

PJJSS
w Pile

KATEDRA INŻYNIERII MECHANICZNEJ

LABORATORIUM TRIBOLOGII

Ćwiczenie laboratoryjne nr 4

TEMAT: OKREŚLENIE GĘSTOŚCI CIECZY I CIAŁ STAŁYCH WYBRANYMI METODAMI

1. Wprowadzenie

Gęstością ρ nazywamy iloraz masy m substancji do jej objętości V :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Do wyznaczania wartości gęstości gazów, cieczy i ciał stałych stosuje się różne metody pomiaru, m. in.:

- wyznaczanie gęstości ciał stałych za pomocą piknometru;
- wyznaczanie gęstości ciał stałych metodą hydrostatyczną;
- wyznaczanie gęstości ciał stałych za pomocą wzorcowanego szklanego nurnika (odmiana metody hydrostatycznej)

Najprostszą metodą określenia gęstości ciała stałego jest zwymiarowanie go, czyli określenie jego objętości i jego zważenie. Problem pojawia się wówczas, gdy danego materiału nie można w prosty sposób zwymiarować ze względu na nieregularne kształty. Wówczas należy takie ciało zanurzyć w cieczy wzorcowej znajdującej się np. w cylindrze miarowym służącym do dokładnego pomiaru objętości. Poniżej przedstawiono w/w sposoby wyznaczania gęstości ciał stałych.

Do wyznaczania wartości gęstości względnej służy piknometr. Piknometrem nazywa się szklaną kolbę o niewielkiej objętości, która jest zamknięta dokładnie oszlifowanym korkiem (rys. 1) lub dla konstrukcji bardziej dokładnych termometrem o szlifowanej powierzchni, który służy zarówno do zamknięcia kolby i do pomiaru temperatury (rys. 2). W celu wyznaczenia gęstości ciała stałego należy wykonać następujące czynności:

- zważyć pusty piknometr;
- zważyć piknometr wypełniony cieczą wzorcową (np. wodą);
- zważyć badane ciało stałe;
- zważyć piknometr zawierający ciecz wzorcową i badane ciało stałe.

Przy wyrażaniu masy w poszczególnych w/w przypadkach stosujemy następujące wzory:

- dla obliczania masy cieczy wzorcowej:

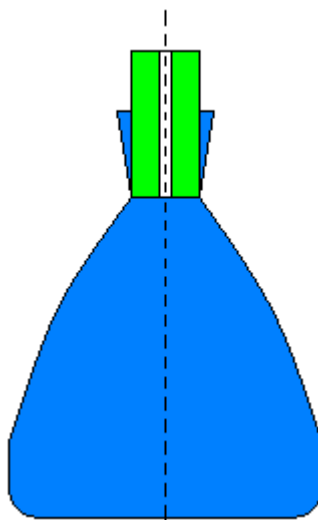
$$m_w = m_w^* - m_p$$

gdzie: m_w – masa cieczy wzorcowej;
 m_w^* – masa piknomtru wypełnionego cieczą wzorcową (np. wodą);
 m_p – masa pustego piknomtru

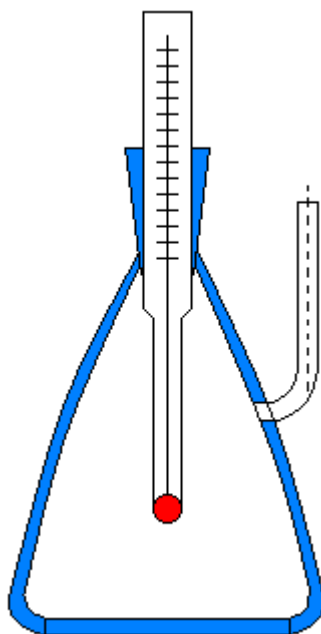
- dla obliczania masy cieczy wzorcowej wraz z ciałem stałym:

$$m_x = m_x^* - m_p$$

gdzie: m_x – masa cieczy wzorcowej wraz z ciałem stałym;
 m_x^* – masa piknomtru zawierającego ciecz wzorcową i badane ciało stałe;
 m_p – masa pustego piknomtru.



Rys. 1. Piknometr z doszlifowanym korkiem zawierającym kapilarny kanalik



Rys. 2. Piknometr próżniowy z termometrem

Masa cieczy wypartej przez ciało stałe z piknometru wynosi:

$$m = m_w - m_x + m_c$$

$$V \cdot \rho_w = m_w - m_x + m_c$$

Ponieważ:

$$V = \frac{m_c}{\rho_c}$$

Wówczas otrzymujemy:

$$\frac{m_c}{\rho_c} \cdot \rho_w = m_w - m_x + m_c$$

Ostatecznie po przekształceniach otrzymujemy następujący wzór na szukaną gęstość ciała stałego w następującej postaci:

$$\rho_c = \frac{m_c}{m_w - m_x + m_c} \cdot \rho_w$$

gdzie: ρ_w – gęstość cieczy wzorcowej (wody dla danej temperatury);

m_w – masa wody;

V – objętość ciała;

m_c – masa ciała stałego;

ρ_c – gęstość ciała stałego;

m_x – masa cieczy wzorcowej wraz z ciałem stałym.

