

ĆWICZENIE 1

LEPKOŚĆ

Przybory i odczynniki

wiskozymetr Ostwalda
stoper
dwie zlewki na 1 l
grzałka elektryczna
dwie zlewki na 250 ml

pipeta kalibrowana na 20 ml
pręcik szklany
termometr na 100° C
roztwór gliceryny

Wstęp

Przesuwanie się poszczególnych warstw cieczy względem siebie napotyka na opór, zwany tarciem wewnętrznym cieczy. Stwierdzono doświadczalnie, że siła styczna K , potrzebna do utrzymania stałej różnicy prędkości dwóch warstw cieczy, jest proporcjonalna do różnicy szybkości dw i do wielkości powierzchni S warstwy, odwrotnie proporcjonalna zaś do odległości warstw dx :

$$K = S\eta \frac{dw}{dx} \quad (1)$$

gdzie η jest współczynnikiem proporcjonalności, charakterystycznym dla cieczy, zwanym współczynnikiem lepkości bezwzględnej lub dynamicznej. Jak wynika z równania (1), współczynnik lepkości η jest równy co do wartości liczbowej sile potrzebnej do utrzymania jednostkowej różnicy prędkości dwóch odległych od siebie o jednostkę i posiadających jednakową powierzchnię cieczy.

Jednostką lepkości bezwzględnej jest dyna·sek·cm⁻², zwana pauzem P (poise). Jest to jednostka duża dlatego często używamy jednostek mniejszych, jak milipauz (10⁻³ P) i centipauz (10⁻² P). Na potrzeby tego ćwiczenia wszystkie wyniki należy wyrazić w jednostkach systemu SI:

$$1 P = 0,1 \frac{Ns}{m^2}$$

Tarcie wewnętrzne dla gazów jest rzędu 10⁻⁴ pauza, dla większości cieczy od 10⁻² do 10⁻³ pauza. W stanie szklistym (ciecze przechłodzone, np. szkło) współczynnik lepkości jest rzędu od 10¹¹ do 10¹³ pauza. Współczynnik lepkości dla ciał stałych przybiera wartości bardzo wysokie, zwykle niemierzalne.

S. Arrhenius i J.Guzman wyrazili zależność lepkości cieczy od temperatury w postaci funkcji wykładniczej:

$$\eta = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (2)$$

gdzie A i B są wielkościami charakterystycznymi dla danej cieczy, e jest podstawą logarytmu naturalnego, T jest temperaturą bezwzględną. Do analogicznego równania można dojść rozpatrując zjawisko teoretyczne. Cząsteczka cieczy zajmuje w przybliżeniu pewne położenie równowagi. Przesunięcie się cząsteczki w kierunku przepływu jest możliwe wówczas, gdy posiada ona określoną energię – tak zwaną energię aktywacji E . Im większa jest lepkość cieczy tym większa wymagana jest energia aktywacji. Stosownie do prawa podziału Maxwella i Boltzmanna, liczba cząsteczek posiadające energię E lub większą od niej jest proporcjonalna do wartości wyrażenia:

$$e^{\frac{-E}{RT}}$$

Lepkość bezwzględna powinna być odwrotna do tej wartości:

$$\eta = Ae^{\frac{E}{RT}}$$

Równanie powyższe odpowiada równaniu Arrheniusa – Guzmana. Wartość A w tym równaniu należy od ciężaru cząsteczkowego i objętości molowej cieczy.

W tabeli 1.1 podano zależności lepkości wody od temperatury.

Tabela 1: Zależność lepkości wody od temperatury [1]

T [°C]	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\eta \left[\frac{mNs}{m^2} \right]$	1,005	0,801	0,656	0,550	0,470	0,406	0,356	0,315	0,283

Stosunek lepkości bezwzględnej do gęstości cieczy nazywamy lepkością kinetyczną. Wymiarem lepkości jest cm^2/s

Pomiar lepkości cieczy metodą przepływu

Metoda ta opiera się na pomiarze czasu przepływu określonej objętości cieczy przez wzorcową rurkę kapilarną pod działaniem znanej różnicy ciśnień. Prawo opisujące przepływ cieczy przez rurki kapilarne odkrył Poiseuille. Można je wyrazić równaniem:

$$V = \frac{r^4 \Delta p t}{8 \eta l \pi} \quad (4)$$

w który ma V oznacza objętość cieczy wypływającej w ciągu czasu t z kapilary o długości l i promieniu r , pod wpływem różnicy ciśnień Δp . Równanie powyższe sprawdza się tylko wówczas, gdy szybkość przepływu jest tak mała, że nie powstają wiry, oraz gdy ciecz wypływa z kapilary bezpośrednio do tej samej cieczy. W przypadku gdy ciecz wypływa tylko pod działaniem własnego ciężaru, istnieje zależność:

$$\Delta p = \frac{h_1 - h_2}{2} d g \quad (5)$$

gdzie: $h_1 - h_2$ jest różnicą poziomów, d – gęstością cieczy, g – przyspieszeniem ziemskim.

