

02047000 KOMPOSIITTIEIEN LUJUUS TENTTI 7.2.2005

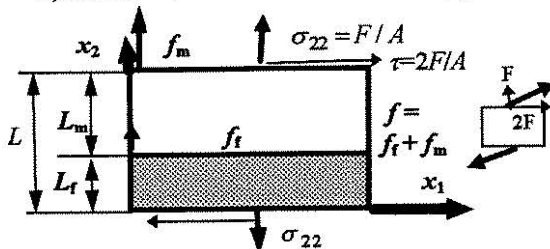
Kaiken kirjallisuuden ja laskimien käyttö tentissä on sallittu

1 Tarkastellaan kuvan 1 lasikuitu/epoksi kappaletta. Kuitujen kimmomoduuli $E_f = 70 \cdot 10^9$ Pa ja matriisin $E_m = 3.5 \cdot 10^9$ Pa. Kuitujen murtovenymä on $\epsilon_{fu} = .01$ ja matriisin $\epsilon_{mu} = .03$. Yläpintojen ala $A = 100 \text{ mm}^2$. Kerrosten paksuudet ovat $L_f = 0.004$ m ja $L_m = 0.006$ m. Matriisin leikkausmurtolujuus $\tau_{LTU} = \frac{1}{2} E_m \epsilon_{mu} = \frac{1}{2} \sigma_{mu}$ on puolet sen vetomurtolujuudesta. Sitä kuormitetaan vetovoimalla F ja leikkausvoimalla $2F$. Matriisin, kuidun ja komposiitin ainemallit ovat Hooken lain mukaisia $\sigma = E\epsilon$ $\tau = G\gamma$, $1/E_2 = V_f/E_f + V_m/E_m$. Korvikejousivakio $k = EA/L$. Poikittaiselle lujuudelle on mallit: A: lujuuksien sekoituskaava, B:

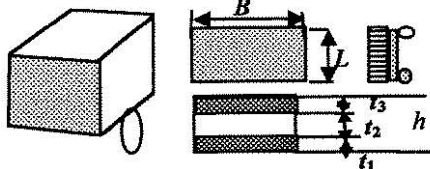
$$\sigma_{TU} = \sigma_{mu} / S, S = SMF = 1 / (1 - \nu(1 - h)) \text{ missä } \nu = [4V_f / \pi]^{1/2}, h = E_m / E_f$$

a) Laske tilavuusmurto-osat ja johda kaava poikittaiselle kimmomoduulille E_2

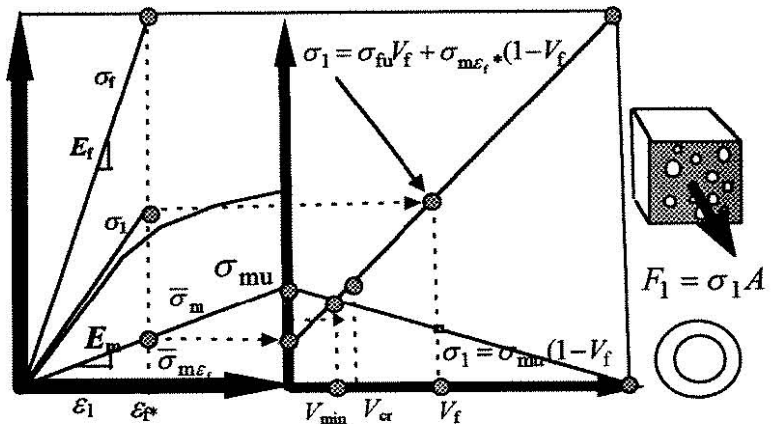
b) Laske kokonaisvoimavektori, jolla laminaatti murtuu Tsai-Hillin hypoteesin mukaan.



