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 venymäviskositeettikäyrä

(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

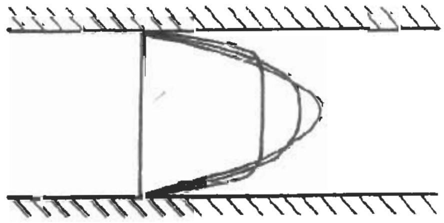
(i) Minkä vuoksi dynaamisissa mittauksissa tehdään ns. amplitudipyyhkäisy (amplitude sweep)

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

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

Laske tälle materiaalille η_o ("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 viskositeettiarvot 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 POLYMEERIEN REOLOGIA – KAAVAKOKOELMA

Leikkausjännitys, leikkausnopeus ja viskositeetti; viskositeettimalleja:

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

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

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

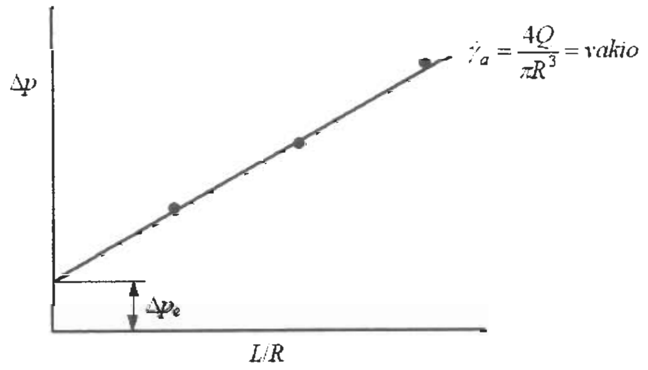
Kapillaarireometriteoriaa:

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

$$c = \frac{d\left(\log\frac{4Q}{\pi R^3}\right)}{d(\log\tau_w)}$$ (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:



Rotaatioreometriteoriaa (kartio-levy geometria):

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

Viskoelastisuusteoriaa:

Dynaamiset mittaukset:

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

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

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

Cox-Merz:

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

Maxwell malli:

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

Sulaindeksi (*MI*) $\rightarrow$ viskositeetti (η)

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

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

Venymäviskositeetti (η_E):

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

Newtoninen neste: $T_R = 3$