

Tampere University of Technology  
Faculty of Automation, Machine, and Materials Engineering

MOL-1510 Materiaalien mekaaninen käyttäytyminen

Tentti 19.12.2011

MUISTIINPANOJEN KÄYTTÖ KIELLETTY!

**Kysymys 1** on pakollinen kaikille! Vastaa yhteensä **enintään NELJÄÄN (4)** kysymykseen! Numeroi palauttamasi vastauspaperit juoksevalla numerolla sekä arkkien kokonaismäärällä, esim. 1/3, 2/3 ja 3/3.

Tentaattori: Mikko Hokka

**Tehtävä 1:**

- Mitkä ovat PKK kiteen likusysteemit? (yksi lause!)
- Miksi juuri nämä systeemit ovat edullisia? (muutama lause)
- Kuvaa kiteisen materiaalin lujuuden riippuvuus lämpötilasta käyttäen dislokaatioteoriaa (termisesti aktivoitu dislokaatioliike).
- Vertaa kahden PKK erilliskidenäytteen muokkauslujittumista vetokokeessa, kun toisen orientaatio kuormitukseen nähden on  $\langle -123 \rangle$  ja toisen  $\langle 001 \rangle$ .
- Ehdota sopiva menetelmä kiteisen materiaalin lujittamiseen tilanteessa, jossa dislokaatioliike on hallitseva mekanismi, ja muodonmuutos tapahtuu pääasiassa lämpötila-alueella 25-200 °C.
- Esittele mahdollisia (ja mahdottomia) muodonmuutosmekanismeja, jotka aktivoituvat, jos kiteisen materiaalin muodonmuutos ei syystä tai toisesta pysty tapahtumaan dislokaatioiden liikkeen avulla.

**Tehtävä 2:**

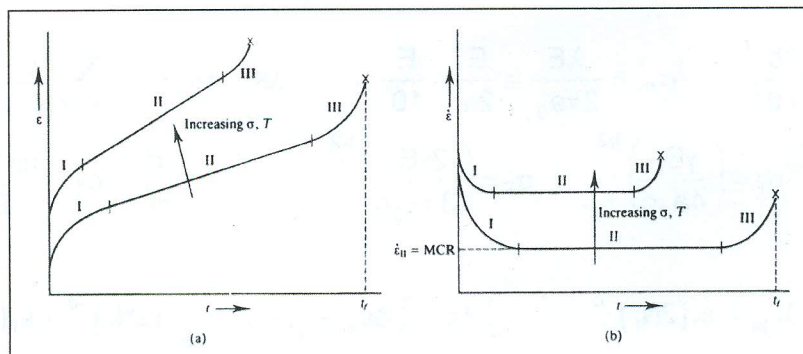
Miten tapahtuu myötymän mittaaminen käyttäen a) extensometria, b) venymäliuskaa, c) digitaalista kuvakorrelaatiota? Miten näistä (a, b ja c) tuloksista voidaan laskea ja piirtää todellinen jännitys vs. todellinen (logaritminen) myötymä käyrä?

**Tehtävä 3:**

Vertaa HTP metallin ja amorfisen polymeerin plastista käyttäytymistä keskenään. Selitä lyhyesti muodonmuutosmekanismit ja niiden perusteella mistä tärkeimmät erot plastisessa käyttäytymisessä johtuvat.

**Tehtävä 4:**

Esittele kuvassa 1 havaittavissa alueissa I, II, ja III tapahtuvat ilmiöt. Mistä ilmiöt johtuvat?



Kuva 1: viruminen vakio jännityksellä

**Tehtävä 5:**

Vertaa viskoelastista ja lineaarisesti elastista käyttäytymistä keskenään. Esittele muodonmuutoksia kuvaavat mallit ja yhtälöt sekä niiden fysikaaliset ja/tai numeeriset taustat.

$$\sigma_T = K(\epsilon_T)^n \quad \tau = \frac{32M_t r}{\pi D^4} \quad \epsilon_2 = \epsilon_3 = -\nu \epsilon_1 \quad \frac{\Delta V}{V} = \epsilon_1(1-2\nu) \quad \sigma_y = m \cdot \tau_{crss}$$

$$\tau_B \cong \frac{Gb}{L-2r} \quad \frac{\Delta V}{V} = \frac{3\sigma}{E}(1-2\nu) = \frac{\sigma}{K} \quad K = -\Omega_0 \left( \frac{\partial \sigma}{\partial \Omega} \right)_{\Omega_0} = +\Omega_0 \left( \frac{\partial^2 U}{\partial \Omega^2} \right)_{\Omega_0} \quad \tau = \tau_{max} \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{b}\right)$$

$$\tau_{max} \approx \frac{G}{30} \quad \tau_f = G \cdot \exp\left(\frac{-2\pi w}{b}\right) \quad \tau = \frac{Gb}{2\pi r} \quad U_s \approx Gb^2 \quad \sigma_x = \frac{-Gb}{2\pi(1-\nu)r} \sin\theta(2 + \cos\theta)$$

$$\sigma_y = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)r} \sin\theta \cos 2\theta \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)r} \cos\theta \cos 2\theta \quad \sigma_z = \frac{-Gb\nu \sin\theta}{\pi(1-\nu)r}$$

