

Nome: Alessandro Melo de Oliveira

Nº USP: 10700662

Exercício 4 - SANDOZOS

Calcule a MS mínima para uma fuselagem de raio 2 m fixada em estrutura condutora, empregando o critério da máxima tensão no skin.

Propriedades das lâminas

$$E_1 = 165000 \text{ MPa}$$

$$E_2 = 12100 \text{ MPa}$$

$$\nu_{12} = 0,36$$

$$G_{12} = 4400 \text{ MPa}$$

Espessura skin: 0,1 mm

Espessura núcleo: 30 mm

z

$$\Delta P = 11,3 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

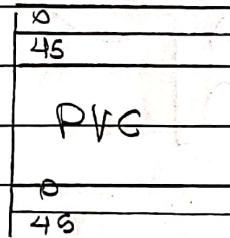
$$M_x = 100 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

mm

[0/45/PVC/45/0]

$$\begin{cases} N_y = 341,26 \text{ N} \\ N_x = 170,63 \text{ N} \end{cases}$$

$$N_x = 170,63 \text{ N}$$



Para o núcleo, tem-se:

$$E_{11} = E_{22} = 75 \text{ MPa}$$

$$G_{12} = 20 \text{ MPa}$$

$$\nu_{12} = \frac{E_{11} - 2G_{12}}{2G_{12}} = 0,875$$

A matriz Q de cada elemento é:

$$\bar{Q}_0 = \begin{bmatrix} 156,49 & 4,27 & 0 \\ 4,27 & 12,21 & 0 \\ 0 & 0 & 4,4 \end{bmatrix}$$

data
fecha

D S T Q Q S S
D L M M J V S

$$Q_{45} = \begin{bmatrix} 48,78 & 39,91 & 36,06 \\ 39,91 & 46,71 & 36,06 \\ 36,06 & 36,06 & 40,04 \end{bmatrix} \cdot 10^9$$

$$Q_{n\underline{u}l\underline{e}s} = \begin{bmatrix} 85,47 & 260 & 0 \\ 260 & 320 & 0 \\ 0 & 0 & 20 \end{bmatrix} \cdot 10^6$$

Montando A, B, D:

$$A = \begin{bmatrix} 43,60 & 17,23 & 7,21 \\ 17,23 & 21,48 & 7,21 \\ 7,21 & 7,21 & 9,48 \end{bmatrix} \cdot 10^6$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Estruturo} \\ \text{Simétrico} \end{array}$$

$$D = \begin{bmatrix} 9,56 & 2,63 & 1,63 \\ 2,63 & 3,48 & 1,63 \\ 1,63 & 1,63 & 2,06 \end{bmatrix} \cdot 10^3$$

Com isso, calculo-se $[E_0]$ e $[K]$:

$$\begin{bmatrix} [E_0] \\ [K] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [A'] & [B'] \\ [C'] & [D'] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [N] \\ [M] \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow [E_0] = \begin{bmatrix} -0,00254 \\ 0,00227 \\ -0,0153 \end{bmatrix} \text{ mm} \quad [K] = \begin{bmatrix} 0,01338 \\ -0,00817 \\ -0,00413 \end{bmatrix}$$

Os valores de deformação são:

$$T_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{45} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & -1 \\ -1/2 & 1/2 & 0 \end{bmatrix}$$

headmonte:

→ Lamina ① (0°):

bottom

mid

top

$$\sigma = \begin{bmatrix} -31,61 \\ 0,91 \\ 0,20 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} -31,51 \\ 0,91 \\ 0,20 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} -31,40 \\ 0,91 \\ 0,20 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \begin{bmatrix} -0,20 \\ 0,14 \\ 0,04 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$\epsilon = \begin{bmatrix} -0,20 \\ 0,14 \\ 0,04 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$\epsilon = \begin{bmatrix} -0,20 \\ 0,14 \\ 0,04 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

