

РАСЧЕТ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

Рассмотрим дымовую трубу из профилированного листа толщиной $h_{\text{л}}=0,7$ мм с глубиной волн гофр в осевом направлении $H_x=64$ мм, длиной волны гофр $l_{y1}=240$ мм, числом волн гофр по окружности срединной поверхности $n_{\text{ок}}=13$, диаметром срединной поверхности $D_{\text{ср}}=0,994$ м. Пусть глубина волн гофр в окружном направлении $H_{\text{ок}}=48$ мм, длина волны гофр $l_{x1}=160$ мм, $n_x=125$, высота трубы $L_{\text{тр}}=20$ м. Коэффициенты анизотропии $K_{1x}=1,15$; $K_{1y}=1,16$; $K_{yp}=K_{2np}=5570$; $K_{xp}=K_{2п}=3080$.

Можно показать, что дифференциальное уравнение для цилиндрической гофрированной по двум ортогональным направлениям оболочки относительно неизвестного перемещения вдоль радиуса ϖ примет следующий вид

$$\frac{d^4 \varpi}{dx^4} + 4k^4 \varpi = \frac{p}{D_{20}} - \frac{k_{1x}}{k_{yp}} \cdot \frac{\mu T_x}{RD_{20}},$$

где $4k^4 = \frac{k_{1x}}{k_{yp}} \cdot \frac{Eh_{\text{л}}}{R^2 D_{20}}$; $\beta^2 = \frac{k_{xp}k_{yp}}{k_{1x}k_{1y}}$; p – давление внутри трубы со срединным радиусом R , T_x - осевая сила, μ - коэффициент Пуассона,

$D_{20} = \frac{Eh_{\text{л}}^3}{12} \cdot \frac{\beta^2}{(\beta^2 - \mu^2)} \cdot \frac{k_{yp}}{k_{1x}}$; $D = \frac{Eh_{\text{л}}^3}{12(1 - \mu^2)}$ - жесткости гофрированной и изотропной цилиндрической оболочек на изгиб.

Увеличение изгибной жесткости гофрированной оболочки в $K_n = \frac{\beta^2(1 - \mu^2)}{\beta^2 - \mu^2} \cdot \frac{K_{yp}}{K_{1x}}$ раз по сравнению с изгибной жесткостью изотропной цилиндрической оболочки толщиной $h_{\text{л}}$ можно рассматривать как жесткость изотропной оболочки с эквивалентной толщиной трубы $h_{\text{э.л}}$, равной

$$h_{\text{э.л}} = \sqrt[3]{\frac{K_{yp}}{K_{1x}} \cdot \frac{\beta^2(1 - \mu^2)}{\beta^2 - \mu^2}} \cdot h_{\text{л}} = 11,4 \text{ мм, масса которой } m_{\text{тр}} = 5330 \text{ кг.}$$

Масса дымовой трубы из гофрированной по двум ортогональным направлениям цилиндрической оболочки толщиной $h_{\text{л}}=0,7$ мм равна 330 кг,

т.е. в 16 раз меньше, чем масса изотропной трубы $m_{тр}$ с толщиной стенки $h_{э.л}=11,4$ мм.

Пусть изотропная цилиндрическая оболочка со средним диаметром $D_{ср}=0,994$ м и толщиной $h_{э.л}=11,4$ мм является корпусом вращающейся печи, например, для обжига керамзита и имеет футеровку из жаростойкого бетона на портландцементе с хромпиковым наполнителем толщиной $h_{ф}=56$ мм, средняя температура которой $T_{ср}=1000^{\circ}\text{C}$, температурный коэффициент линейного расширения футеровки $\alpha_{ф}=12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, модуль упругости $E_{ф}=10$ ГПа.

Корпус печи выполнен из жаростойкой стали типа X23Ю5Т, температурный коэффициент линейного расширения которой $\alpha_{ст}=16 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, модуль упругости $E_{ст}=200$ ГПа.

Соотношение для нормального термобиметалла $\frac{h_{см}}{h_{ф}} = \sqrt{\frac{E_{ф}}{E_{см}}}$ в первом

приближении выполняется, поэтому для определения максимальных значений температурных напряжений $\sigma_{ф.м}$ и $\sigma_{ст.м}$ в месте стыковки стального корпуса и футеровки можно воспользоваться упрощенными соотношениями

$$\sigma_{ф.м} = \frac{1}{2} E_{ф} (\alpha_{см} - \alpha_{ф}) \cdot (T_{ф} - T_{20}) = 19,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{ст.м} = \frac{1}{2} E_{ст} (\alpha_{см} - \alpha_{ф}) \cdot (T_{ф} - T_{20}) = 392 \text{ МПа,}$$

которые во много раз превышают допустимые напряжения для футеровки и стали при температуре 1000°C .

В случае использования в качестве корпуса вращающейся печи профилированного листа толщиной $h_{л}=0,7$ мм с глубиной волн гофр в осевом направлении $H_{х}=64$ мм и в окружном направлении $H_{ок}=48$ мм (как и для дымовой трубы) коэффициент уменьшения жесткости на растяжение корпуса вращающейся печи по ее оси составит $K_{хр}=3080$, т.е. температурные напряжения в корпусе футеровки снизятся в 3000 раз.