

УДК 536.212.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФЕРМЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГАЗОВОЙ РЕЗКИ

© А. Г. Хакимов

hakimov@anrb.ru

Институт механики УНЦ РАН, Уфа

Введение. Проведение монтажных и демонтажных работ с помощью газовой резки на работающих силовых элементах конструкции сопряжено с нагревом и перераспределением напряжений в них, что может повлечь нарушение условий их прочности.

Например, выполнение технологической операции газовой резки несильных элементов конструкции, контактирующих с важными силовыми стержнями стропильной фермы сопряжено с нагревом этих элементов и уменьшением их несущей способности, что может привести к обвальному разрушению кровли производственного корпуса комбината. Поэтому необходимо моделирование этого технологического процесса с учетом действующих сил, температурного поля и напряженно-деформированного состояния конструкции. При выполнении демонтажа приходится проводить газовую резку элементов силовых конструкций. При газовой резке двутавровых элементов на максимально близком расстоянии δ от силового элемента фермы происходит нагрев этих элементов. Поэтому моделируется нестационарное температурное поле в пластинке, подвергающейся газовой резке [1–3].

Постановка задачи. В двумерной постановке рассматривается нестационарное тепловое состояние пластинки, подвергающейся газовой резке, с целью определения температурного поля для дальнейшего нахождения термонапряженного состояния пластинки. Стальная пластинка толщиной h имеет теплоизолированные границы и поверхности. Такое допущение о теплоизолированных поверхностях позволяет получить результаты с завышением значений температуры в отдельных точках пластинки, что пойдет в запас прочности рассматриваемой реальной фермы.

Уравнение теплопроводности имеет вид

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{W}{\Delta x \Delta y h} - \frac{\alpha_1 (T - T_b) + \sigma_0 \psi a_r (T^4 - T_b^4)}{h},$$

где T , T_b — температура элемента пластинки и окружающего воздуха, ρ , C , λ — плотность, удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности материала пластинки; W — мощность пламени установки газовой резки, x , y — прямоугольные декартовы координаты, t — время, Δx , Δy — приращения координат x , y , $\sigma_0 = 5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴) — постоянная Стефана – Больцмана, ψ — коэффициент эффективности радиационных поверхностей зоны, a_r — степень черноты поверхности, α_1 — коэффициент конвективного теплообмена между пластинкой и воздухом. Вне зоны резки $W = 0$. На границе пластинки выполняется условие

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = 0,$$

где n — внешняя нормаль к границе.

Начальные условия. В начальный момент времени известно поле температур, равное 20 °С.

В пластинке происходят следующие тепловые процессы: подвод тепловой энергии мощностью W к ячейке пластинки площадью $\Delta x \Delta y$, передача тепла за счет теплопроводности, конвективный теплообмен и теплообмен излучением между поверхностью пластинки и окружающей средой (воздухом). Задача решается численно. По заданному полю температур в

момент времени t_i и шагу по времени Δt определяется поле температур в момент времени t_{i+1} . В данном примере задается мощность установки газовой резки W . Коэффициент теплообмена пластинки и воздуха α_1 принят равным нулю. Удельная теплоемкость материала пластинки равна $450 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, плотность материала пластинки 7800 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности пластинки $\lambda = 51,1 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$. Температура окружающего воздуха [2] на большом удалении от стенки $T_b = 20^\circ \text{С}$. Коэффициент эффективности радиационных поверхностей пластинки $\psi = 0,1$, степень черноты поверхности пластинки $a_r = 0,15$. Толщина пластинки $h = 10 \text{ мм}$, $\Delta x = 10 \text{ мм}$, $\Delta y = 10 \text{ мм}$. Начальные температуры всех элементов системы равны 20°С . При достижении температуры ячейки 1500°С начинается нагрев следующей ячейки. С увеличением полезной мощности газовой горелки увеличивается скорость резки. Расчеты показывают, что при полезной мощности газовой горелки 3 кВт за десять секунд горелка прорезала пластинку на 3 см . При данной полезной мощности установки газовой резки безопасное расстояние от силовых элементов может быть принято равным 20 мм . С учетом запаса безопасное расстояние от силовых элементов может быть принято равным 30 мм . Причем на расстоянии 20 мм температура пластинки не превышает 200°С . При таком распределении температур в пластинке при газовой резке несущая способность металла стропильной фермы практически не изменяется.

На рис. 1 приводится поле температур в пластинке через двенадцать секунд резки при полезной мощности газовой горелки 2 кВт и ширине прорези 5 мм .

