

УДК 624.014:539.311

А.А.Грачёв (6 курс, каф. ТТС), С.А.Соколов, д.т.н., проф.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТИН

Работа посвящена проблемам определения оптимальных параметров рёбер, установленных на пластинах в целях повышения местной устойчивости. Исследована устойчивость пластины при различных видах напряжённого состояния в зависимости от типа и параметров установленных рёбер и самой пластины. Анализ выполнен методом конечных элементов на модели шарнирно опертого листа. На основании результатов расчета получены аппроксимирующие аналитические зависимости для учета данного фактора в инженерных расчетах.

Актуальность проблемы местной устойчивости связана с тем, что в настоящее время для машиностроительных конструкций применяются свариваемые стали с пределом текучести до 1000 МПа. Использование таких материалов позволяет существенно снизить массу конструкции и машины в целом. Однако основным условием выбора геометрических параметров конструкций из высокопрочных сталей обычно оказывается не прочность, а жесткость и местная устойчивость. Постановка рёбер является самым эффективным методом повышения местной устойчивости и позволяет увеличить критические напряжения в несколько раз. В связи с этим, повышается значение методов прогнозирования этого вида отказа.

В данной работе рассмотрена устойчивость шарнирно опертой пластины при продольном нагружении в виде линейного распределения нормальных напряжений по ширине пластины (рис. 1):

$$\sigma(y) = \sigma_{\max} (1 - \gamma y/d), \quad (1)$$

где σ_{\max} – наибольшее сжимающее напряжение на кромке $y = 0$ (сжимающие напряжения считаются положительными), $\gamma = 1 - \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$ – параметр нагружения; σ_{\min} – напряжение на кромке $y = d$. Например, случай $\gamma = 0$ соответствует равномерному сжатию, а $\gamma = 2$ – чистому изгибу. Для вычисления критических напряжений за основу взята методика [1], согласно которой, критические напряжения при продольном одноосном нагружении пластины вычисляются как

$$\sigma_c = k \sigma_{c0}, \quad (2)$$

где $\sigma_{c0} = \frac{\pi^2 E}{3(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{d}\right)^2$ – критическое напряжение для шарнирно опертой по контуру,

одноосно сжатой полосы толщиной t , шириной d и бесконечно большой длины; k – коэффициент устойчивости, отражающий влияние размеров пластины, параметров оребрения и условий нагружения. Жесткость ребра характеризуется параметром $j = I_r/I_{pl}$, где $I_{pl} = d \cdot t^3/12$ – момент инерции пластины, I_r – момент инерции ребра. При $\gamma = 0 \dots 2$ и ребре, у которого $j \geq j_*$,

$$k = k_{sp} = [4 + 3.5 \cdot \gamma^3] \zeta_s, \quad (3)$$

где $\zeta_s \geq 1$ – коэффициент влияния упругого защемления кромок пластины. В данной работе $\zeta_s = 1$.

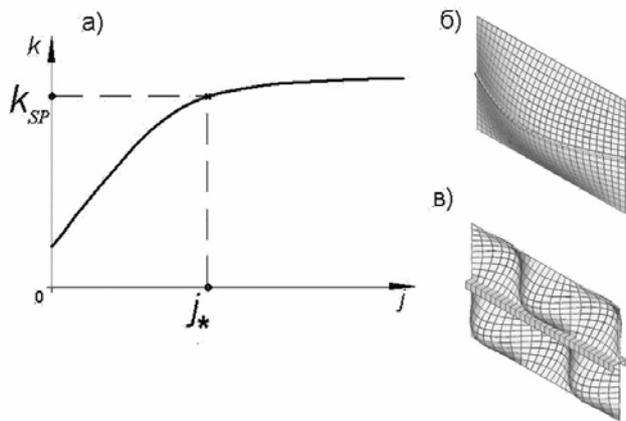


Рис. 1. Зависимость $k = f(j)$ (а), форма потери устойчивости при $j < j_*$ (б), и при $j \geq j_*$ (в)

Конечно-элементная модель имела вид шарнирно опёртой пластины с продольными ребрами со следующими параметрами (рис. 2): $d = 1000$ мм, $t = 4; 8; 12$ мм, длина пластины варьировалась в интервале $a/d = 0.5 \dots 2.0$, соотношение между характеристической величиной ребра и его толщиной изменялось в интервале $h_r/t_r = 0.067 \dots 0.2$. Ребро устанавливается на оптимальной высоте равной

$$h = \beta_{OP} \cdot d, \quad (3)$$

где $\beta_{OP} = 0.5 - 0.15 \cdot \gamma$ – оптимальное положение ребра.

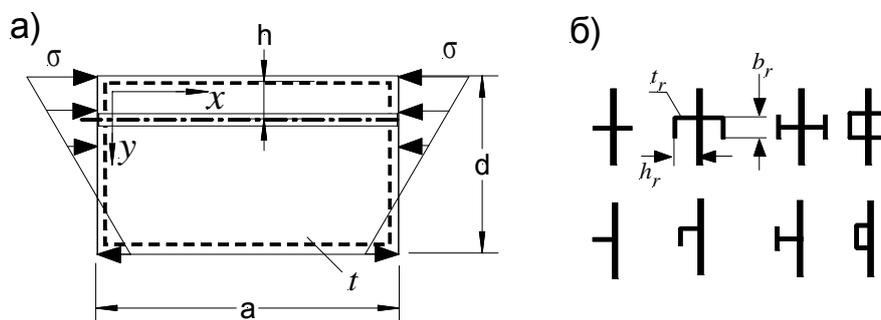


Рис. 2. Конечно-элементная модель, геометрические параметры пластины (а) и ребер (б)

После проведения серии экспериментов, были получены данные, аппроксимация которых дала следующую зависимость характеристического размера порогового ребра:

$$h_r = 0.76 \cdot \rho_{pl}^{-0.22} \cdot \left[\alpha^{0.9} \cdot e^{-0.57 \cdot \gamma} \cdot \rho_r^{-0.45} \cdot (1 + 0.42 \cdot \gamma + 0.52 \cdot \gamma^3) \cdot \chi^{-1} \right]^{0.5} \cdot t,$$

где $\rho_{pl} = t/d$, $\alpha = a/d$, $\rho_r = t_r/h_r$, $\chi = (1 + 3 \cdot \eta)/(3 + 3 \cdot \eta)$ – для ребра открытого сечения, $\chi = (2 + 3 \cdot \eta)/(6 + 3 \cdot \eta)$ – для ребра закрытого сечения, $\eta = b_r/h_r$.

По данным СНиП II-23-81 п. 7.11 [2], момент инерции ребра относительно плоскости пластины I_r , выполненного из полосы, должен быть в 18...84 раз больше момента инерции пластины I_{pl} , при $\beta = (0.2 \div 0.3)$. По данной методике – $I_r = (2.9 \dots 132) \cdot I_{pl}$. Также предложенная методика позволяет определять пороговые параметры равнотолщинного ребра выполненного из прокатного или гнутого профиля (швеллер, уголок, полоса) при $\beta = 0.2 \div 0.5$, $\gamma = 0 \div 2$, $\rho_{pl} = 0.004 \div 0.012$, $\alpha = 0.5 \div 2$, $\rho_r = 0.067 \div 0.2$ и $\eta = 0 \div 2$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколов С.А. Металлические конструкции подъёмно – транспортных машин. СПб.: Политехника, 2005г. – 423с.
2. СНиП II-23-81.