Kuva 1. Kuormitettu komposiitti



Kuva 3. Perävaunun komposiittipäätöseinä



Kuva 2. Komposiitin vetokokeen ja lujuuksien sekoituskaavan yhteys

2 Tutkitaan yhdensuuntaiskomposiitin kuitulaminoiden lujuuksia sekoituskaavalla, kuva 2. Ainearvot ja tilavuusmurto-osat ovat tehtävän 1 mukaisia. Lieriöputken paksuus on t . Kehäjännitys on $\sigma = pr / t$, säde $r = 0.5$ m, paine $p = 0.5$ MPa. Varmuuskertoimen $N = 10$.

a) Perustele sekoituskaava ja sen riippuvuus kuitujen tilavuusmurto-osasta

b) Laske kuorikomposiitin vetomurtolujuus ja mitoitetaan sen seinämä

c) Miksi vetomurtolujuudella on minimi ja millä kohtaa se esiintyy?

3 Tutkitaan ajoneuvon päätyseinää. Ulkopinnat ovat GRP laminaattia. Kimmomoduuli $E_f = 10000 \text{ MPa} = E_1 = E_3$. Laatan korkeus on $L = 2.7$ m ja leveys $B = 2.5$ m. Kerrosten kimmomoduulit ja paksuudet ovat $E_1 = E_f$, $t_1 = t_f = 0,003 \text{ m}$, $E_2 = 28$, $G_2 = 5.6 \text{ MPa}$

$t_2 = 0,03 \text{ m}$, $E_3 = E_f$, $t_3 = t_1$. Laattaa kuormittaa paine $q = 0.005 \text{ MPa}$, jolloin max.momentti on

$M = M_{x,max} b = c_2 q B^2 b$, missä $c_2 = 0.055$. Taivutusjännitys kerroksella k on

$\sigma_k = Mz / I_k$, $I_k = D / E_k$ z on etäisyys keskitasosta, taivutusjäykkyys ja jännitys ovat

$D = \sum E_i I_i \approx \frac{1}{2} E_f b t_f d^2$ $\sigma_1 = M_x h / (t_f d^2)$, $h = t_2 + 2t_1$, $d = t_2 + t_1$. Laminaattien murtolujuus

$\sigma_{fu} = E_f \epsilon_{fu}$ $\epsilon_{fu} = 0.01$. Poimuilujuus on $\sigma_{wink} = 0.5 (E_2 G_2 E_1)^{1/3}$

a) Johda taivutusjännityksen kaava, b) Laske varmuusluvut vauriotiloihin nähden

c) Miten heikointa kohtaa voisi vahvistaa?

4 Komposiittilaatta on tehty roving kudosmatoista ja polyesterihartsista. Murtolejuudet on mitattu pääsuunnissa L ja T ja 50 asteen kulmassa L suuntaan nähden ja on saatu arvot $\sigma_{LU} = 290\text{MPa}$, $\sigma_{LT} = 270$ ja $\sigma_{xx}(45) = \sigma_{xx} = 85$. Tsai Hillin vauriokriteeri on

$$\left(\frac{\sigma_L}{\sigma_{LU}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_L}{\sigma_{LU}}\right)\left(\frac{\sigma_T}{\sigma_{LU}}\right) + \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_{TU}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{LT}}{\tau_{LTU}}\right)^2 \leq 1, \sigma_L = \sigma_{xx}c^2, \sigma_T = \sigma_{xx}s^2, \tau_{LT} = \sigma_{xx}sc$$

missä $s = \sin \theta, c = \cos \theta$ ja $(L, x) = \theta$ kulma L suunnan ja veto x-akselin välillä.

a) Ratkaise tästä kaava $1/\sigma_{xx}^2(\theta)$. b) Laske 45 vetokokeesta τ_{LT}

c) Laske mikä on murtolejuus σ_{xx} $\theta = 20$ kulmassa

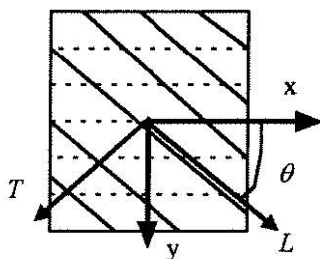
d) Mitä tietoja saadaan tästä kokeesta seuraavilla keinoilla : akustinen emissio, ultraäänitestaus, lämpökamera, venymäliuskat, videokuvauus ja konenäkö.