→ Lamina ② (45°):

bottom

mid

top

$$\sigma = \begin{bmatrix} -1,12 \\ -0,66 \\ 1,54 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} -1,11 \\ -0,66 \\ 1,53 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$\sigma = \begin{bmatrix} -1,11 \\ -0,66 \\ 1,53 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \begin{bmatrix} 0,01 \\ -0,07 \\ 0,17 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$\epsilon = \begin{bmatrix} 0,01 \\ -0,07 \\ 0,17 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

$$\epsilon = \begin{bmatrix} 0,01 \\ -0,07 \\ 0,17 \end{bmatrix} \text{ mm}$$

data
fecha

D S T Q Q S S
D L M M J V S

→ Nucleo:

bottom	mid	top									
$\sigma =$ <table><tr><td>-31,20</td></tr><tr><td>0,90 MPa</td></tr><tr><td>0,20</td></tr></table>	-31,20	0,90 MPa	0,20	$\sigma =$ <table><tr><td>-0,30</td></tr><tr><td>0,26 MPa</td></tr><tr><td>-0,06</td></tr></table>	-0,30	0,26 MPa	-0,06	$\sigma =$ <table><tr><td>30,60</td></tr><tr><td>-0,37 MPa</td></tr><tr><td>-0,34</td></tr></table>	30,60	-0,37 MPa	-0,34
-31,20											
0,90 MPa											
0,20											
-0,30											
0,26 MPa											
-0,06											
30,60											
-0,37 MPa											
-0,34											
$\epsilon =$ <table><tr><td>-0,20</td></tr><tr><td>0,14 mm</td></tr><tr><td>0,46</td></tr></table>	-0,20	0,14 mm	0,46	$\epsilon =$ <table><tr><td>-0,002</td></tr><tr><td>0,02 mm</td></tr><tr><td>-0,015</td></tr></table>	-0,002	0,02 mm	-0,015	$\epsilon =$ <table><tr><td>0,19</td></tr><tr><td>-0,099 mm</td></tr><tr><td>-0,077</td></tr></table>	0,19	-0,099 mm	-0,077
-0,20											
0,14 mm											
0,46											
-0,002											
0,02 mm											
-0,015											
0,19											
-0,099 mm											
-0,077											

Outros valores de σ e ϵ para as outras lâminas podem ser encontrados no script em python.

Tendo σ , podemos calcular os critérios.

→ Lâmina ①:

bottom	mid	top									
MS = <table><tr><td>4,69</td></tr><tr><td>42,68</td></tr><tr><td>224,27</td></tr></table>	4,69	42,68	224,27	MS = <table><tr><td>4,71</td></tr><tr><td>42,78</td></tr><tr><td>225,20</td></tr></table>	4,71	42,78	225,20	MS = <table><tr><td>4,73</td></tr><tr><td>42,89</td></tr><tr><td>226,25</td></tr></table>	4,73	42,89	226,25
4,69											
42,68											
224,27											
4,71											
42,78											
225,20											
4,73											
42,89											
226,25											

→ Lâmina ②:

bottom	mid	top
$MS = \begin{bmatrix} 159,53 \\ 66,30 \\ 29,43 \end{bmatrix}$	$MS = \begin{bmatrix} 160,28 \\ 66,60 \\ 29,53 \end{bmatrix}$	$MS = \begin{bmatrix} 161,04 \\ 66,90 \\ 29,62 \end{bmatrix}$

→ Núcleo:

bottom	mid	top
MS = $\begin{bmatrix} 4,76 \\ 43,09 \\ 228,27 \end{bmatrix}$	MS = $\begin{bmatrix} 597,61 \\ 148,65 \\ 693,66 \end{bmatrix}$	MS = $\begin{bmatrix} 7,16 \\ 119,79 \\ 137,10 \end{bmatrix}$

As margens de segurança para os outros laminas podem ser encontradas no script em python.

Conforme o perfil notado, a menor MS ocorre no bottom do laminas (1).

$$MS_{\text{mínimo}} = 4,69$$