Do przeprowadzenia w/w badań konieczne są następujące materiały i urządzenia:

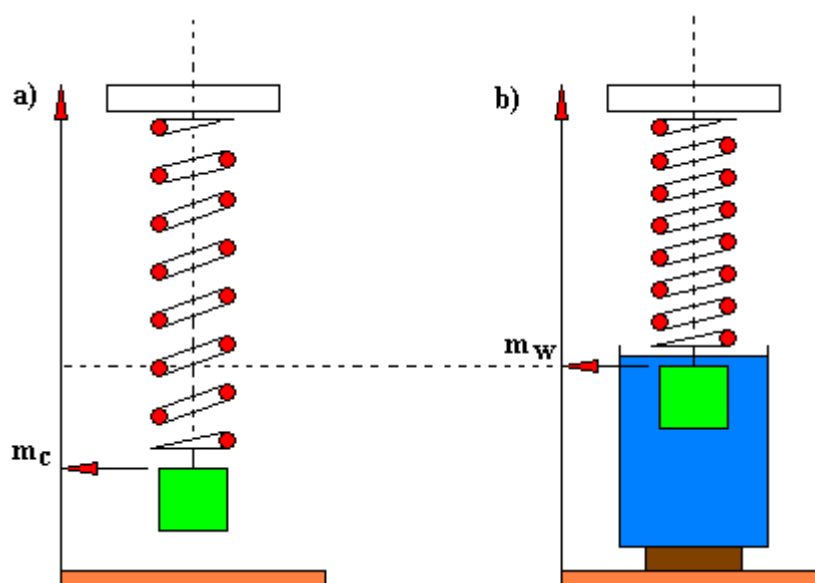
- woda destylowana;
- piknometr;
- waga elektroniczna laboratoryjna;
- rozdrobnione ciało stałe;
- zlewki;
- strzykawka jednorazowa;
- suszarka.

Algorytm postępowania podczas wyznaczania gęstości ciała stałego jest następujący:

- badane ciało sypkie w ilości $1/2 \div 1/3$ objętości piknometru ważymy określając jego masę m_c ;
- następnie ważymy pusty piknometr wyznaczając wraz z korkiem jego masę m_p ;
- napełniamy piknometr wodą destylowaną i wyznaczamy masę całości m^*_w ;
- umieszczamy badane ciało we wnętrzu piknometru z wodą;
- wylewamy nadmiar wody równy objętości ciała stałego;
- po osuszeniu powierzchni zewnętrznych piknometru oraz usunięciu pęcherzyków powietrza z cieczy sprawdzamy poziom cieczy, który powinien być identyczny jak w poprzednim pomiarze;
- wyznaczamy masę m_x cieczy wzorcowej wraz z ciałem stałym;
- każdorazowo nalewamy do piknometru tyle cieczy, aby po umieszczeniu korka jej nadmiar wylał się przez kapilarę w korku;
- rejestrujemy niepewności pomiarowe wynikające z zastosowanych przyrządów.

Z otrzymanych wyników pomiarów należy wyznaczyć gęstość badanego ciała stałego, obliczyć błędy względne procentowe dla poszczególnych pomiarów, obliczyć niepewności maksymalne odpowiednich wielkości oraz porównać otrzymane wyniki z danymi z tablic matematyczno-fizycznych. Na tej podstawie sformułować wnioski.

Pomiar gęstości metodą hydrostatyczną (rys. 3) oparty jest na pomiarze różnicy między ciężarem ciała bezpośrednio umieszczonego na wadze, a ciężarem tego samego ciała zanurzonego w cieczy wzorcowej (w niniejszym przykładzie w wodzie destylowanej).



Rys. 3. Sposób pomiaru objętości i gęstości ciała stałego metodą hydrostatyczną
a) ciało ważone w powietrzu; b) ciało ważone po zanurzeniu w wodzie;
 m_c – ciężar ciała ważonego w powietrzu; m_w – ciężar ciała zanurzonego w wodzie

2. Cel ćwiczenia

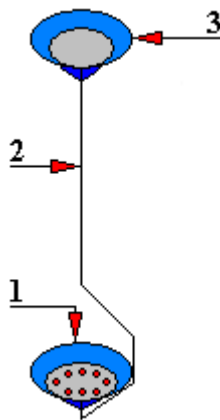
Celem ćwiczenia jest:

- określenie gęstości wybranych środków smarowych w temperaturach normatywnych;
- porównanie otrzymanych wyników z danymi producentów.

