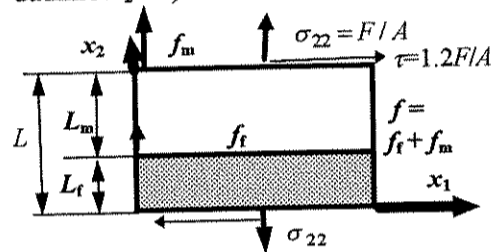


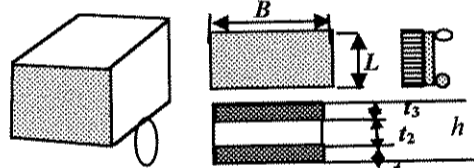
02047000 KOMPOSIITTIEIDEN LUJUUS TENTTI 1.12.2004

Kaiken kirjallisuuden ja laskimien käyttö tentissä on sallittu

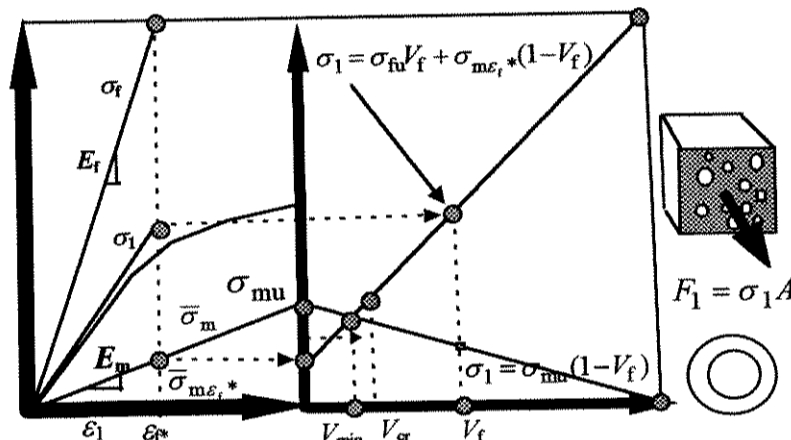
1 Tarkastellaan kuvan 1 lasikuitu/epoksi kappaletta. Kuitujen kimmomoduuli $E_f = 70 \cdot 10^9$ Pa ja matriisin $E_m = 3.5 \cdot 10^9$ Pa. Kuitujen murtovenymä on $\varepsilon_{fu} = .01$ ja matriisin $\varepsilon_{mu} = .03$. Yläpintojen ala $A = 100 \text{ mm}^2$. Kerrosten paksuudet ovat $L_f = 0.003$ m ja $L_m = 0.006$ m. Matriisin leikkausmurtolujuus $\tau_{LTU} = \frac{1}{2} E_m \varepsilon_{mu} = \frac{1}{2} \sigma_{mu}$ on puolet sen vetomurtolujuudesta. Sitä kuormitetaan vetovoimalla F ja leikkausvoimalla $1.2F$. Matriisin, kuidun ja komposiitin ainemallit ovat Hooken lain mukaisia $\sigma = E\varepsilon$, $\tau = G\gamma$, $1/E_2 = V_f/E_f + V_m/E_m$. Korvikejousivakio $k = EA/L$. Poikittaiselle lujuudelle on mallit: A: lujuuksien sekoituskaava, B: $\sigma_{TU} = \sigma_{mu} / S, S = SMF = 1 / (1 - v(1 - h))$ missä $v = [4V_f / \pi]^{1/2}$, $h = E_m / E_f$. 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. Verrataan kahta lujitemuovituotetta, tavallinen A ja biotuote B. Käyttöikä on 5 vuotta. Lasikuidun kimmomoduuli $E_f = 73000 \text{ MPa} = 73 \text{ GPa}$ ja murtovenymä 0.03. Luonnonkuidun on $E_f = 60000 \text{ MPa}$ ja $\varepsilon_f = 0.0015$. Tavallisen hartsin kimmomoduuli E_m on 2500 MPa ja murtovenymä 0.03 ja biohartsin 1500 ja 0.025. Aineen A valmistuskustannus on 100 ja kierrätys kustannus 40 ja aineen B 120 ja 10. Keskiparametri $\sigma_0 \approx 1.2 \sigma_{fu}$. Kuidun murtolujuus on $\sigma_{fu} = E_f \varepsilon_{fu}$. Weibullin jyrkkyys $m = 10$. Kuitujen pituus on $l = 10 \text{ mm}$ ja halkaisija $d = 10 \mu\text{m}$. Aspektisuhde $s = l/d$. Kuitunipun murtolujuus $R_m = Rms \cdot \sigma_0$. $Rms = [m \cdot s]^{-\frac{1}{m}} e^{-\frac{1}{m}}$. Tilavuusmurto-osa hartsia on $V_f = 0.5$. Sovelletaan lujuuksien sekoituskaava nyt (vert.kuva 2) $\sigma_{cu} = R_m V_f + \sigma_m (\varepsilon_{fu}) V_m$, $\sigma_m (\varepsilon_{fu}) = E_m \varepsilon_{fu}$. Tuotteet on mitoitettava kantamaan voima 1000 N varmuusluvulla 4. a) Kumpi on edullisempi valinta?

