Блок 3

Сафонов Андрей ТФ-15-22
Вариант 18

Задача 3.1.

Плоская металлическая стенка с одной стороны омывается горячим газом, а с другой стороны охлаждается кипящей водой. Для интенсификации теплопередачи было решено на поверхности, обращенной к газу приварить ребра. По ошибке ребра были приварены со стороны воды. Вычислить тепловой поток через стенку и сравнить его с тем, который имел бы место для стенки, оребренной со стороны газа, а также для неоребренной стенки. Вычисления проделать для следующих значений величин: температура газа **$T_{ж1}$** = «T1» °C, температура воды **$T_{ж2}$** = «T2» °C, коэффициенты теплоотдачи соответственно равны **α_1** = «α1» Вт/м²К, **α_2** = «α2103» Вт/м²К, толщина стенки **$\delta_{ст}$** = «δc_мм» мм, коэффициент теплопроводности материала стенки **$\lambda_{ст}$** = 20 Вт/мК.

Вычислить поверхность теплообмена (с правильно приваренными ребрами), необходимую для передачи 1000 кВт тепла. Принять, что ребра изготавливаются из того же материала, что и стенка; коэффициенты теплоотдачи на поверхности ребер принять равными соответственно α_1 (либо α_2). Толщина ребер равна **$\delta_р$** = 3 мм, высота ребер **$h_р$** = «hp мм» мм, расстояние между ребрами **c** = 10 мм.

N var	T1	T2	α1	α2*10^3	δc, мм	hp, мм
18	1470	136	535	39	4	12

$T_{g1} := 1470\ °C \quad \alpha_1 := 535\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad \delta_{ct} := 4 \cdot 10^{-3}\ м \quad h_p := 0.012\ м$

$T_{g2} := 136\ °C \quad \alpha_2 := 39 \cdot 10^3\ \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad \lambda_{ct} := 20\ \frac{Вт}{м \cdot К} \quad \delta_p := 3 \cdot 10^{-3}\ м \quad c := 0.01\ м$

При отсутствии ребер:

Плотность теплового потока

$$q_0 := \frac{T_{g1} - T_{g2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}}} = 6.368 \times 10^5\ \frac{Вт}{м^2}$$

Количество теплоты

$$Q_0 := q_0 \cdot (\delta_p + c) \cdot N_p \cdot b$$

Количество теплоты на единицу глубины и на количество ребер:

$$Q_0 := q_0 \cdot (\delta_p + c) = 8.279 \times 10^3\ \frac{Вт}{м}$$

Ребра находятся со стороны воды:

Потери с торца при увеличении ребра:

$$H := h_p + \frac{\delta_p}{2}$$

Так как H - ребро конечной длины, то используем выражение:

$$\upsilon(x) = \blacksquare\cdot\upsilon_0\cdot\frac{ch(m(H-x))}{ch(mH)}$$

Эффективность ребра :

$$\eta_p := \frac{Q_p}{Q_0} = \blacksquare\cdot th(m\cdot H)\cdot\lambda_{ct}\cdot\frac{m}{\alpha}$$

$$m := \sqrt{\frac{2\cdot\alpha_2}{\lambda_{ct}\cdot\delta_p}} = 1.14\times 10^3\ \frac{1}{м}$$

$$th(mH) := \frac{e^{m\cdot H} - e^{-m\cdot H}}{e^{m\cdot H} + e^{-m\cdot H}}$$

$$\eta_p := \lambda_{ct}\cdot th(m\cdot H)\cdot\frac{m}{\alpha_2} = 0.585$$

Количество тепла, отводимое от ребра

$$Q_p := q_0\cdot\eta_p\cdot\delta_p\cdot b\cdot N_p$$

Количество тепла на единицу глубины

$$Q_p := q_0\cdot\eta_p\cdot\delta_p = 1.117\times 10^3\ \frac{Вт}{м}$$

Количество тепла, отводимое от стенки:

$$Q_{ct} := q_0\cdot c\cdot b\cdot N_p$$

Количество тепла на единицу глубины

$$Q_{ct} := q_0\cdot c = 6.368\times 10^3\ \frac{Вт}{м}$$

Суммарное количество теплоты $\frac{Вт}{м}$

$$Q_{сум} := Q_{ct} + Q_p = 7.485\times 10^3\ \frac{Вт}{м}$$

Эффективность оребренной стенки

$$\eta_{ct} := \frac{Q_{сум}}{Q_0} = 0.904$$

Тепловой поток через стенку:

$$q_{01} := \frac{T_{g1} - T_{g2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot \eta_{ct}} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}}} = 6.36 \times 10^5 \quad \frac{Вт}{м^2}$$

