

3. fejezet

Viszkozitás mérése



A Höppler-féle viszkoziméter (jobbra) a gyakorlaton használt termosztáthoz csatlakoztatva (balra)

A folyadékok áramlását leírhatjuk úgy, hogy megadjuk az áramló folyadékrezecske helykoordinátáit az idő függvényében, azaz az ún. pályavonalat, vagy úgy, hogy a folyadékrezecskek sebességét adjuk meg a hely és az idő függvényében, azaz egy sebességeteret definiálunk:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}(x, y, z, t).$$

Ezt a vektorteret az áramvonalakkal szemléltethetjük, azaz azokkal a görbékkel, melyek érintői az érintési pontban a sebesség irányát adják meg. Az áramlást stacionáriusnak nevezzük, ha az áramlási tér egy adott helyén a sebesség időben állandó. Az áramlás lamináris, ha az áramló folyadék egymással párhuzamos vékony rétegekre osztható, amelyek egymás mellett különböző sebességgel mozognak. Ha ezek a felületek síkok, és az áramlás stacionárius, a sebességtér csak az egyik térkoordináta függvénye:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}(z).$$

Ha az áramló folyadékokban belső sebességkülönbségek lépnek fel, a gyorsabb molekulákat a hozzájuk kötődő lassabb molekulák folyamatosan fékezik. Ez a fékezőerő a szilárd testek súrlódásához teljesen hasonlóan működik, és lassítani igyekszik a folyadék áramlását a szilárd felületek között. Ez a „belső súrlódás” a viszkozitás. Két, egymástól z távolságban lévő, párhuzamos, v relatív sebességgel elmozduló, q felületű folyadék réteg között ható belső súrlódási erő nagysága arányos q -val, és a dv/dz sebességesséssel:

$$F = \eta q \frac{dv}{dz}.$$

A folyadék anyagi minőségétől és a T abszolút hőmérséklettől függő arányossági tényező, η a viszkozitási együttható, pontosabban a dinamikai viszkozitás. A dinamikai viszkozitás és a folyadék sűrűségének hányadosa,

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

a kinematikai viszkozitás.

A dinamikai viszkozitás SI egysége a pascalmásodperc, jele: Pa·s. A kinematikai viszkozitás SI egysége m^2/s . A dinamikai viszkozitás hőmérsékletfüggése az

$$\eta(T) = A \cdot e^{E/RT}$$

összefüggéssel írható le, ahol A és E a folyadékra jellemző állandók, R az egyetemes gázállandó ($R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol K})$), T pedig a folyadék abszolút hőmérséklete. A T az A együtthatóban is szerepel, de ez a függés 100°C -ig gyakorlatilag elhanyagolható, tehát A állandónak tekinthető.

A belső sűrűláadási együttható függ a folyadék anyagi minőségétől. Pl. az éter viszkozitása a vízének kb. a negyede, a ricinusolajé a vízének kb. 10-szerese, az emberi véré 38°C -on ötszöröse a vízének. Sok szilárd testnek tekintett anyagnál is fellép a belső sűrűláadás. Pl. egy pecsétviaszrud eltörésénél éles szélek keletkeznek. Ha viszont a rudat végeihez közel, vízszintes helyzetben két pontban alátámasztjuk, hónapok múltán a végek függőleges helyzetbe hajolnak le. A pecsétviasz belső sűrűláadási együtthatója kb. 1010 Pa·s. A gázok viszkozitása sokkal kisebb, pl. a hidrogéné a vízénél ezerszer kisebb.

A viszkozitás mérésére több módszert alkalmazhatunk, ezek közül az egyik legpontosabb a Höppler-féle viszkoziméter használata. Lamináris áramlás esetén a folyadékban kis sebességgel mozgó testre a viszkozitással arányos fékezőerő hat. A viszkoziméter ejtőcsövét a mérendő folyadékkal megtöltjük, és a cső átmérőjénél alig kisebb üveg- vagy vasgolyót helyezünk el benne. A golyó helyes megválasztásával az esés 20-30 mp-ig tart, vagyis létrehozhatóak azok a feltételek, amelyek mellett a közegellenállás fékezőereje nagy pontossággal arányosnak tekinthető a viszkozitással.

3.1. Viszkozitás mérése Höppler-féle viszkoziméterrel

A Höppler-féle viszkoziméterben egy folyadékkal feltöltött csőben esik egy golyó, a viszkozitásra az esés idejéből következtetünk. Az η viszkozitású, nagy kiterjedésű folyadékban állandó v sebességgel mozgó r sugarú golyóra a folyadék

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

akadályozó erőt, ellenállást fejt ki. Ez az ún. Stokes-féle ellenállástörvény.

