Folyadékok belső súrlódásának vizsgálata

Mérést végezte: Rudolf Ádám
Mérőpár: Lénárd András
Mérés időpontja: 2008. november 11. 10:00-12:00
Jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2008. november 18. 10:00

A mérés célja

A mérés célja kétféle módszerrel (Höppler-féle viszkoziméter, valamint a Stokes-törvény alapján történő mérés) meghatározni a glicerin belső súrlódását (viszkozitását), majd ezeket az eredményeket összevetni az irodalomban olvasható anyagokkal (és egymással).

Mérőeszközök

Az egyik eszköz a Höppler-féle viszkoziméter, ami egy beosztásokkal ellátott, glicerinnel töltött cső, amiben a cső átmérőjénél alig kisebb átmérőjű golyó van. A golyó esési idejéből a megfelelő összefüggéssel kiszámíthatjuk a glicerin viszkozitását az adott hőmérsékleten.

A másik módszernél glicerinbe dobálunk ismert átmérőjű és sűrűségű golyókat. Szintén a golyók esési idejéből kiszámolható a glicerin viszkozitása.

A mérés rövid leírása

Először areométer segítségével megmérjük a glicerin sűrűségét és hőmérsékletét.

Stopperrel megmérjük az ismert sűrűségű golyó esési idejét a Höppler-féle viszkoziméterben.

A másik mérésnél először meghatározzuk a méréshez használandó golyók sűrűségét. A külön félretett golyók sűrűségét piknométer segítségével mérjük meg. Ez egy jól meghatározott térfogatú üvegedény. Megmérjük a tömegét üresen, golyókkal teli, csak vízzel töltve, valamint golyókkal és vízzel töltve. Ezen adatok segítségével kiszámítható a golyók együttes tömege, valamint az általuk kiszorított víz tömege, ami arányos a térfogatukkal, tehát a víz sűrűségének és ezen adatok ismeretében meg tudjuk határozni a golyók anyagának sűrűségét.

Ezután megmérjük a glicerinnel töltött edény körül elhelyezett helyzetjelzők távolságát (ami a mért esési magasság lesz), és a mérendő golyók átmérőjét. Az átmérőt minden golyó esetében három különböző irányból mérjük meg csavarmikrométerrel. Kétféle golyóméretet használunk, és mindkét mérés esetében három golyóval végzünk mérést.

A második mérés a Stokes-tövényen alapul, ami csak bizonyos feltételek mellett teljesül. A golyó méretétől, glicerin sűrűségétől, viszkozitásától és a golyó sebességétől függő Reynolds számnak 0,1 alatt kell lennie. Ezért lejegyezzük, vagy kiszámoljuk ezeket az adatokat is, hogy ellenőrizhessük, bízhatunk-e a számolt érték helyességében.

Mérési adatok

A mérési adatokat a következő táblázatok tartalmazzák:

ρ (kg/m^3)	1213
T (°C)	23
t (s)	110
h (mm)	23,9

μ1 (g)	31,05
μ2 (g)	66,95
μ3 (g)	113,85
μ4 (g)	92,3

Nagy golyó	1. golyó	2. golyó	3. golyó
1. mérés (mm)	4,735	4,735	4,56
2. mérés (mm)	4,79	4,63	4,7
3. mérés (mm)	4,83	4,55	4,555
Átlag (mm)	4,785	4,638333	4,605
Esési idő (s)	1,78	1,88	1,83
Kis golyó	**4. golyó**	**5. golyó**	**6. golyó**
1. mérés (mm)	1,03	1,15	1,115
2. mérés (mm)	1,02	1,15	1,12
3. mérés (mm)	1,02	1,145	1,115
Átlag (mm)	1,023333	1,148333	1,11667
Esési idő	21,73	18,36	18,95

A ρ a glicerin sűrűsége, a T a hőmérséklete, a t golyó esési ideje a Höppler-féle viszkoziméterben, a h az esési magasság a Stokes-féle törvényen alapuló mérés esetén. A μ értékek a piknométeres méréshez tartoznak. A μ_1 az üres pikométer tömege, a μ_2 a golyókkal töltött tömege, μ_3 a golyókkal és vízzel töltött tömege, μ_4 pedig a csak vízzel töltött tömege.