Ребра находятся со стороны газа:

Эффективность ребра:

$$m := \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_1}{\lambda_{ct} \cdot \delta_p}} = 133.542 \quad \frac{1}{м}$$

$$th(mH) := \frac{e^{m \cdot H} - e^{-m \cdot H}}{e^{m \cdot H} + e^{-m \cdot H}}$$

$$\eta_p := \lambda_{ct} \cdot th(m \cdot H) \cdot \frac{m}{\alpha_1} = 4.728$$

Количество тепла на единицу глубины

$$Q_p := q_0 \cdot \eta_p \cdot \delta_p = 9.033 \times 10^3 \quad \frac{Вт}{м}$$

Количество тепла на единицу глубины

$$Q_{ct} := q_0 \cdot c = 6.368 \times 10^3 \quad \frac{Вт}{м}$$

Суммарное количество теплоты

$$Q_{сум} := Q_{ct} + Q_p = 1.54 \times 10^4 \quad \frac{Вт}{м}$$

Эффективность оребренной стенки:

$$\eta_{ct} := \frac{Q_{сум}}{Q_0} = 1.86$$

Тепловой поток через стенку:

$$q_{02} := \frac{T_{g1} - T_{g2}}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot \eta_{ct}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ct}}{\lambda_{ct}}} = 1.084 \times 10^6 \quad \frac{Вт}{м^2}$$

Ребра должны быть приварены со стороны, где α меньше - то есть со стороны газа

Рассчитаем поверхность теплообмена для передачи 1000кВт тепла:

$$F_0 := \frac{1000 \cdot 10^3}{q_{02}} = 0.922 \ м^2$$

Задача 3.2.

Температура газа, движущегося по трубопроводу, измеряется термопарой, помещенной в гильзу, впаянную в трубопровод). Гильза выполнена из трубки с наружным диаметром **dн** =«dн_мм» мм, толщиной стенки **δ** = «δ_мм» мм и имеет длину **l** = «l, мм» мм. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к гильзе равен **α** = «α» Вт/м²К. Термопара прижата к запаянному концу гильзы и показывает температуру $\mathbf{T_1}$ = «T1» °С, температура основания гильзы (трубопровода) равна $\mathbf{T_2}$ = «T2» °С.

Рассчитать ошибку в показаниях термопары и истинную температуру газа для двух случаев: а) гильза выполнена из меди, $\boldsymbol{\lambda_м}$ = 380 Вт/мК.; б) гильза выполнена из нержавеющей стали -$\boldsymbol{\lambda_{ст}}$ = 19,6 Вт/мК.

N var	dн, мм	δ, мм	l, мм	α	T1	T2
18	11	0.4	120	34	123	76

$T_1 := 123 + 273 = 396$ К $\delta := 0.4\cdot10^{-3}$ м $\alpha := 34\ \dfrac{Вт}{м^2\cdot К}$ $d_H := 11\cdot10^{-3}$ м

$T_2 := 76 + 273 = 349$ К $l := 120\cdot10^{-3}$ м

$\lambda_m := 380\ \dfrac{Вт}{м\cdot К}$ $\lambda_{st} := 19.6\ \dfrac{Вт}{м\cdot К}$

Решение для ребра:

$$\upsilon(x) := c_1\cdot sh(mx) + c_2\cdot ch(mx)$$

Граничные условия

$$x := 0$$

$$u(0) := c_1\cdot sh(0) + c_2\cdot ch(0)$$

$$\upsilon(0) := T_2 - T_g$$

$$c_2 := T_2 - T_g$$

$$x := l$$

$$-\lambda\cdot\left(\frac{d}{dx}\upsilon(l)\right) := -\lambda\cdot\left(c_1\cdot m\cdot ch(m\cdot l) + c_2\cdot m\cdot sh(m\cdot l)\right)$$

$$-\lambda\cdot\left(\frac{d}{dx}\upsilon(l)\right) := \alpha\cdot\upsilon(l) = \alpha\cdot\left(T_1 - T_g\right)$$

$$-\lambda\cdot\left(c_1\cdot m\cdot ch(m\cdot l) + c_2\cdot m\cdot sh(m\cdot l)\right) = \alpha\cdot\left(T_1 - T_g\right)$$