$$v_D = \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^p \quad F_s = \frac{Gb^2}{2\pi r} \quad F = \tau b \quad \frac{a}{2}[\bar{1}01] \rightarrow \frac{a}{6}[\bar{2}11] + \frac{a}{6}[\bar{1}\bar{1}2] \quad \tau = \frac{Gb}{r}$$

$$\tau_{rss} = \frac{F \cdot \cos\lambda}{A_s} = \frac{F}{A_0} \cos\phi \cos\lambda = \frac{\sigma}{m} \quad \sigma_T = K'(\epsilon)^m \quad \tau = \tau_0 + \alpha Gb(\rho)^{1/2} \quad \tau \approx \frac{Gb}{L'} \cos\frac{\phi_c}{2}$$

$$\tau^* = (\tau_{app} - \tau_0) \left(\frac{d}{4r}\right)^{1/2} \quad \tau = \tau_0 + \alpha Gb\sqrt{\rho} \quad \sigma_a = \sigma_{fat} \left(1 - \frac{\sigma_{mean}}{T.S.}\right) \quad \sigma_{th} = \left(\frac{\gamma E}{a_0}\right)^{1/2} \quad \sigma_E = F/A_0$$

$$\epsilon_E = \Delta l/l_0$$

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad \frac{1}{E_{[hkl]}} = \frac{1}{E_{\langle 100 \rangle}} - 3 \left( \frac{1}{E_{\langle 100 \rangle}} - \frac{1}{E_{\langle 111 \rangle}} \right) (\alpha^2 \beta^2 + \alpha^2 \gamma^2 + \beta^2 \gamma^2)$$

$$\tau_{app} = \tau_0 + 2\tau^* r^{1/2} d^{-1/2} = \tau_0 + k' \gamma d^{-1/2} \quad \sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2} \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \sigma_T = F/A_i$$

$$\sigma_T = \frac{F}{A_i} = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{A_0}{A_i} = \sigma_E \left(\frac{A_0}{A_i}\right) = \sigma_E (1 + \epsilon_E) \quad \sigma_T = \sigma_E (1 + \epsilon_E) \quad \epsilon_T = \ln(1 + \epsilon_E)$$

$$\dot{\epsilon}_{II} = A \sigma^m \exp(-Q_c / RT) \quad \dot{\epsilon}_{dg} = \dot{\epsilon}_0 \exp\left(-\frac{U_0}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{\delta U}{kT}\right) - 1 \right] \quad \sigma_F = \frac{K_c}{(\pi c)^{1/2}} \quad \frac{dc}{dN} \approx A(\Delta K)^m$$

$$N_v(\text{veto}) \approx \exp\left(-\frac{Q_f}{kT}\right) \exp\left(\frac{\sigma \Omega}{kT}\right) \quad U_{el} \approx \frac{\sigma^2}{2E} \pi c^2 \quad \sigma_F = \left(\frac{E G_c}{\pi c}\right)^{1/2} \quad \sigma_F = \left(\frac{2\gamma E}{\pi c}\right)^{1/2}$$

$$N_v(\text{puristus}) \approx \exp\left(-\frac{Q_f}{kT}\right) \exp\left(-\frac{\sigma \Omega}{kT}\right) \quad \epsilon_{NH} = A_{NH} \left(\frac{D_L}{d^2}\right) \left(\frac{\sigma \Omega}{kT}\right) \quad \epsilon_C = A_C \left(\frac{D_{GB} \delta^3}{d^3}\right) \left(\frac{\sigma \Omega}{kT}\right)$$

$$\epsilon_i = A_i D_i \left(\frac{\sigma}{G}\right)^{m''} \left(\frac{\sigma \Omega}{kT}\right) \left(\frac{b}{d}\right)^{n'} \quad \sigma_{th} = \frac{\lambda E}{2\pi a_0} \cong \frac{E}{2\pi} \cong \frac{E}{10} \quad \Delta K \sim \Delta \sigma(c)^{1/2} \quad \sum \frac{n_i}{N_{fi}} = 1$$

$$\sigma_{max} \approx 2\sigma \left(\frac{c}{\rho}\right)^{1/2} \quad \sigma_F = \left(\frac{\gamma E \rho}{4a_0 c}\right)^{1/2} \quad \sigma_F = \left(\frac{2\gamma E \rho}{3\pi a_0 c}\right)^{1/2} \quad \frac{d}{dc} \left[ 4c\gamma - \frac{\pi \sigma^2 c^2}{E} \right]_{\sigma=\sigma_F} = 0$$

$$\frac{1}{2} \Delta \epsilon_{el} = \frac{\sigma_f}{E} (2N_f)^{-b} \quad \frac{1}{2} \Delta \epsilon_{pl} = \epsilon_f (2N_f)^{-c} \quad \frac{1}{2} \Delta \epsilon = \frac{1}{2} \Delta \epsilon_{el} + \frac{1}{2} \Delta \epsilon_{pl} = \frac{\sigma_f}{E} (2N_f)^{-b} + \epsilon_f (2N_f)^{-c}$$