A Nagy golyó, és Kis golyó nevű táblázatok a golyók átmérőjére vonatkozó mérések eredményeit, valamint az ezekből számolt átlagokat, és a golyók esési idejét tartalmazzák. Az átmérők esetében az átlagértékeket fogom használni a további számolásokban, és az n-edik golyó átmérőjét d_n-nel, esési idejét t_n-nel fogom jelölni. (Az index nélküli t a Höppler-féle viszkoziméterben mért esési idő.)

Hibaforrások

Az időméréseknél hibaforrás lehet a reakcióidőm, főleg a Stokes-féle törvényen alapuló mérés esetében, ahol a golyók esési sebessége nagyon gyors is lehet. Az esési magasság meghatározásánál tévedhetek 1-2 mm-t.

Eltérést okozhat, hogy a Höppler-féle viszkoziméter számolásánál a másik mérőhelyen lévő glicerin sűrűségét használom. A Stokes-féle törvényen alapuló

mérés esetében a Reynolds szám meghatározásához a Höppler-féle viszkozitásmérővel meghatározott értéket használom, valamint nem a ténylegesen a méréshez használt golyók sűrűségét mérem le.

Kiértékelés és eredmények

A Höppler-féle viszkoziméter esetében a következő képlet segítségével tudjuk kiszámítani egy adott folyadék η viszkozitását:

$$\eta = K(\rho_g - \rho_f)t$$

A K a golyóállandó, értéke jelen esetben 0,13 milliPacm^3/g, ρ_g a golyó ismert sűrűsége, értéke 8,1 g/cm^3, ρ_f pedig a betöltött folyadék sűrűsége, jelen esetben a glicerin ρ sűrűsége. Így behelyettesítve az értékeket, meghatározható a viszkozitás.

η = 0,13 milliPac^3/g * (8,1 g/cm^3 – 1,213 g/cm^3) * 110 s = 99,7711 milliPas = 0,0997711 Pas.

Ez 23 °C hőmérséklet mellett értendő. A viszkozitás erősen függ a hőmérséklettől, és a glicerin nedvességtartalmától is.

A Stokes-féle törvényen alapuló méréshez először meg kell határoznunk a golyók sűrűségét. A μ értékek, és a desztillált víz sűrűségének ismeretében ezt könnyen megtehetjük. Az üres piknométer és a golyókkal töltött piknométer tömegének különbsége nyilvánvalóan a golyók tömegével egyenlő. Tehát a golyók tömege: $\mu = \mu_2 - \mu_1$. A csak vízzel töltött piknométer tömegéből kivonva annak a víznek tömegét, ami a golyók mellett volt a piknométerben, megkapjuk a golyók által kiszorított víz tömegét. Ezt a következő számolással tehetjük meg: $\mu_v = (\mu_4 - \mu_1) - (\mu_3 - \mu_2) = \rho_v V$. A képletben μ_v a víz tömegét, ρ_v a víz sűrűségét jelenti, V pedig a golyók össztérfogatát. ρ_v = 1 g/cm^3. Ezek ismeretében már meg tudjuk határozni a golyók anyagának sűrűségét a következőképpen:

$\rho_g = \mu/V = \rho_v\mu/\mu_v = \rho_v(\mu_2 - \mu_1) / (\mu_4 - \mu_1 - \mu_3 + \mu_2)$ = 1 g/cm^3(66,95 g – 31,05 g) / (92,3 g – 31,05 g – 113,85 g + 66,95 g) = 1 g/cm^3(35,9 g) / (14,35 g) = 2,5 g/cm^3

A Stokes-féle súrlódási törvény alapján a v sebességgel eső, r sugarú gömbre erő hat. Ezt az erőt a következőképpen lehet kiszámolni:

$$F = 6\pi\eta r v$$

Ezen kívül a golyóra hat a nehézségi erő, és a felhajtóerő is. Ezek eredőjétől függően a golyó vagy felfelé, vagy lefelé gyorsul. Ha a golyó sűrűbb, mint a folyadék, lefelé kezd gyorsulni, amíg a közegellenállási erő és a felhajtóerő összege megegyezik a nehézségi erővel. Ez az egyensúly a vizsgált összeállításban hamar bekövetkezik.