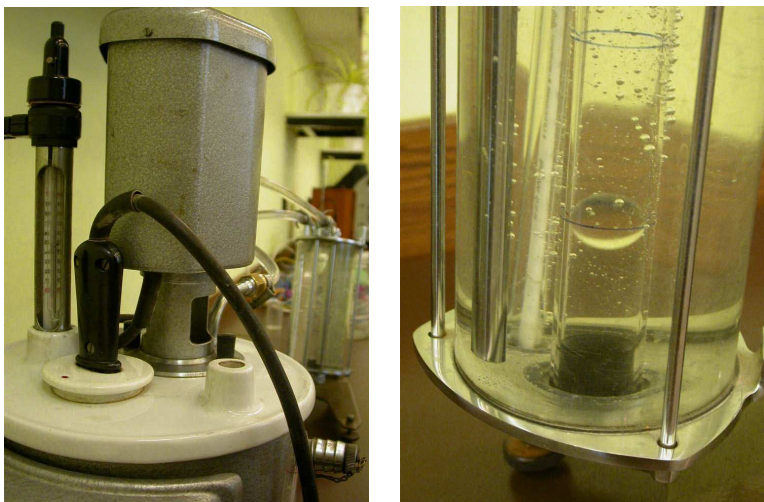
A ρ_G sűrűségű és r sugarú golyó ebben a folyadékban egy bizonyos ideig gyorsulva esik, majd eléri az állandó sebességét, amelyben az akadályozó erő és a gravitációs erő kioltja egymást, ezek után pedig állandó sebességgel mozog. Ennek értéke:

$$v = \frac{2g}{9\eta} (\rho_G - \rho) r^2.$$

Ez az egyenlet azon a feltevésen alapul, hogy a golyó végtelen kiterjedésű közegben mozog. Ha a golyó egy R sugarú henger belsejében mozog, különböző egyéb korrekciókat is figyelembe kell vennünk.

A Höppler-viszkoziméterben azt a t időt mérjük, amely alatt a golyó a vizsgálandó folyadékot tartalmazó, kissé ferdén álló csőben a két szélső jel közötti utat megteszi. Mivel a cső átmérője csak alig nagyobb a golyónál, a Stokes-törvény ebben az esetben nem alkalmazható, hanem ehelyett egy hasonló alakú összefüggésből számítható a viszkozitás:

$$\eta = K' (\rho_G - \rho) t,$$



Balra: a hőmérséklet-szabályozó a termosztáton a motor mellett foglal helyet. Jobbra: a golyó mozgása az ejtőcsőben

ahol K' a készülékhez tartozó, mindegyik golyóra gyári hitelesítés alapján állandó golyókonstans; ρ_G a golyó, ρ pedig a folyadék sűrűsége. Az abszolút mérésekre alkalmas Höppler-féle viszkóziméter nagy előnye, hogy széles mérési intervallumon alkalmazható, a mérések jól reprodukálhatók, pontosságuk 0,1–0,5% között van. Ehhez természetesen a folyadék hőmérsékletét adott értéken kell tartani.

A méréshez a készüléket vízszintezzük, az ejtőcsövet megtöltjük a mérendő folyadékkal, és behelyezzük a megfelelő golyót, amit úgy kell megválasztani, hogy az esési idő jól mérhető legyen; majd lezárjuk a csövet. Ezen folyamat során buborék ne kerüljön a csőbe! Ezután a készülék átbillentésével többször mérjük az esési időt.

A hőmérséklet ismerete és adott értéken tartása a méréskor alapvető. Ezt a viszkóziméterhez csatlakoztatott termosztáttal lehet szabályozni. A termosztát lényeges alkotóeleme egy víztartály, amely kb. 2 liter vizet tárol és keringet. A belemérülő fűtőszál és a hőmérő együttesen gondoskodik arról, hogy ez a vízmennyiség a kívánt hőmérsékletű legyen. A termosztát hőmérőjén előre beállítható a kívánt hőmérséklet, amelyet pár perc fűtés alatt elér a folyadék. A folyadék a viszkóziméter köpenyében áramolva hamarosan a mérendő közeget is beállítja a kívánt hőmérsékletre. A közeg hőmérsékletét egyszerűbb termosztátoknál nem mérhetjük közvetlenül, de lehetőség van a köpenybe nyúló hőmérőn meggyőződni a keringő folyadék hőmérsékletéről.

3.2. Feladatok

Eszközök: 1 viszkóziméter, hozzá csatlakozó termosztáttal, 1 db stopperóra.

1. A viszkóziméterben glicerin található. Mérje meg a viszkozitását szobahőmérsékleten! Ötször mérjen mindkét irányba ejtve!
2. Átlagolja az azonos irányhoz tartozó esési időket! Különbözik-e ez a két különböző irányban?
3. A golyókonstans ismeretében számítsa ki a viszkozitást!
4. Kapcsolja be a termosztátot, és mérje meg a glicerinelegy viszkozitását 25, 30, 35, 40, 45, 50 °C hőmérsékleten!
5. Ábrázolja a mérés eredményét milliméterpapíron!

6. Számítsa ki és ábrázolja a viszkozitás logaritmusát a hőmérséklet függvényében (linearizált ábrázolás)! A meredekségből számítsa ki E értékét glicerin esetében!