Подставим c_2:

$$-\lambda\cdot\left[c_1\cdot m\cdot ch(m\cdot l) + \left(T_2 - T_g\right)\cdot m\cdot sh(m\cdot l)\right] = \alpha\cdot\left(T_1 - T_g\right)$$

Тогда:

$$c_1 = \frac{-\alpha\cdot\left(T_1 - T_g\right)}{\lambda\cdot m\cdot ch(m\cdot l)} - \frac{\lambda\cdot\left(T_2 - T_g\right)\cdot m\cdot sh(m\cdot l)}{\lambda\cdot m\cdot ch(m\cdot l)} = \frac{-\alpha\cdot\left(T_1 - T_g\right)}{\lambda\cdot m\cdot ch(m\cdot l)} - \frac{\left(T_2 - T_g\right)\cdot sh(m\cdot l)}{ch(m\cdot l)}$$

Подставим константы в начальное уравнение для ребра:

$$\upsilon(x) := \left[\frac{-\alpha\cdot(T_1 - T_g)}{\lambda\cdot m\cdot ch(m\cdot l)} - \frac{(T_2 - T_g)\cdot sh(m\cdot l)}{ch(m\cdot l)}\right]\cdot sh(m\cdot x) + (T_2 - T_g)\cdot ch(m\cdot x)$$

$$\upsilon(l) := \left[\frac{-\alpha\cdot(T_1 - T_g)}{\lambda\cdot m\cdot ch(m\cdot l)} - \frac{(T_2 - T_g)\cdot sh(m\cdot l)}{ch(m\cdot l)}\right]\cdot sh(m\cdot l) + (T_2 - T_g)\cdot ch(m\cdot l)$$

Решая данную систему уравнений, получаем выражение для температуры газа:

$$T_g := \frac{\dfrac{T_2}{ch(m\cdot l)} - T_1\cdot\left(1 + \dfrac{\alpha\cdot th(m\cdot l)}{\lambda\cdot m}\right)}{\dfrac{1}{ch(m\cdot l)} - \left(1 + \dfrac{\alpha\cdot th(m\cdot l)}{\lambda\cdot m}\right)}$$

Длина дуги окружности:

$$d := \pi\cdot d_H = 0.035 \quad м$$

Внутренний диаметр:

$$d_{vn} := d_H - 2\cdot\delta = 0.01 \quad м$$

Площадь ребра:

$$F := \pi\cdot\left[\left(\frac{d_H}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{vn}}{2}\right)^2\right] = 1.332\times 10^{-5} \quad м^2$$

Медная гильза:

$$m_m := \sqrt{\frac{\alpha\cdot d}{\lambda_m\cdot F}} = 15.236 \quad \frac{1}{м}$$

$$T_g := \frac{\dfrac{T_2}{\cosh(m_m)} - T_1\cdot\left(1 + \dfrac{\alpha\cdot\tanh(m_m)}{\lambda_m\cdot m_m}\right)}{\dfrac{1}{\cosh(m_m)} - \left(1 + \dfrac{\alpha\cdot\tanh(m_m)}{\lambda_m\cdot m_m}\right)} = 396 \quad К$$

$$\Delta T := T_1 - T_g = -2.259\times 10^{-5} \quad К$$

Стальная гильза

$$m_{ct} := \sqrt{\frac{\alpha\cdot d}{\lambda_{ct}\cdot F}} = 67.085 \quad \frac{1}{м}$$

$$T_g := \frac{\dfrac{T_2}{\cosh(m_{ct})} - T_1\cdot\left(1 + \dfrac{\alpha\cdot\tanh(m_{ct})}{\lambda_{ct}\cdot m_{ct}}\right)}{\dfrac{1}{\cosh(m_{ct})} - \left(1 + \dfrac{\alpha\cdot\tanh(m_{ct})}{\lambda_{ct}\cdot m_{ct}}\right)} = 396 \quad К$$

$\Delta T := T_1 - T_g = 0$

Наиболее близкую к реаьной температуру получаем при использовании стальной гильзы