

РАСЧЁТ МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ В ЗОНЕ РАССЛОЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Гоголева О.С.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В ракетостроении широкое применение находят конструкции, изготовленные из композиционных материалов. Главное достоинство таких конструкций – лёгкость при достаточно большой прочности и жёсткости. При изготовлении оболочек различной конфигурации (в том числе различных обтекателей) и их частей из композиционных материалов в производстве имеет место достаточно большое количество дефектов в виде расслоений, непроклеев и т.д.

Рассмотрим местную прочность в зоне расслоения цилиндрической поверхности, изготовленную из изотропных материалов. Внешними нагрузками рассматриваемой зоны расслоения являются силы, приложенные нормально к поверхности элемента и погонные усилия по граням сечений.

Балка-полоска на упругом основании у которой $\rho_2 = \rho_x = \infty$; а $\rho_1 = \rho_y = R_1$ (цилиндрическая поверхность).

Рассматриваем двухосное напряжённое состояние. Основываясь на том, что:

$$\varepsilon_y = \frac{w}{R_1}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{Et} (N_y - \mu N_x), \quad (2)$$

$$N_y = \frac{Etw}{R_1} + \mu N_x, \quad (3)$$

где ε_y - относительная деформация в направлении оси y ,

w - прогиб,

R_1 - радиус цилиндрической поверхности,

E - модуль упругости,

t - толщина,

μ - коэффициент Пуассона,

N_x, N_y - погонные усилия.

Дифференциальное уравнение балки-полоски запишем в виде:

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} - N_x \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{Et}{R_1^2} w = p^*, \quad (4)$$

где

$p^* = p^0 - N_x \frac{\mu}{R} = const$ - сумма проекций всех сил на ось Z ,

p^0 - начальный параметр,

$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)}$ - цилиндрическая жёсткость.

Критическая сила:

$$N_{cr} = D \frac{16n^4 \pi^4}{\ell^4} + \frac{3Et}{R_1^2} \left(\frac{n}{m} \right) \quad (5)$$

Принимаем аппроксимирующую функцию прогиба, удовлетворяющую граничным условиям, в виде:

$$w_n = 1 - \cos 2n\pi \frac{x}{\ell}$$

Подставим прогиб $w = A_n \left(1 - \cos 2n\pi \frac{x}{\ell} \right)$ в уравнение (4). После преобразований получим коэффициент разложения прогиба

$$A_n = \frac{\left(p^0 - N_x \frac{\mu}{R_1} \right) \ell}{D \frac{8n^4 \pi^4}{\ell^3} + 4n\pi N_x + 1,5k\ell} \quad (6)$$

Законы распределения прогиба, угла поворота, изгибающего момента и перерезывающей силы запишутся в виде:

$$w = A_n \left(1 - \cos 2n\pi \frac{x}{\ell} \right)$$

$$\varphi = \frac{dw}{dx} = A_n \frac{2n\pi}{\ell} \sin 2n\pi \frac{x}{\ell}$$

$$M_y = -D \frac{d^2 w}{dx^2} = -DA_n \frac{4n^2 \pi^2}{\ell^2} \cos 2n\pi \frac{x}{\ell}$$

$$Q_z = -D \frac{d^3 w}{dx^3} = DA_n \frac{8n^3 \pi^3}{\ell^3} \sin 2n\pi \frac{x}{\ell}$$

При растяжении балки-полоски необходимо в коэффициенте разложения прогиба (6) перед N_x изменить знак на противоположный:

$$A_n = \frac{\left(p^0 - N_x \frac{\mu}{R_1} \right) \ell}{D \frac{8n^4 \pi^4}{\ell^3} - 4n\pi N_x + 1,5k\ell} \quad (7)$$

Подставляя в (7) $N_x = \sigma_x t$ находим действительный коэффициент разложения A_n^∂ . Подставляя в уравнение (7) $N_x = N_u$ получим коэффициент разложения прогиба по максимальной нагрузке:

$$A_n^u = \frac{\left(p^0 - N_u \frac{\mu}{R_1} \right) \ell}{D \frac{8n^4 \pi^4}{\ell^3} - 4n\pi N_u + 1,5k\ell} \quad (8)$$

Условие нераспространения расслоения по удельной потенциальной энергии, накопленной в расслоённой и не расслоённой зонах:

$$\frac{1}{2E} \sigma_x^2 + \frac{1}{2E} \sigma_y^2 \geq \frac{1}{\ell t} \left[\frac{\sigma_x^2 t \ell}{2E} + k_y \frac{D^2 (A_n^\partial)^2}{2Gt} \frac{32n^5 \pi^5}{\ell^5} + D (A_n^\partial)^2 \frac{4n^4 \pi^4}{\ell^3} \right] \quad (9)$$

Для нераспространения расслоения необходимо чтобы удельная потенциальная энергия в расслоённой зоне была меньше или равна удельной потенциальной энергии в окрестности расслоённой зоны.

Список литературы

1. **Уманский, А.А.** Строительная механика самолёта/А.А.Уманский,- М.:Оборонгиз, 1961.-529 с.
2. **Вольмир, А.С.** Устойчивость упругих систем/А.С.Вольмир,- М.:Государственное изд-во физ.мат. литературы, 1963.-880 с.
3. **Гоголева, О.С.** Оценка местной прочности конструкций с учётом технологических дефектов [Электронный ресурс] / О. С. Гоголева // Актуальные проблемы реализации образовательных стандартов нового поколения в условиях университетского комплекса : материалы Всерос. науч.-метод. конф., 2-4 февраля 2011 г. / Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2011. – [Секция 15 , С. 1245-1247]. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Заголовок с этикетки диска. - ISBN 978-5-7410-1110-2.