n_2}{2}\right) \sum_{i=n_2}^n \epsilon_i \beta_i E \left(i - n_1 - \frac{n_2}{2}\right) \times \\ \times \left[ \left( \frac{u_i + u_{i-1}}{2} + 1 \right) T_0 - T_{20} \right],$$

где  $\beta_i$  — коэффициент температурного расширения материала кокиля (вычисляется по температуре  $(u_i + u_{i-1})/2$ ),  $1/\text{град}$ .

Зазор, возникающий из-за деформации кокиля, в любой момент времени рассчитывается по формуле

$$\delta = f_z - f(t), \quad (3)$$

где  $f(t)$  — величины прогиба пластины кокиля в рассчитываемый момент времени,  $m$ ;  $f_0$  — величина прогиба пластины кокиля в момент возникновения зазора.