

Рис. 1. Жаростойкость образцов из сталей 5XHM и 4X5МФС:

1 — без ХТО; 2 — после бороалитирования; 3 — борирования; 4 — алитирования; 5 — боросилицирования; 6 — силицирования

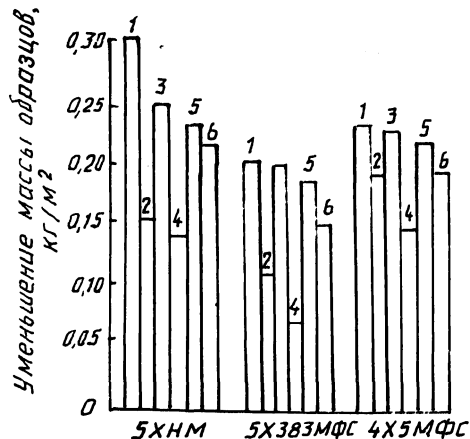


Рис. 2. Химическая стойкость образцов из сталей 5XHM, 5X3В3МФС, 4X5МФС в жидком алюминиевом сплаве:

1 — без ХТО; 2 — после бороалитирования; 3 — борирования; 4 — алитирования; 5 — боросилицирования; 6 — силицирования

в течение 4 ч. Как видно из рис. 2, наибольшей стойкостью к растворению обладают алитированные и бороалитированные образцы. При использовании сталей 4X5МФС и 5X3В3МФС некоторое повышение их стойкости в расплаве обеспечивается также и силицированием. Борированные и боросилицированные слои обеспечивают меньшее повышение стойкости сталей в расплаве алюминия по сравнению с силицированием.

ЛИТЕРАТУРА

1. С и т к в и ч М.В., Б е л ь с к и й Е.И. Совмещенные процессы химико-термической обработки с использованием образцов. — Мн., 1987. — 156 с.

УДК 621.74

Р.И.ЕСЬМАН, Н.П.ЖМАКИН,
А.И.НОВИКОВ

ТЕПЛОВОЕ И ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ОТЛИВКОЙ И ФОРМОЙ

В результате теплового и термомеханического взаимодействия между отливкой и формой образуется газовый зазор. Кинетика газового зазора в значительной степени определяется геометрией отливки и формы (рис. 1, а, б).

Для процесса формирования осесимметричной цилиндрической отливки характерно наличие экстремума на графике изменения газового зазора во

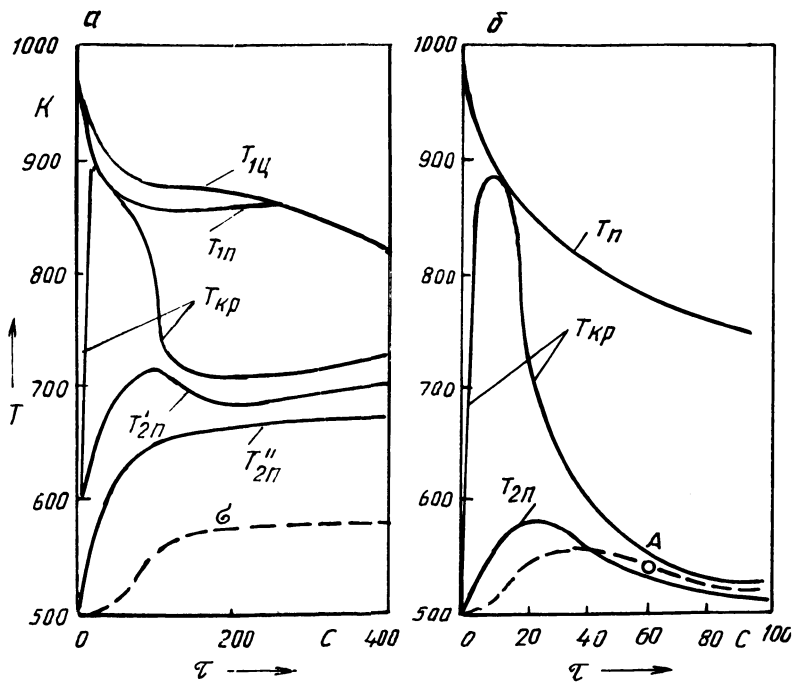


Рис. 1. Изменение во времени температуры:

а — отливки (сплав Ал4) и плоского кокиля (чугун), $2X_1 = 30$ мм, $X_2 = 30$ мм, $\lambda_{кр}/\delta_{кр} = 1700$ Вт/(м²·К); *б* — отливки (сплав Ал4) и цилиндрического кокиля (чугун), $2X_1 = 10$ мм, $X_2 = 30$ мм, $\lambda_{кр}/\delta_{кр} = 1700$ Вт/(м²·К); $T_{1ц}$, $T_{1п}$ — температура соответственно центра и поверхности отливки; $T'_{2п}$, $T''_{2п}$ — температура внутренней и наружной поверхностей кокиля

времени. Это объясняется различием термонапряженного состояния при деформировании и усадке плоской и цилиндрической отливки и формы. Внутренние волокна цилиндрической стенки формы под действием сжимающих напряжений сильно расширяются и деформируются к периферии в направлении от отливки в отличие от плоского кокиля, который за счет изгиба плоской стенки деформируется в направлении отливки. Внутренние волокна получают деформацию обратного знака, и после достижения максимального их значения газовый зазор уменьшается.

С целью снижения влияния формы на усадку затвердевающей отливки и устранения причин, вызывающих горячие трещины, применялся метод предварительного раннего раскрытия форм. Причем раскрытие осуществлялось в период, когда значение газового зазора превышало соответствующие значения перемещений поверхностей формы и отливки (рис. 1, б, точка А).