Bezpośrednie wykorzystanie wzoru (4) dla pomiaru lepkości jest możliwe, lecz niewygodne. Trzeba bowiem wyznaczyć V i Δp . Każdy z tych pomiarów jest obarczony błędem, które sumują się w ostatecznym wyniku.

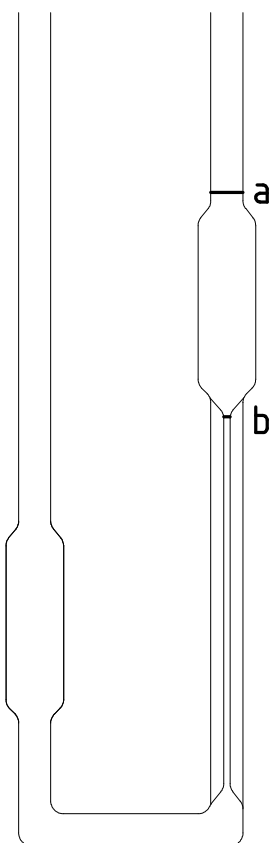
Można tego uniknąć, mierząc kolejno czas przepływu równych objętości dwóch różnych cieczy pod działaniem własnego ciężaru przez tę samą rurkę kapilarną; otrzymujemy wówczas z prawa Poiseuille'a po uwzględnieniu wzoru (5) zależność:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{d_1 t_1}{d_2 t_2} \quad (6)$$

w której η_1 i η_2 są lepkościami bezwzględnymi, d_1 i d_2 – gęstościami badanych cieczy, a t_1 t_2 oznaczają czasy przepływów. Znając lepkość jednej cieczy możemy obliczyć lepkość drugiej. Jeżeli pewną ciecz o znanej lepkości przyjmiemy za wzorzec, to stosunek lepkości bezwzględnej cieczy badanej do wzorcowej nazwiemy lepkością względną:

$$\eta_w = \frac{\eta_x}{\eta_o} = \frac{d_x t_x}{d_o t_o} \quad (7)$$

W równaniu tym η_o , d_o , i t_o odpowiadają cieczy wzorcowej. Zwykle cieczą wzorcową jest woda i w tych przypadkach wystarczy zmierzona lepkość względną pomnożyć przez bezwzględną lepkość wody, aby otrzymać bezwzględną lepkość badanej cieczy.



Ilustracja 1:
Wiskozymetr Ostwalda

Do pomiaru lepkości metodą przepływu używamy przyrządu przedstawionego na Ilustracji 1, zwanego wiskozymetrem Ostwalda. Jest to naczynie w kształcie litery U, z dwoma zbiornikami, między którymi znajduje się rurka kapilarna. Ciecz wciąga się za pomocą pompki wodnej do zbiornika górnego A (przy napełnianiu aparatu od góry mogłyby powstać pęcherzyki powietrza w kapilarze). Mierzy się stoperem czas wypływu objętości cieczy zawartej między poziomem a i b.

W przypadku cieczy o znacznej lepkości, jak na przykład oleje smarowe lub gliceryna, używa się wiskozymetru z kapilarą o promieniu 0,2 mm i o długości około 6 cm. Ponieważ lepkość zależy od temperatury, należy umieścić wiskozymetr w termostacie wodnym o oszklonych ściankach bocznych. Jako termostatu można używać zlewki wypełnionej wodą o stałej i znanej temperaturze.

Istnieje również szereg innych metod pomiaru lepkości, jak na przykład metoda opadającej kulki (Stokesa), metoda wirującego cylindra itp.

Cel ćwiczenia

1. Pomiar lepkości wodnego roztworu gliceryny w różnych temperaturach
2. Stwierdzenie w oparciu o dane tablicowe i wyniki pomiarów własnych, czy wzór Arrheniusa opisuje zadowalająco zależności lepkości wody i gliceryny od temperatury. W przypadku jeżeli zależność ta jest spełniona, należy wyznaczyć metodą graficzną energię aktywacji przepływu lepkiego tych cieczy.

Wykonanie ćwiczenia i opracowanie wyników

1. Napełniony wodą wiskozymetr Ostwalda wkłada się na 5 minut do naczynia termostatującego, po czym mierzy się czas wypływu. Pomiar wykonuje się co najmniej trzykrotnie, wylicza się średnią i błąd pomiaru.
2. Wiskozymetr (wysuszony, bądź przemyty kilkoma ml gliceryny) wypełnić gliceryną. Następnie termostatuje się go przez 5 minut i wykonuje pomiar, jak w punkcie 1.

Pomiary, o których mowa w punkcie 1 i 2 wykonuje się w temperaturach 20, 40, 60, 80° C.

