

## РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ КОНФОРМ

Солопко И.В. – ст. преподаватель

Сибирский федеральный университет

Рассматривалась тепловая задача формирования литой заготовки шириной  $b$  и высотой  $h$  для непрерывного прессования способом Конформ в трехмерном пространстве и времени (рисунок 1). При этом учитывалось тепловое взаимодействие затвердевающего расплава с ручьем колеса-кристаллизатора подвижной частью разъемного контейнера, с башмаком неподвижной частью разъемного контейнера, теплообмен между колесом-кристаллизатором и башмаком, а также влияние внешней среды, в том числе принудительного охлаждения кристаллизатора сбоку и(или) снизу. Особое значение уделялось описанию тепловой картины в очаге прессования, в котором выделяется тепло от работы сил трения и деформации.

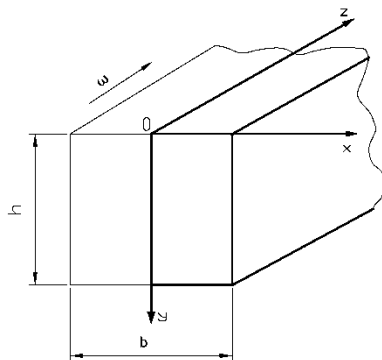


Рисунок 1. Система координат при анализе затвердевания слитков прямоугольного сечения

Для определения температуры в переходной зоне твердо-жидкого состояния слитка использовали квазиравновесную теорию двухфазной зоны. Общее уравнение теплопроводности слитка имеет вид:

$$\Psi(T) \frac{dT}{dt} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q_v}{\rho c},$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности алюминиевого сплава АД31,  $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ ,

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $\rho$  – плотность,  $c$  – теплоемкость;

$t$  – время;

$\Psi(T)$  – коэффициент эффективной температуропроводности сплава,

$$\Psi(T) = 1 + \frac{Q}{c(1-k)(T_K - T_L)} \left( \frac{T_K - T_L}{T_K - T} \right)^{\frac{2-K}{1-K}}, \text{ при } T_S \leq T \leq T_L$$

$$\Psi(T) = 1, \text{ при } T > T_L, T < T_S,$$

где  $Q$  – скрытая теплота кристаллизации (теплота, выделяемая при кристаллизации чистого алюминия),

$k$  – коэффициент сегрегации примеси между твердой и жидкой фазой;

$T_K$  – температура кристаллизации чистого алюминия;  
 $T_L$  – температура ликвидус сплава;  
 $T_S$  – температура солидус сплава;  
 $T$  – текущая температура двухфазной зоны;  
 $Q_v$  - объемная мощность источников тепла (тепловыделение при деформации),

$$Q_v = \sigma_s (1,45 \ln \mu + 0,8) V \dot{V} N,$$

где  $\sigma_s$  - предел текучести материала заготовки в очаге деформации,

$$\sigma_s = 713,6 e^{(-0,0076\theta)} \varepsilon^{(0,1374-0,00047\theta)} \xi^{(0,0369+0,00017\theta)},$$

$e$  – основание натурального логарифма;

$\theta$  - температура прессования;

$\varepsilon$  - степень деформации,  $\varepsilon = 1 - 1/\mu$ ,  $\mu$  - коэффициент вытяжки;

$\xi$  - скорость деформации,  $\xi = 6V/(D-d)$ ,  $D$  - диаметр заготовки,  $d$  – диаметр прессуемой проволоки;

$V$  – скорость движения заготовки;

$B$  – ширина калибра;

$H$  – расстояние между дном калибра и башмаком.

Уравнение теплопроводности стального разъемного контейнера, определяется по формуле:

$$\frac{dT}{dt} = a_1 \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

где  $a_1$  - коэффициент температуропроводности стали,  $a_1 = \frac{\lambda_1}{\rho_1 c_1}$ ,  $\lambda_1$  – коэффициент

теплопроводности;  $\rho_1$  – плотность;  $c_1$  – теплоемкость.

Систему координат выбирали так, что плоскость  $z=0$  совпадает с зеркалом металла в месте заливки, а ось  $z$  направлена вдоль вытягиваемого слитка. Направление вытяжки совпадает с осью  $Y$ . Ввиду симметрии рассматривали половину кристаллизатора (с башмаком) и слитка (рисунок 1). В качестве начального условия принимали равномерное распределение температуры по толщине слитка и по объему кристаллизатора в начальный момент времени. В плоскости симметрии ( $x=0$ ) ставится условие симметрии температурного поля:  $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ . На поверхностях, ограничивающих

слиток, кристаллизатор и башмак, теплообмен определяется законом Ньютона, поэтому здесь задавали граничные условия третьего рода. Длина слитка со временем увеличивается до того момента, когда температура на свободном конце слитка достигает температуры прессования. После заполнения контейнера и матрицы в пресс-изделии, температуру в очаге прессования принимали в качестве начального условия температуры изделия.

Уравнение теплопроводности пресс-изделия записывается в следующем виде:

$$\frac{dT}{dt} = a \left( \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

где  $r$  – радиус пресс-изделия.

Ввиду симметрии рассматривали половину продольного сечения цилиндрического пресс-изделия. Направление вытяжки совпадает с осью  $Y$  (рисунок 1). В качестве начального условия принимали равномерное распределение температуры по радиусу и начальной длине пресс-изделия, равное температуре

прессования в момент начала прессования через матрицу. В плоскости симметрии ( $r=0$ ) ставится условие симметрии температурного поля:  $\frac{\partial T}{\partial r} = 0$ . На поверхности и свободном конце пресс-изделия теплообмен определяется законом Ньютона, поэтому здесь также задавали граничные условия третьего рода.

Таким образом, с учетом соответствующих краевых условий по вышеизложенным уравнениям можно определить распределения температурного поля в каждый момент времени, длину слитка, параметры переходного процесса и полнее исследовать возможности непрерывного литья-прессования способом Конформ.