3. Opis ćwiczenia

Do wyznaczania gęstości wybranych materiałów w niniejszym ćwiczeniu zastosowano wagę elektroniczną precyzyjną typu WPS produkcji firmy RADWAG. Algorytm czynności do wykonania w trakcie ćwiczenia jest następujący:

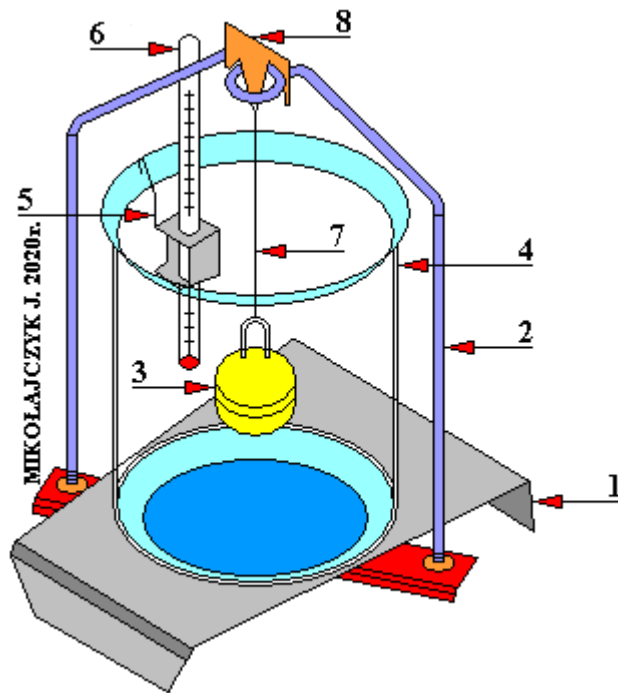
- zapoznać się z instrukcją obsługi wagi;
- w menu wagi wybrać funkcję pomiaru gęstości;
- przygotować w zlewkach badane środki smarne wybrane przez prowadzącego;
- do menu wagi wprowadzić objętość nurnika wzorcowanego i go zważyć w powietrzu, a jego pomiar zapisać w pamięci wagi;
- zanurzyć nurnik w badanym środku smarowym i ponownie go zważyć;
- na wyświetlaczu wagi powinien pojawić się wynik gęstości;
- powtórzyć pomiary 10-ciokrotnie dla danego środka smarnego i danej temperatury;
- przeprowadzić analizę statystyczną pomiarów;
- otrzymane wyniki gęstości danego środka smarnego porównać z danymi producenta



Rys. 4. Zespół szalek wagi precyzyjnej WPS prod. firmy RADWAG
1 – szalka dolna; 2 – ciężno szalek; 3 – szalka górna



Rys. 5. Obciążniki zestawu do wyznaczania gęstości ciał stałych i cieczy
1, 2 – obciążniki zestawu dla wyrównania wstępnego



Rys. 6. Zestaw dodatkowy wagi przeznaczony do wyznaczania gęstości ciał stałych i cieczy dedykowany wadze precyzyjnej WPS prod firmy RADWAG
 1 – podstawka zlewki; 2 ramka szalki; 3 – wzorcowany nurnik; 4 – zlewka; 5 – zacisk termometru; 6 – termometr; 7 – ciężko wzorcowanego nurnika; 8 – wieszak nurnika

Uwaga: W zestawie pomiarowym znajdują się dwa różnej wielkości nurniki wzorcowane, które posiadają różną objętość. Wprowadzenie do menu wagi innej wartości objętości nurnika, niż używanego w czasie pomiarów powoduje otrzymanie błędnych wyników gęstości. W czasie przeprowadzanie ćwiczenia studenci powinni być uważni.

Elektroniczna waga WPS przeznaczona jest do precyzyjnych pomiarów masy w warunkach laboratoryjnych z możliwością zerowania w całym zakresie pomiarowym. Kalibracja wagi realizowana jest automatycznie lub poprzez naciśnięcie przycisku CAL na pulpicie wagi. Funkcje dostępne dla użytkownika zostały podzielone na cztery bloki tematyczne:

1. Funkcje związane z jednostkami ważenia:

- ważenie w gramach;
- wygaszenie ostatniego miejsca po przecinku;
- ważenie w miligramach [mg];
- ważenie w karatach [ct];
- ważenie w jednostkach z poza układu SI np. [mo], [dwt], [oz], [GN].

