

Проблема предупреждения электростатических зарядов, а также снижения степени их воздействия имеет важное народнохозяйственное значение. Наиболее простой и эффективный способ отвода зарядов — заземление. Быстрому стеканию и рассеиванию электростатических зарядов способствует поддержание на определенном уровне влажности воздуха в помещениях, применение различных нейтрализаторов, а также антистатических веществ и материалов. Большое количество факторов, влияющих на статическую электризацию, трудность их детального учета обуславливают низкую воспроизводимость наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальное обследование электростатических напряжений в сборочных цехах электронных приборов / П.М. Корниенко, В.С. Лившиц, В.Ф. Силюк, В.М. Климович // Науч. и прикл. пробл. энергетики. — Мн.: Выш. шк. — 1982. — Вып. 9. — С. 94–97. 2. Дюж е в а Л.Я. Гигиена труда и профессиональные заболевания. — М., 1972. — 130 с.

УДК 621.74

Р.И. ЕСЬМАН, В.М. КАЙНОВ,
А.И. НОВИКОВ, Ю.П. ЯРМОЛЬЧИК

РЕШЕНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ СОПРЯЖЕННЫХ ТЕЛ НА ЭВМ

Рассматривается процесс затвердевания и охлаждения осесимметричной цилиндрической отливки в металлической форме, образованной двумя матрицами и песчаным стержнем (рис. 1).

С внутренней поверхности матрицы покрыты краской толщиной $\delta_{кр}$. В процессе охлаждения отливки матрицы могут деформироваться за счет нагревания. В результате термических деформаций формы и усадки отливки после образования твердой корки между отливкой и формой образуется газовый зазор толщиной δ , изменяющийся во времени. В общем случае охлаждения отливки с наружной поверхности происходит за счет теплоотдачи через слой краски и газовый зазор в форму.

С внутренней поверхности отливка охлаждается за счет теплопроводности и аккумуляирования теплоты песчаным стержнем. Будем предполагать, что охлаждение внешней поверхности формы происходит по закону Ньютона с известным коэффициентом теплоотдачи.

После заливки металла система может быть представлена как многослойное тело. Пронумеровав I, II, III на рис. 1 и обозначив температуру в каждом слое через $T_k(r, t)$, получим описание теплового режима работы системы в виде

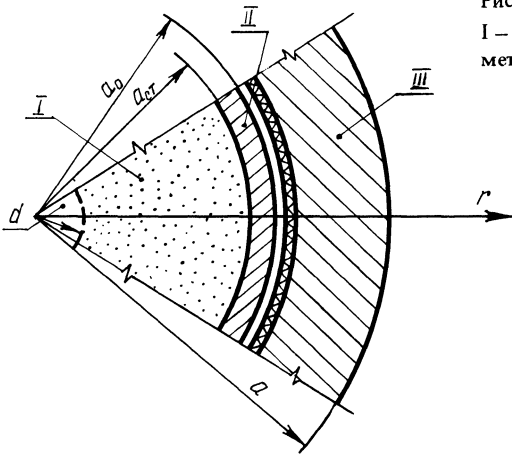
$$c_k(T_k) \rho_k(T_k) \cdot \frac{\partial T_k(r, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda(T_k) \frac{\partial T_k(r, t)}{\partial r} \right),$$

где $k = I, II, III$.

Сопряжение стержня и отливки в тепловом отношении происходит при непрерывном изменении температуры. При этом стержень и отливка могут рас-

Рис. 1. Расчетная схема:

I – песчаный стержень; II – отливка; III – металлическая форма (матрица)



смагиваться как единый слой, теплофизические свойства которого терпят разрыв на границах сопряжения слоев. Введя обозначения

$$\lambda_1, c_1, \rho_1 = \begin{cases} \lambda'_1, c'_1, \rho'_1 & \text{в песчаном стержне (слой I);} \\ \lambda''_1, c''_1, \rho''_1 & \text{в отливке (слой II),} \end{cases}$$

