TTY/TME JN 23630/03K

23630 MURTUMISMEKANIIKKA JA VÄSYMINEN

Kevät 2003

Tentti 5.5.2003

Kirjallisuuden ja muistiinpanojen käyttö kielletty!

****

1. Määrittele tai selitä lyhyesti mistä seuraavissa on kyse:
   a) FAD ja R6-menetelmät
   b) *Williams*in sarjaratkaisu
   c) painofunktiomenetelmä
   d) särön kärjen avauma
   e) rainflow-menetelmä
   f) jännitysintensiteetin kynnysarvo

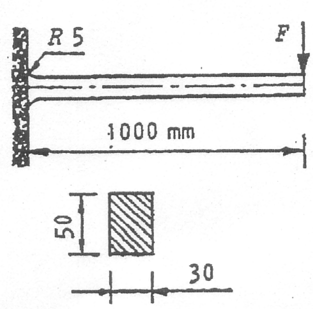
2. Johda hyvin suuressa ja ohuessa vetolevyssä olevalle 2a mittaiselle poikittaissärölle *Irwin*in mallin mukainen tehollisen jännitysintensiteettikertoimen lauseke

$$K_{Ieff} = \frac{\sigma\sqrt{\pi a}}{\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma}{R_{eL}}\right)^2\right]^{1/2}}$$

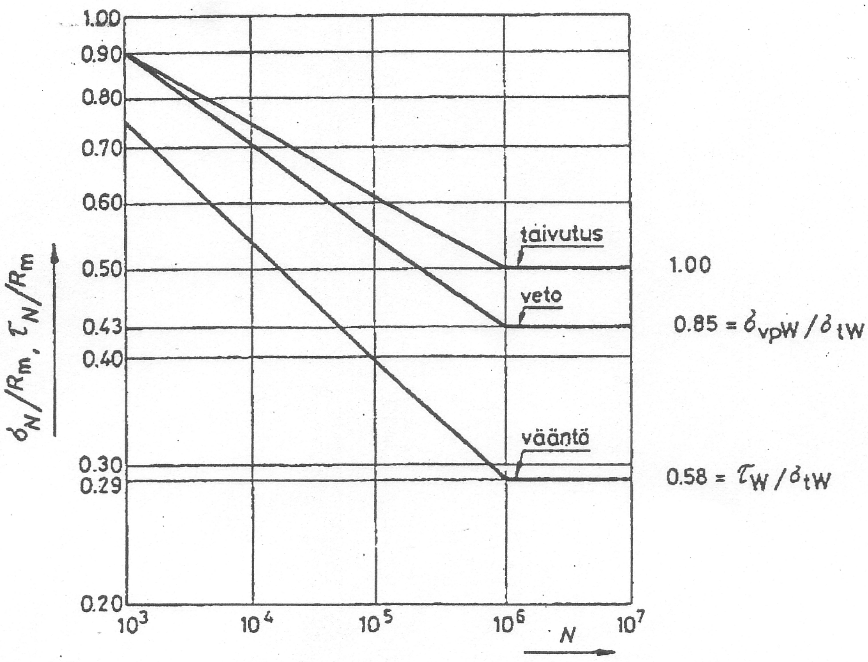
Hahmottele säröpintaa vastaan kohtisuoraan olevan normaalijännityksen *Irwin*in mallin mukainen jakauma särön kärjen läheisuudessä särön määrittämässä tasossa.

3. Laske 150 MPa vetojännityksen kuormittaman teräksisen vetolevyn suurin sallittu reunasärön syvyys, kun varmuuskertoimeksi halutaan 2. Levyn leveys on 300 mm ja paksuus 20 mm. Teräksen myötöraja on 800 MPa ja murtumissitkeys $K_{Ic} = 50$ MPa$\sqrt{\text{m}}$.
   Kuinka hyvin LEFM on voimassa ? Entä TJT ?

4. Oheisen ulokkeen päähän vaikuttaa väsyttävä voima, jonka lauseke on muotoa $F = A^*(1{,}5 - \sin\omega t)$, jossa $\omega = 1{,}0$ 1/s. Mitoita kerroin A siten, että varmuusluku väsymismurtuman suhteen 200 tunnin käyttöaikana on 2. Käytä avuksesi esimerkiksi *Goodman*in väsymislujuuspiirrosta Materiaalin $R_m = 800$ MPa, $R_{eL} = 500$ MPa ja loviherkkyysluku $q = 0{,}80$. Ulokkeen juuren loven muotoluku on 1,5 ja mittakertoimen ja pinnanlaadun kertoimen tulo 0,70.



