

MOL-6100 Polymeerien reologia

Tentti 30.11.2005

Kirjallisuuden käyttö kielletty (käytä oheista kaavakokoelmaa)

1-2. Vastaa lyhyesti seuraaviin kysymyksiin (12 p)

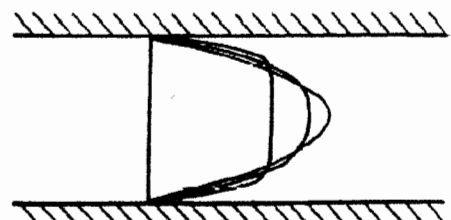
- (a) Miten keskimääräinen moolimassa vaikuttaa polymeerisulien (leikkaus)viskositeettiin
- (b) Miten moolimassajakauma vaikuttaa polymeerisulien (leikkaus)viskositeettiin
- (c) Miten paine vaikuttaa polymeerisulien (leikkaus)viskositeettiin
- (d) Mitä dynaamisen testin tuloksista (G' ja G'') voi päätellä liittyen polymeerin keskimääräiseen moolimassaan
- (e) Mitä dynaamisen testin tuloksista (G' ja G'') voi päätellä liittyen polymeerin moolimassajakaumaan
- (f) Millainen on tyypillinen LDPE:n venymäviskositeetikäyrä
- (g) Miksi rotaatioreometrilla (kartio-levy ja levy-levy geometrioilla) ei ole mahdollista mitata polymeerisulien viskositeettia luotettavasti kovin suurilla leikkausnopeuksilla
- (h) Mikä on kartio-levy geometrian oleellinen etu verrattuna levy-levy geometriaan
- (i) Minkä vuoksi dynaamisissa mittauksissa tehdään ns. amplitudipyyhkäisy (amplitude sweep)

3. (a) Eräälle materiaalille varastomoduli (G') ja häviömoduli (G'') noudattavat seuraavanlaisia yhtälöitä:

$$G' = \frac{500\omega^2}{1 + 100\omega^2} \quad G'' = \frac{1000\omega}{1 + 100\omega^2}$$

Laske tälle materiaalille η_0 ("nollaviskositeetti"). Jos materiaali noudattaa Cox-Merz sääntöä, mikä on tällöin materiaalin leikkausviskositeetti leikkausnopeudella 10 1/s. (3 p)

(b) Kuvassa on esitetty nopeusjakaumat kapillaarissa (putkessa) kolmelle nesteelle, jotka kaikki noudattavat potenssilakia (power-law). Potenssilaki-indeksin (power-law index) arvot nesteille ovat: $n = 0.2, 0.5$ ja 1.0 . Mikä n :n arvo vastaa mitäkin nopeusjakaumaa. Mitkä ovat leikkausnopeuden arvot kapillaarin seinällä, kun nesteen keskinopeus on kaikissa tapauksissa 0.05 m/s. (3 p)



4. Hahmottele, miten käyttäytyvät ”creep-recovery” ja jännitysrelaksaatiotesteissä (stress relaxation) seuraavantyyppiset materiaalit (6 p):

- (a) täysin viskoosi materiaali
- (b) täysin elastinen materiaali
- (c) viskoelastinen neste
- (d) viskoelastinen solidi

5. Kapillaarireometrissa eräälle polymeerisulalle painehäviö kapillaarin yli (Δp) eri männännopeuksilla (V_p) on:

V_p [mm/s]	Δp [MPa]
0.1736	13.69
0.4340	19.42
1.7361	32.80

- (a) Laske näille pisteille leikkausnopeus ja viskositeetti, kun reometrin sylinterin halkaisija on 12 mm ja kapillaarin pituus/halkaisija = 30 mm / 1 mm (tee myös Rabinowitsch-korjaus; Bagley-korjausta ei tarvitse tehdä). (4 p)
- (b) Lasketut viskositeetti-arvot ovat jossain määrin virheellisiä, jos Bagley korjausta ei ole tehty; miksi? Selitä, miten Bagley korjaus tehdään. Mitä lisätietoa tarvittaisiin tässä tehtävässä, jotta Bagley-korjaus olisi mahdollista tehdä. (2 p)