3 Tutkitaan ajoneuvon päätöseiniä. 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 $c_2 = 0.055$. Taivutusjäännitys kerroksella k on $\sigma_k = Mz / I_k$, $I_k = D / E_k$ z on etäisyys keskitasosta, taivutusjäykkyys ja jäännitys 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 $\sigma_{fu} = E_f \varepsilon_{fu}$, $\varepsilon_{fu} = 0.01$. 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 kudsmatoista ja polyesterihartsista.Murtolujuudet on mitattu pääsuunnissa L ja T ja 60 asteen kulmassa L suuntaan nähden ja on saatu arvot $\sigma_{LU} = 288\text{MPa}$, $\sigma_{LT} = 260$ ja $\sigma_{xx}(45) = \sigma_{xx} = 81$. 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 60 deg vetokokeesta τ_{LT}

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

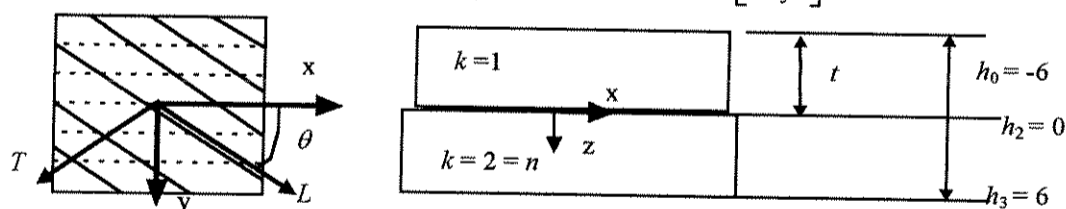
d) Mitä tietoja saadaan tästä kokeesta seuraavilla keinoilla :akustinen emissio, ultraäänitestaus, lämpökamera, venymäliuskat, videokuvaus ja konenäkö.

5 Tutkitaan komposiittilaattaa, joka on tehty kahdesta laminasta, kuva 5 .Kunkin paksuus on $t = 5$ mm. Laatan kokonaispaksuus on $T = 2t = 10$ mm ja leveys $B = 100$ mm .Sitä vedetään kokonaisvoimalla $F_x = N_x B = \sigma_x BT$, $N_y = N_{xy} = 0$. $F_x = 200\text{kN}$. Laminaatti on epäsymmetrinen ja pinousjärjestys on +45/-45. Päälujuussuunnan LT koordinaatisto on xy koordinaatistoon nähden kiertynyt kulmassa $(L,x) = \theta$. Hooken laki on kullekin kerrokselle $k = 1,2,3,4$. Merkitään $s = \sin \theta$ $c = \cos \theta$. Esim.kerroksen k L-suunnan jännitys on $\sigma_L = c^2(\sigma_x)_k$

$$\begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_T \\ \tau_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 2Q_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \frac{1}{2}\gamma_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20 & 0,7 & 0 \\ 0,7 & 2,0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot 0,7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_T \\ \frac{1}{2}\gamma_{LT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2sc \\ s^2 & c^2 & -2sc \\ -sc & sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [\mathbf{T}]\{\sigma_x\}_k = \{\sigma_L\}_k$$

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

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



Kuva 5. Laminaatin rakenne

Nyt **B** matriisi ei ole nolla. Viiravoima N_x tuottaa keskipinnan venymät $N_x = A_{11}\varepsilon_x^0$

Kestoehto laminalle k kuitujen L-suunnassa on $\sigma_{LU} - \sigma_L \geq 0$, $\sigma_{LU} = 100\text{MPa}$

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

b) Tutki ulomman laminaatin $k=1$ jännitys ja kestoehto L-suunnassa ja mitoitus

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