2. Funkcje związane z trybami pracy (ZERO/TARE+f):

- sumowanie ważeń <Add>;
- liczenie sztuk <PIECES>;
- odchyłki względem masy wzorca <Perc A>, <Perc B>;
- gęstość ciał stałych <Co>;
- gęstość cieczy .

3. Funkcje związane z przystosowaniem wagi do warunków w miejscu pracy (ZERO/TARE+cal)

- wyłączanie/załączanie układu autozera <AUTO>;

- wyłączenie/załączenie kalibracji automatycznej względem zmian temperatury <AC_t> (funkcja dostępna w w ersji /C/2);
- wyłączenie/załączenie kalibracji automatycznej względem czasu od ostatniej kalibracji <AC_C> (funkcja dostępna w wersji /C/2);
- deklarowanie szybkości stabilizacji <Con>;
- ustawienie wielkości uśredniania pomiarów <AuE>;
- dozowanie materiałów – filtry cyfrowe <Fil>;
- domyślna jednostka miary <St_uni>.

4. Funkcje związane z wykorzystaniem RS 232 (ZERO/TARE+print)

- wybór prędkości transmisji <bod>;
- określenie przesyłanych danych jako: stabilne/niestabilne <StAb>;
- ciągła transmisja danych <cont>;
- ustawienie daty jako dodatkowego parametru w wydrukach <dAtE>;
- załączenie/wyłączenie znacznika ostatniej cyfry na wydruku <Pd_d>.

Podstawowym elementem przy pomiarze gęstości cieczy jest szklany nurnik. Posiada on określoną precyzyjnie objętość podaną na haczyku. Przed właściwymi pomiarami wartość tę należy wprowadzić do pamięci wagi. Pomiar gęstości cieczy polega na zważeniu szklanego nurnika w powietrzu oraz w badanej cieczy. Wynik gęstości cieczy wyświetlany jest na wyświetlaczu w sposób automatyczny po wprowadzeniu do pamięci wagi masy nurnika zanurzonego w badanej cieczy.

Pomiar gęstości ciał stałych można wyznaczyć w jednej z trzech różnych cieczy (padano oznaczenia dokładnie jak w menu urządzenia):

- **H2O** (woda destylowana);
- **C2H5OH** (spirytus 100% +/- 0,1% w temperaturze odniesienia +20°C);
- **AnotHER** (inna ciecz o znanej gęstości).

Dla wody destylowanej i spirytusu należy podać temperaturę cieczy. Dla cieczy o znanej gęstości jej wartość (gęstość) wpisywana jest z klawiatury wagi. Pomiar gęstości polega na zważeniu próbki w powietrzu (na górnej szalce zestawu) oraz zważeniu tej samej próbki w cieczy (na dolnej szalce zestawu). Wynik gęstości eksponowany jest na wyświetlaczu wagi w sposób automatyczny po wprowadzeniu masy próbki w cieczy.

Tab. 1. Wyniki pomiarów

| Lp. | Gęstość (środek smarowy X) | Gęstość (środek smarowy Y) | Gęstość (środek smarowy Z) | Temperatura pomiaru |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| 6. | | | | |
| 7. | | | | |
| 8. | | | | |
| 9. | | | | |
| 10. | | | | |
| Wartość średnia | | | | |

4. Opracowanie wyników

- określić błędy pomiarowe;
- dokonać analizy statystycznej otrzymanych wyników pomiarów;
- porównać otrzymane wyniki z danymi producenta danego środka smarnego dla danej temperatury;
- przedstawić wnioski z przeprowadzonych badań.

5. Pytania sprawdzające

- jaki wpływ na wartość gęstości środka smarnego wywiera temperatura?
- jak dla różnych rodzajów środków smarnych przebiega zależność ich gęstości od temperatury w zależności od ich składu?

6. Literatura

- Lewiński J.: Wymiana ciepła. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2012.
- Mikołajczyk J.: Wpływ dodatków smarowych na transformację warstwy wierzchniej. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2017.
- Mikołajczyk J.: Maszyny tarciovye. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2018.
- Mikołajczyk J.: Tribotestery. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2019.
- Różański S.A.: Fizyka. Repetytorium dla studentów I roku studiów inżynierskich. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2011.
- Różański S.A.: Przez fizykę na skróty. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2013.
- Różański S.A.: Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki wspomagane komputerem. Wydawnictwo PWSZ w Pile, Piła 2014.
- Skorka M.: Fizyka. Podręcznik dla studentów wyższych technicznych studiów zawodowych dla pracujących. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1973.
- Staniszewski B.: Termodynamika. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1978.