MOL-6100 POLYMEERIN REOLOGIA – KAAVAKOKOELMA

Leikkausjännitys, leikkausnopeus ja viskositeetti; viskositeettimalleja:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

Potenssilaki (power-law): $\eta = K\dot{\gamma}^{n-1}$ ($\tau = K\dot{\gamma}^n$)

Carreau-Yasuda malli: $\eta = \eta_0 \left[1 + (\lambda\dot{\gamma})^a \right]^{(n-1)/a}$

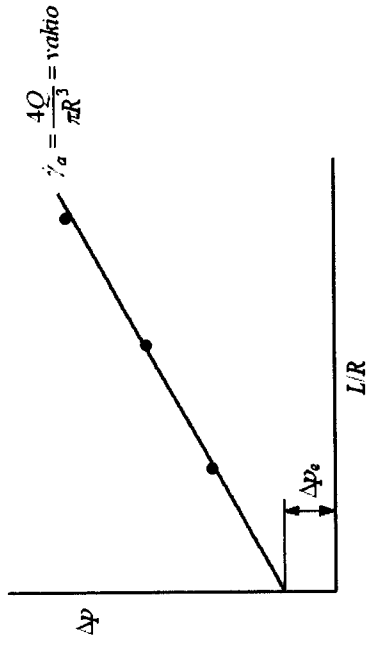
Kapillaarimetriteoriaa:

$$\tau_w = \frac{\Delta p - \Delta p_e}{2L/R} \quad \dot{\gamma}_w = \frac{4Q}{\pi R^3} \left(\frac{3+c}{4} \right) \quad \eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_w}$$

$$c = \frac{d \left(\log \frac{4Q}{\pi R^3} \right)}{d(\log \tau_w)} \quad (\text{Rabinowitsch - korjaus})$$

Jos materiaali noudattaa potenssilakia ($c = 1/n$): $\dot{\gamma}_w = \frac{4Q}{\pi R^3} \left(\frac{3n+1}{4n} \right)$

Bagley-korjaus:



Rotaatiometriteoriaa (kartio-levy geometria):

$$\dot{\gamma} = \frac{\Omega}{\theta} \quad \tau = \frac{3M}{2\pi R^3} \quad \eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{3M\theta}{2\pi R^3 \Omega}$$

Viskoelastisuusteoriaa:

Dynaamiset mittaukset:

$$\eta' = \frac{G''}{\omega} \quad \eta'' = \frac{G'}{\omega} \quad \tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

$$|\eta^*| = \sqrt{(\eta')^2 + (\eta'')^2}$$

$$\eta'(\omega) \Big|_{\omega \rightarrow 0} = \eta(\dot{\gamma}) \Big|_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} \quad \frac{G'(\omega)}{\omega^2} \Big|_{\omega \rightarrow 0} = \frac{N_1(\dot{\gamma})}{2\dot{\gamma}^2} \Big|_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} = \frac{\psi_1(\dot{\gamma})}{2} \Big|_{\dot{\gamma} \rightarrow 0}$$

Cox-Merz:

$$\eta(\dot{\gamma}) \approx |\eta^*(\omega)| \quad \text{kun } \dot{\gamma} = \omega$$

Maxwell malli:

$$G' = \frac{\eta \lambda \omega^2}{1 + \omega^2 \lambda^2} \quad G'' = \frac{\eta \omega}{1 + \omega^2 \lambda^2} \quad \tan \delta = \frac{G''}{G'} = \frac{1}{\lambda \omega}$$

Sulaindeksi (Ml) \rightarrow viskositeetti (η)

$$\dot{\gamma} = \frac{1.85}{\rho} Ml$$

$$\eta = 4850 \cdot \rho \frac{m}{MI} \quad [m] = \text{kg}; [\rho] = \text{g/cm}^3; [\eta] = \text{Pa}\cdot\text{s}; [MI] = \text{g}/10 \text{ min}$$

Venymäviskositeetti (η_B):

$$T_R = \frac{\eta_E}{\eta}$$

Newtoninen neste: $T_R = 3$