Materiaalille voidaan käyttää oheisen kuvan likimääräistä *Wöhler*-käyrää.



5. Suuressa paksussa vetolevyssä on 20 mm ± 10% pituinen alkusärö kohtisuoraan tykyttävää vetokuormitusta σ_{max} = 100 MPa ± 10% vastaan. Materiaalin murtumisparametrit ovat

K_{Ic} = 70 MPa$\sqrt{m}$ ± 20%, C = 5,0*10^{-12} m/(MPa$\sqrt{m}$)^n ± 20% ja n =3,0 ± 20%.

Määritä levyn lyhyin elinikä käyttäen mitattuja ja laskettuja lähtöarvoja.

$$\sigma_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}}\left[K_I \cos\frac{\theta}{2}\left\{1-\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right\} - K_{II}\sin\frac{\theta}{2}\left\{2+\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}\right\}\right]$$

$$\sigma_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}}\left[K_I \cos\frac{\theta}{2}\left\{1+\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right\} + K_{II}\left\{\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}\right\}\right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}}\left[K_I\left\{\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}\right\} + K_{II}\cos\frac{\theta}{2}\left\{1-\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right\}\right]$$

$$\tau_{xz} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}}\left[-K_{III}\sin\frac{\theta}{2}\right]$$

$$\tau_{yz} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}}\left[K_{III}\cos\frac{\theta}{2}\right]$$

$$u_x = \frac{\sqrt{r}}{G\sqrt{2\pi}}\left[K_I\cos\frac{\theta}{2}\left\{\frac{1-\nu'}{1+\nu'}+\sin^2\frac{\theta}{2}\right\} + K_{II}\sin\frac{\theta}{2}\left\{\frac{2}{1+\nu'}+\cos^2\frac{\theta}{2}\right\}\right]$$

$$u_y = \frac{\sqrt{r}}{G\sqrt{2\pi}}\left[K_I\sin\frac{\theta}{2}\left\{\frac{2}{1+\nu'}-\cos^2\frac{\theta}{2}\right\} - K_{II}\cos\frac{\theta}{2}\left\{\frac{1-\nu'}{1+\nu'}-\sin^2\frac{\theta}{2}\right\}\right]$$

$$u_z = \frac{\sqrt{r}}{G\sqrt{2\pi}}\left[2K_{III}\sin\frac{\theta}{2}\right].$$

$$G = \left|\frac{\partial \Pi}{\partial A}\right| = -\frac{\partial W_C}{\partial A} = \frac{1}{E'}\left[K_I^2 + K_{II}^2 + (1+\nu')K_{III}^2\right].$$

$$r_p = \frac{a}{2}\left[1/\cos\left(\frac{\pi F \sigma_0}{2\bar{m}\,\bar{\sigma}_m}\right) - 1\right] \qquad t > 2.5\left(\frac{K_c}{\sigma_m}\right)^2$$

$$\mathrm{CTOD} = 2\delta = \frac{4}{m\pi}\frac{K_I^2}{\sigma_m E'} \qquad \begin{cases} m \approx 1, & \mathrm{TJT} \\ m \approx 2, & \mathrm{TVT}. \end{cases}$$

$$K_c = K_{Ic}\sqrt{1 + \frac{1.4}{t^2}\left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_m}\right)^4}$$

$$K_I = \sigma_n \frac{\sqrt{\pi}}{2}\lim_{\rho\to 0}\left[\alpha\sqrt{\rho}\right]$$

$$K_{II} = \tau_n\sqrt{\pi}\lim_{\rho\to 0}\left[\alpha\sqrt{\rho}\right]$$

$$K_{III} = \tau_n\sqrt{\pi}\lim_{\rho\to 0}\left[\alpha\sqrt{\rho}\right].$$

$$\frac{K_I^2}{E'} = \bar{m}\,\bar{\sigma}_m\,\mathrm{CTOD} = J.$$

$$\frac{\partial^4\Phi}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4\Phi}{\partial x^2\partial y^2} + \frac{\partial^4\Phi}{\partial y^4} = 0$$