Ha ez az egyensúly fennáll, a golyóra a következő összefüggés igaz:

$$mg - F_{fel} - 6\pi\eta rv = 0$$

$F_{fel} = V\rho_f g$ a gömb V térfogata pedig $4\pi r^3/3$. A fenti képlet tehát a következőképpen is felírható:

$$4\pi(\rho_g - \rho_f)r^3 g/3 - 6\pi\eta rv = 0$$

Ebből kifejezve a viszkozitási együtthatót:

$$\eta = (2/9) * (\rho_g - \rho_f)r^2 g/v = (2/9) * (\rho_g - \rho_f)r^2 g t_n/h$$

Ez a törvény csak lamináris áramlásokra igaz, a 0,1-nél nagyobb Reynolds számok esetében a turbulencia miatt a törvény már nem érvényes. Ezért minden esetben ki kell számítanunk az aktuális Reynolds számot. Ez a szám a következőképpen számítható:

$$Re = \rho rv/\eta$$

A Reynolds szám dimenziótlan. Mivel ez a mennyiség a viszkozitás meghatározásához szükséges, de szerepel benne a viszkozitás, a képletben a Höppler-féle viszkoziméterrel meghatározott értékéket fogom használni.

A viszkozitás és a Renolds szám meghatározásához szükséges adatokat, és a fenti képletekkel így kiszámolt η és Re értékeket mind a hat golyó esetében táblázatba rendeztem.

n	dn (mm)	tn (s)	ηn (Pas)	Ren
1	4,785	1,78	1,1960822	0,39566
2	4,638	1,88	1,1868518	0,36311
3	4,605	1,83	1,138905	0,37037
4	1,023	21,73	0,667403	0,00693
5	1,148	18,36	0,710123	0,0092
6	1,117	18,95	0,6938933	0,00868

Az egyes műszerek abszolút leolvasási hibája a legkisebb leolvasható beosztás fele. A viszkozitás képletében szereplő, megmért adatok abszolút hibái így:

Δr = 0,0025 mm
Δt = 0,2 s
Δh = 0,5 mm

Az időmérés esetében a becsült reakcióidőt használtam. A sűrűségek hibáit 0-nak vettem. A képletben a mennyiségek szorzata és hányadosa szerepel, így a relatív hibák adódnak össze. Mindezek alapján kiszámoltam a Stokes-törvény alapján történő mérés hibáját. A helyes Reynolds számok melletti számolt értékeket a mérési hibával együtt, valamint a Höppler-féle viszkoziméterrel kapott, és az irodalomban olvasható értékeket eredménytáblázatba foglaltam:

Módszer	η (Pas)	Re
Höppler-féle viszkoziméter	0,01	-
Stokes törvényen alapuló mérés, 4.	0,67 ± 0,023	0,00693
Stokes törvényen alapuló mérés, 5.	0,71 ± 0,026	0,0092
Stokes törvényen alapuló mérés, 6.	0,69 ± 0,025	0,00868
Irodalmi érték	1,5	-

Diszkusszió

A Stokes-törvényen alapuló, helyes Reynolds számhoz tartozó mérések hibahatáron belül megegyezek egymással. Eltérés az irodalmi értéktől azért lehet, mert a viszkozitási együttható nagyon erősen függ a glicerin hőmérsékletétől, és nedvességtartalmától, és a mérési hibák is szerepet játszhattak.

A Höppler-féle viszkoziméterrel mért érték túlságosan is elüt az irodalmi értéktől. Csak a sűrűséget és az esési időt kellett megmérni. A sűrűség nagyon jól illeszkedik az irodalomban olvasható értékkel (1,261 g/cm^3), a golyó sűrűsége, és golyóállandó pedig meg volt adva, így egy ekkora eltéréshez legalább nagyságrendnyi tévedés szükséges az időmérésben, ami nehezen elképzelhető, így a dolgot vagy számolási hiba, vagy valamelyik adat hibás megadása okozhatja. Mivel ezt az értéket használtam a Reynolds számok kiszámolásához, ezek a számok is jelentősen eltérhetnek.