Математическая модель включала: систему дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности с учетом закона выделения спектральной теплоты кристаллизации в интервале $\Delta T_{кр} = T_L - T_S$; несимметричные условия сопряжения между отливкой и формой (матрицей и песчаным стерж-

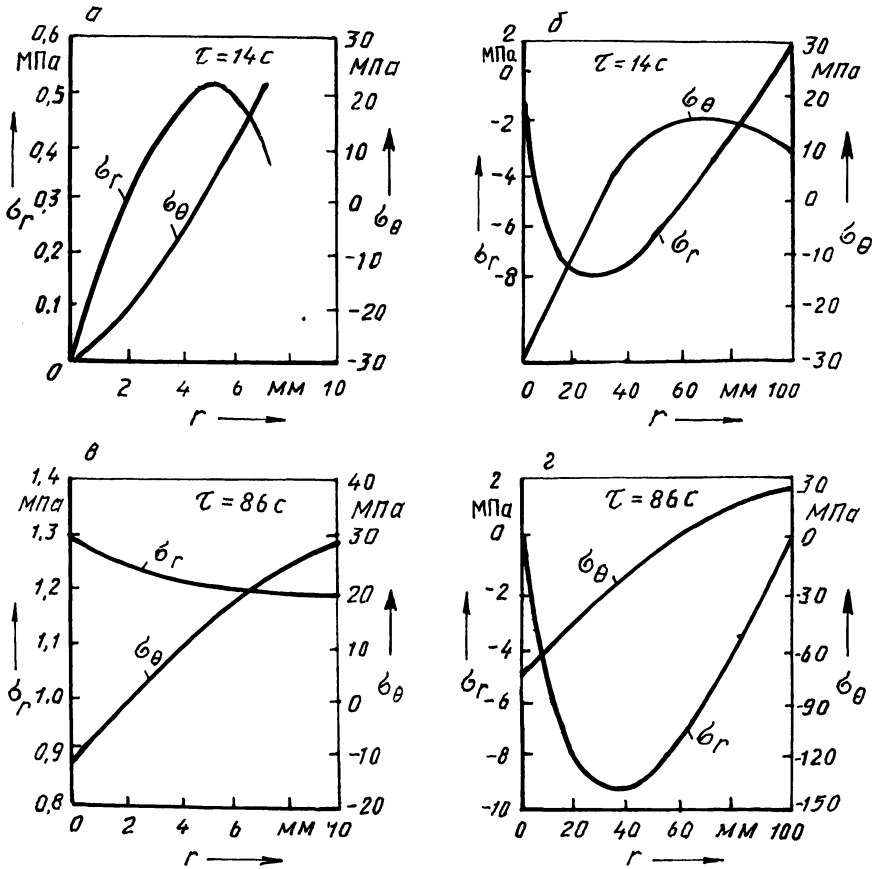


Рис. 2. Эпюры радиальных и тангенциальных температурных напряжений в отливке и матрице:
 а, в — отливка; б, г — матрица ($R_1 = 10$ мм, $R_2 = 100$ мм, $T_{10} = 973$ К, $T_{20} = 473$ К, $\lambda_{кр} = 0,35$ Вт/(м·К), $\delta_{кр} = 0,25$ мм)

нем); уравнения термоупругости, устанавливающие зависимость между напряжениями и деформациями при наличии градиента температуры.

Температурное поле системы сопряженных тел описывается дифференциальным уравнением Фурье

$$c_i(T_i)\rho_i(T_i) \frac{\partial T_i(r, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r\lambda_i(T_i) \frac{\partial T_i(r, t)}{\partial r}],$$

где для отливки $i = 1$, для матрицы $i = 2$, для песчаного стержня $i = 3$.

Условие сопряжения найдено по методике, предложенной в работе [1]. Связь между деформациями и напряжениями определяем из соотношений:

$$\epsilon_r - \beta T = \frac{1}{E} [\sigma_r - \nu(\sigma_\theta + \sigma_z)];$$

$$\epsilon_{\theta} - \beta T = \frac{1}{E} [\sigma_{\theta} - \nu(\sigma_r + \sigma_z)];$$

$$\epsilon_z - \beta T = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_{\theta})].$$

Используя некоторые положения теории упругости [2], получим выражения для определения напряжений:

$$\sigma_r = \frac{\beta E}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left(\frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} \int_a^b Trc'r - \int_a^r Trdr \right);$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{\beta E}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left(\frac{r^2 + a^2}{b^2 - a^2} \int_a^b Trdr + \int_a^r Trdr - Tr^2 \right);$$

$$\sigma_z = \frac{\beta E}{1-\nu} \left(\frac{2}{b^2 - a^2} \int_a^b Trdr - T \right),$$

где β — коэффициент термического расширения; ν — коэффициент Пуассона; E — модуль упругости.

Перемещения внутренней и наружной поверхностей цилиндрической стенки (отливки, формы):

$$e' = 2\beta(1+\nu) \frac{a}{b^2 - a^2} \int_a^b Trdr,$$

$$e'' = 2\beta(1+\nu) \frac{b}{b^2 - a^2} \int_a^b Trdr.$$

На основе математической модели процесса затвердевания разработаны программа и алгоритм расчета. Решение задачи реализовано на ЭВМ БЭСМ-6. Анализ полей температур и напряжений (рис. 2), построенных по результатам расчета, позволил определить параметры оптимальной технологии получения корпусных отливок без горячих трещин и других дефектов с заданными служебными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е с ь м а н Р.И., Ж м а к и н Н.П., Ш у б Л.И. Расчеты процессов литья. — Мн., 1977. — 204 с. 2. Т и м о ш е н к о С.П., Г у д ь е р Дж. Теория упругости. — М., 1975. — 362 с.