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{m\sigma_m}\right)^2$$

$$\Phi = \mathrm{Re}\,\bar{\bar{f}} + y\,\mathrm{Im}\,\bar{f}.$$

$$r_p = \frac{K_I^2}{4\pi\sigma_m^2}\left[\frac{3}{2}\sin^2\theta + 1 + \cos\theta\right] \qquad \mathrm{(TJT)}$$

$$r_p = \frac{K_I^2}{4\pi\sigma_m^2}\left[\frac{3}{2}\sin^2\theta + (1-2\nu)^2(1+\cos\theta)\right] \qquad \mathrm{(TVT)}$$

$$\frac{K_I^2}{K_{Ic}^2} + \frac{K_{II}^2}{K_{IIc}^2} = 1$$

$$E = mc^2$$

$$a_{eff} = a + \Delta a$$

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} = 0$$
$$\frac{\partial\sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{xy}}{\partial x} = 0,$$

$$\sigma_x = \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} = \mathrm{Re}f - y\,\mathrm{Im}f'$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} = \mathrm{Re}f + y\,\mathrm{Im}f'$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2\Phi}{\partial x\partial y} = -y\,\mathrm{Re}f'$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial x}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial x}$$
$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x},$$

$$E' = E \quad \text{ja} \quad \nu' = \nu \qquad \mathrm{(TJT)}$$

$$E' = \frac{E}{1-\nu^2} \quad \text{ja} \quad \nu' = \frac{\nu}{1-\nu}. \qquad \mathrm{(TVT)}$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E'}(\sigma_x - \nu'\sigma_y)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E'}(\sigma_y - \nu'\sigma_x)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy}$$

$$\varepsilon_z = \frac{-\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y) = \frac{-\nu}{1-\nu}(\varepsilon_x + \varepsilon_y) \quad \mathrm{(TJT)}, \qquad \varepsilon_z = 0 \quad \mathrm{(TVT)}$$

$$\mathrm{Re}\frac{df}{dz} = \mathrm{Re}\frac{\partial f}{\partial x} = \mathrm{Im}\frac{\partial f}{\partial y}$$
$$\mathrm{Im}\frac{df}{dz} = \mathrm{Im}\frac{\partial f}{\partial x} = -\mathrm{Im}\frac{\partial f}{\partial y}.$$

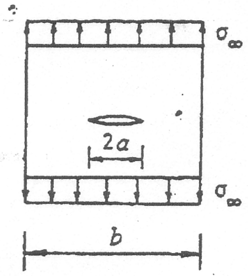
$$\sigma_x = \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}, \qquad \sigma_y = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}, \qquad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2\Phi}{\partial x\partial y},$$

$$\sigma_x = \frac{E'}{1-\nu'^2}(\varepsilon_x + \nu'\varepsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E'}{1-\nu'^2}(\varepsilon_y + \nu'\varepsilon_x)$$

$$\tau_{xy} = G\,\gamma_{xy}$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y) \quad \mathrm{(TJT)}, \quad \sigma_z = 0 \quad \mathrm{(TVT)}.$$



$$K_\mathrm{I} = \sigma_\infty \sqrt{\pi a}\, \frac{1-(a/b)+1{,}304\,(a/b)^2}{\sqrt{1-2a/b}}$$

$$K_\mathrm{I} \approx \sigma_\infty \sqrt{\pi a} \quad \text{, kun } a/b \ll 1$$

$$\ln\left(\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}N}\right) = n \ln \Delta K_\mathrm{I} + \ln C$$

$$\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}N} = C\,(\eta\sigma_\mathrm{a}\sqrt{\pi a}\,)^n$$

$$\int_{a_0}^{a_c} \frac{\mathrm{d}a}{a^{n/2}} = C\,(\eta\,\sigma_a \sqrt{\pi}\,)^n \int_0^{N_c} \mathrm{d}N$$

$$N_\mathrm{c} = \frac{2}{n-2}\,\frac{a_0^{1-n/2}}{C(\eta\sigma_\mathrm{a}\sqrt{\pi}\,)^n}\left[1-\left(\frac{a_0}{a_\mathrm{c}}\right)^{n/2-1}\right]$$

$$\Delta K_\mathrm{I} = \eta\,\sigma_a \sqrt{\pi a}$$

$$\frac{\mathrm{d}a}{\mathrm{d}N} = C\,(\Delta K_\mathrm{I})^n$$

$$da/dN = \frac{C(\Delta K)^n}{(1-R)K_C-\Delta K}$$

$$da/dN = C\,\frac{(\Delta K-\Delta K_{TH})^n}{(K_C-K_{max})}$$

$$da/dN = C[\,(1-R)^{m-1}\Delta K]^n$$

$$da/dN = C(\Delta G)^n$$

$$\Delta G = 2\Delta K \cdot K_{mean}/E$$

$$da/dN = C\,\frac{(\Delta G)^n}{G_C-G_{max}}$$