5 Tutkitaan komposiittilaattaa, joka on tehty kahdesta laminaasta, kuva 3. Kunkin paksuus on $t = 3\text{ mm}$. Laatan kokonaispaksuus on $T = 2t = 12\text{ mm}$ ja leveys $B = 100\text{ mm}$. Sitä vedetään kokonaisvoimalla $F_x = N_x B = \sigma_x BT$, $N_y = N_{xy} = 0$. Laminaatti on symmetrinen ja pinousjärjestys on $0/+45$. Päälejuussuunnan LT koordinaatisto on xy koordinaatistoon nähden kiertynyt kulmassa $(L, x) = \theta$. Hooken laki on kullekin kerrokselle $k = 1, 2$. Merkitään $s = \sin \theta, c = \cos \theta$.

$$\begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_T \\ \tau_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 2Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 & 0,7 & 0 \\ 0,7 & 2,0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot 0,7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2sc \\ s^2 & c^2 & -2sc \\ -sc & sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [\mathbf{T}]\{\sigma_x\}_k = \{\sigma_L\}_k$$

$$[\bar{Q}]_{k=1} = [\bar{Q}]_4 = [\bar{Q}]_{+45} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11} & \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{16} \\ \bar{Q}_{12} & \bar{Q}_{22} & \bar{Q}_{26} \\ \bar{Q}_{16} & \bar{Q}_{26} & \bar{Q}_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6,55 & 5,15 & 4,5 \\ 5,15 & 6,55 & 4,5 \\ 4,5 & 4,5 & 5,15 \end{bmatrix} \quad [\bar{Q}]_{k=2} = [\bar{Q}]_3 = [\bar{Q}]_{-45} = \begin{bmatrix} 6,55 & 5,15 & -4,5 \\ 5,15 & 6,55 & -4,5 \\ -4,5 & -4,5 & 5,15 \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{A}] = [A_{ij}] = \sum_{k=1}^{k=n} [\bar{Q}_{ij}]_k (h_k - h_{k-1}), \quad \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \mathbf{N} \\ \mathbf{M} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B} & \mathbf{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon^0 \\ \kappa \end{bmatrix}$$



$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &\rightarrow \bar{Q}_{11,k} = Q_{11}c^4 + Q_{22}s^4 + 2(Q_{12} + 2Q_{66})s^2c^2 \\ \bar{Q}_{12} &\rightarrow \bar{Q}_{12,k} = (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66})s^2c^2 + Q_{12}(c^4 + s^4) \\ \bar{Q}_{16} &\rightarrow \bar{Q}_{16,k} = (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66})sc^3 - (Q_{22} - Q_{12} - 2Q_{66})s^3c \end{aligned}$$

k=1	x	t ₁ = h ₁ - h ₀	z = h ₀ = -6
k=2=n	z	t ₂ = h ₂ - h ₁	z = h ₁ = 0
			z = h ₂ = 6

Kuva 3. Laminaatin rakenne.

Q matriisin tarvittavat alkiot lasketaan seuraavaksi

Nyt B matriisi on nolla. Viivavoima N_x tuottaa keskipinnan venymät $N_x = A_{11}\varepsilon_x^0$

Jännityskestoehto laminalle k kuitujen L-suunnassa on Tsai-Hillin vauriokriteeri. Lujuudet ovat $\sigma_{LU} = 300$, $\sigma_{TU} = 40$, $\tau_{LTU} = 10\text{MPa}$. Venymäkestoehto kerrokselle k on

$$R(2) = \varepsilon_{all} - \varepsilon_x^0 \geq 0, \text{ sallittu venymä on } \varepsilon_{all} = 0.03.$$

a) Osoita, että $[A] = t([\bar{Q}]_0 + [\bar{Q}]_{45})$

b) Tutki ulomman laminaatin $k=1$ jännitys ja venymäkestoehto ja mitoitus

c) Miten rakennetta voisi optimoida? Mitä hyötyä on, että suunnitellaan B matriisi nolllaksi, miten sen nolllaus voidaan periaatteessa toteuttaa?