3. Posługując się uzyskanymi wynikami oraz danymi zawartymi w tabeli 1.1 należy wyliczyć lepkość względną i bezwzględną gliceryny oraz sporządzić wykres zależności lepkości od temperatury. Potrzebną do tych obliczeń wartość ciężaru właściwego gliceryny wyznacza się w 20° C na drodze pomiaru piknometrycznego. Należy zważyć pusty i suchy piknometr (wraz z zatyczką) oraz piknometr napełniony wodą destylowaną. Różnica tych dwu mas pozwala wyznaczyć objętość piknometru (cechowanie). Wążąc następnie piknometr napełniony badaną cieczą można z tych danych wyznaczyć jej ciężar właściwy. (ciężar właściwy wody w tej temperaturze wynosi 0,9982 g/cm³). Prowadząc obliczenia dla wyższych temperatur przyjmuje się, jako założenie upraszczające, że wartość liczbowa wyrażenia $d_{H_2O}/d_{gliceryny}$ jest w badanym zakresie temperatur stała. Porównując znalezioną doświadczalnie wartość gęstości gliceryny z wykresem sporządzonym w oparciu o dane tabeli 1.2 należy określić stężenie użytego roztworu gliceryny,

Tabela 2: Zależność gęstości roztworu wodnego gliceryny od stężenia. Temperatura 20° C [2]

% wagowy gliceryny	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Gęstość roztworu [g/cm ³]	1,022	1,047	1,072	1,099	1,126	1,153	1,180	1,208	1,235	1,261

4. Celem sprawdzenia, czy równanie Arrheniusa_Guzmana opisuje zadowalająco zależność lepkości wody i badanego roztworu gliceryny od temperatury, należy je przekształcić w postać logarytmiczną:

$$\log \eta = \log A + \frac{E}{2,3RT} \quad (8)$$

Tak więc, dowodem stosowalności wzoru byłoby uzyskanie liniowej zależności w układzie współrzędnych dla wody i dla badanego roztworu gliceryny.

5. W przypadku uzyskania liniowej zależności $\log \eta = f(1/T)$ należy obliczyć z wykresów wartości współczynników A oraz energii aktywacji przepływu lepkiego E. Celem uzyskania przejrzystego zapisu danych pomiarowych i łatwiejszego sporządzenia wykresów należy wyniki pomiarów ująć w podaną niżej tabelę.

Tabela 3: Wyniki pomiarów lepkości

Nr pomiaru	t [°C]	T [K]	$\frac{1}{T}$	Czas wypływu t [s]	Średni czas wypływu t[s]	$\frac{\eta_{gl}}{\eta_{H_2O}}$	$\eta \left[\frac{mNs}{m^2} \right]$	log η	Uwagi

Zastosowanie

Lepkość jest jedną z najważniejszych cech smarów i olejów samosmarowych. Dobór oleju lub smaru o właściwej charakterystyce odpowiadającej warunkom pracy (szybkości przemieszczania się względem siebie powierzchni trących, temperatura i jej wahania) decydują niejednokrotnie o prawidłowej lub nieprawidłowej eksploatacji silników, różnego rodzaju łożysk itp. Niewłaściwy dobór smarów prowadzi do szybkiego niszczenia mechanizmów.

Dla metalurga specjalne znaczenie posiada znajomość lepkości metalu ciekłego i żuźla oraz ich zależności od temperatury. Lepkość wpływa na prędkość przechodzenia do żuźla nierozpuszczalnych zanieczyszczeń czy produktów reakcji oraz na sam przebieg reakcji między ciekłym żuźlem a metalem. Tak na przykład prędkość redukcji tlenków metali w żuźlu maleje z wzrastającą zasadowością żuźla, co w pierwszym rzędzie związane jest również z wczesnym wzrostem lepkości żuźla. Lepkość ciekłego metalu oraz jej zależność od temperatury posiadają podstawowe znaczenie w procesie odlewania metali, zwłaszcza w przypadku odlewów profilowanych, cienkościennych itp.

Szkło stopione i ochładzane nie przepnie w określonej i stałej temperaturze, lecz powoli staje się coraz bardziej gęstopłynne i w końcu przechodzi w ciesz przechłodzoną (substancję quasi-krystaliczną). Duży zakres zwiększonej lepkości umożliwia obróbkę szkła (dmuchanie, odlewanie, o prasowanie itp.). Z drugiej strony otrzymywanie szkła wymaga uzyskania łatwopłynnego stopu, który można łatwo odgazować i uczynić jednorodnym, co jest niezbędnym warunkiem dobrej jakości od temperatury posiadają w technologii szkła duże znaczenie

Bibliografia

1: , Kalendarz Chemiczny, 1954

2: J. D. Ans, E. Lax, Taschbuch fur Chemiker und Physiker, 1943