схему можно представить как состоящую из двух тел, причем первым телом назовем совокупность стержня и отливки, а вторым – матрицы. Соответственно температуру и теплофизические характеристики в телах будем пометать индексом 1 или 2. Тогда задача сводится к решению уравнений:

$$\begin{aligned} c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} \right); & d \leq r \leq a_0; \\ c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} \right); & (a_0 \leq r \leq a), \end{aligned} \quad (1)$$

при граничных условиях

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = \begin{cases} \alpha_1 (T_1 - T_f) & \text{при } d \neq 0, \\ 0 & \text{при } d = 0; \end{cases}$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\alpha_2 (T_2 - T_c);$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = \frac{(T_1 - T_2) ((\lambda_r / \delta) + \alpha_n) \lambda_{кр} / \delta_{кр}}{(\lambda_{кр} / \delta_{кр}) + (\lambda_r / \delta) + \alpha_n}, \quad (2)$$

где T_f — температура хладагента; T_c — температура наружной среды.

В условии (2) $\alpha_{\text{л}}$ — лучистый коэффициент теплоотдачи между отливкой и поверхностью краски через газовый слой:

$$\alpha_{\text{л}} = \epsilon_{1-2} \sigma (T_1 + T_{\text{кр}}) (T_1^2 + T_{\text{кр}}^2),$$

где $T_{\text{кр}}$ — температура наружной поверхности краски:

$$T_{\text{кр}} = \frac{T_2 (\lambda_{\text{кр}}/\delta_{\text{кр}}) + T_1 ((\lambda_{\text{г}}/\delta) + \alpha_{\text{л}})}{(\lambda_{\text{кр}}/\delta_{\text{кр}}) + (\lambda_{\text{г}}/\delta) + \alpha_{\text{л}}},$$

$\lambda_{\text{г}}$ — теплопроводность газа в зазоре.

В период фазового перехода на слое отливки вместо уравнения (1) рассматривается уравнение теплопроводности, теплофизические характеристики в котором сглаживаются в некоторой области вблизи движущегося фронта границы фаз. Выбор области и способ сглаживания описан в [1].

Для численного решения задачи покроем расчетную область сеткой, равномерной на каждом из слоев. Шаги сетки на слоях, соответствующих стержню, отливке и кокилю, обозначим соответственно h_3, h_1, h_2 , причем $h_3 = a_{\text{ст}}/n_3$; $h_1 = X_1/n_1$; $h_2 = X_2/n_2$, где n_3, n_1, n_2 — количество узлов сетки в стержне, отливке и кокиле. Таким образом, в теле 1 сетка в целом должна рассматриваться как неравномерная, а в теле 2 — равномерная.

Одновременно рассмотрим фиктивную сетку, перекрывающую тела на полшага на каждой границе. Узлы фиктивной сетки пронумеруем от -1 до n , где $n = n_1 + n_2 + n_3$. На слое $n_3 + n_1$ и $n_3 + n_1 - 1$, т. е. на контактной поверхности, сетка имеет двойные узлы. Значение температуры в узлах сетки обозначим u_i ($i = -1, 0, \dots, n_3 + n_2$) и v_i ($i = n_3 + n_1 - 1, n_3 + n_1 + 1, \dots, n$).

Определение δ производится исходя из рассмотрения деформации формы по формулам (5) работы [1]

$$\delta_T = \left\{ \frac{1 + \nu}{E} (\sigma_r - \nu (\sigma_r^m + \sigma_\theta^m)) - \nu \epsilon_z + (1 + \nu) \beta_m (\bar{v} + 1) T \right\} X_2,$$

где X_2 — толщина кокиля.

Верхний индекс m обозначает, что соответствующие параметры берутся посередине между узлами с номером $n_1 + n_3$ и $n_1 + n_3 - 1$.

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.: Выш. шк., 1977. — 264 с.