Ćw. 34. Mechaniczny równoważnik ciepła

1. Cel ćwiczenia

1. Wyznaczyć mechaniczny równoważnik ciepła.
2. Wyznaczyć ciepło właściwe glinu i mosiądzu.

2. Zagadnienia:

1) mechaniczny równoważnik ciepła,
2) praca mechaniczna,
3) energia cieplna,
4) pojemność cieplna,
5) ciepło właściwe,
6) pierwsza zasada termodynamiki.

3. Wprowadzenie

Ciała mogą przekazywać sobie energię pod dwiema postaciami:

1) energia uporządkowanego ruchu jednego ciała przechodzi w energie uporządkowanego ruchu drugiego ciała albo jego części. Zachodzi przy wzajemnym działaniu ciał makroskopowych o wymiarach znacznie większych od wymiarów pojedynczych atomów czy cząsteczek. W termodynamice i mechanice ten rodzaj przekazywania energii zwany jest pracą,
2) bezpośrednia wymiana energii między bezładnie poruszającymi się cząsteczkami ciał działającymi wzajemnie na siebie. Kosztem przekazywanej ciału energii wzmaga się nieuporządkowany ruch jego cząstek, czyli zwiększa się energia wewnętrzna ciała. Ta forma przekazywania energii zwana jest w termodynamice ciepłem.

Energia mechaniczna podczas pokonywania sił tarcia jest w całości zamieniana w ciepło, niezależnie od przebiegu procesu przemiany oraz cech fizycznych i chemicznych materiału. Ilość ciepła ΔQ pobierana przez ciało jednorodne przy niewielkim wzroście temperatury, przy którym nie zachodzi przemiana fazowa, jest proporcjonalna do masy ciała i do przyrostu temperatury ΔT:



$$\Delta Q = m \times c \times \Delta T = C \times \Delta T, \quad (1)$$

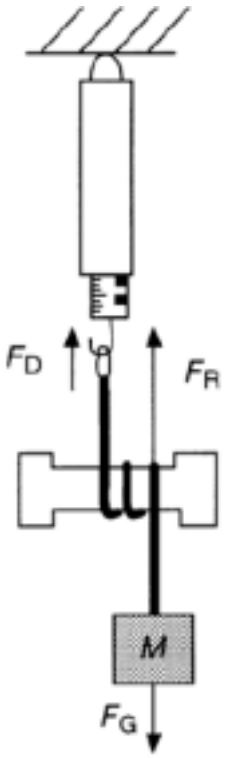
gdzie:
m – masa ciała, c – ciepło właściwe ciała, C – pojemność cieplna.

W wyniku tarcia występującego między obracającym się metalowym cylindrem a nawiniętą nań taśmą z syntetycznego materiału następuje wzrost temperatury cylindra. Jest ona mierzona termometrem stykającym się z cylindrem - rys.1.

Rys. 1. Schemat układu pomiarowego.

Praca mechaniczna wykonywana jest poprzez obracanie cylindra względem przesuwającej się siły tarcia F_R syntetycznej taśmy. Ponieważ ciężarek M nie zmienia położenia podczas ruchu cylindra to siła ciężkości F_G (Mg) oraz siła tarcia F_R i siła F_D działająca na zawieszenie siłomierza sprężynowego znoszą się wzajemnie – rys.2:

$$\mathbf{F_R = F_G - F_D} \qquad (2)$$



Rys. 2. Równowaga sił podczas ruchu cylindra.

Pracę tarcia W wyznaczyć można ze zależności:

$$\mathbf{W = F_R \times s,} \qquad (3)$$

gdzie:

droga tarcia $s = 2\Pi \times r \times n$,

r – promień cylindra,

n – liczba obrotów.

Z ustalonej pracy mechanicznej i zmiany energii wewnętrznej wyznaczonej ze wzrostu temperatury określa się mechaniczny równoważnik ciepła. Przy założeniu równoważności pracy mechanicznej i energii cieplnej można wyznaczyć ciepło właściwe materiału cylindra.

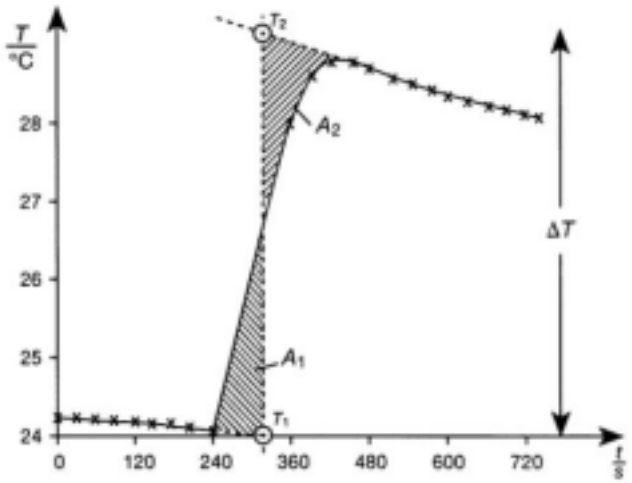
Stosunek między zrealizowaną pracą mechaniczną W, a wartością generowanej przy pomocy tarcia ciepła ΔQ zwany jest mechanicznym równoważnikiem ciepła.

Podczas gdy syntetyczna taśma przesuwa się na cylindrze, duża część pracy mechanicznej przekształcana jest w ciepło, poprzez niesprężyste deformacje trącego materiału. Temperatura cylindra T podczas tarcia zwiększa się o różnicę temperatury ΔT:

$$\mathbf{\Delta Q = C_c \times \Delta T,} \qquad (4)$$

gdzie C_c jest całkowitą pojemnością cieplną podgrzewanych części układu pomiarowego - cylindra tarcia, taśmy i termometru. Pojemności cieplne odizolowanej podstawy i pasty przewodzącej ciepło zostały pominięte.

Wykres zależności temperatury od czas dla przykładowego pomiaru przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Wykres temperatura/czas przykładowego pomiaru.

4. Wykonanie ćwiczenia

A. Konfiguracja stanowiska

1. Zamontować mosiężny cylinder tarcia urządzenia.
2. Zamocować w statywie siłomierz sprężynowy 100 N.
3. Przetrzeć cylinder i taśmę suchą szmatką celem usunięcia metalowych opiłków.
4. Zamocować taśmę cierną w siłomierzu, owinąć ją dwukrotnie na cylindrze i zamocować na końcu odważnik odpowiadający masie 5 kg.
5. Wypełnić otwór cylindra pastą przewodzącą ciepło celem poprawy kontaktu cieplnego.
6. Wprowadzić koniec termometru wprowadzić do otworu w cylindrze, ustawić w osi układu pomiarowego i zamocować w uchwycie.

B. Pomiary

1. Rejestrować wskazania termometru przez 5 minut, co 30 sekund od momentu zamocowania termometru. Cylinder pozostaje w spoczynku.
2. Obracać równomiernie, regularnie i możliwie szybko rękojeścią korby 200 razy notując co 30 s wartość temperatury.
3. Za pomocą siłomierza wyznaczyć siłę F_D działającą na taśmę.
4. Po zakończeniu obracania cylindra rejestrować wskazania termometru przez 8 minut, co 30 sekund. Cylinder pozostaje w spoczynku.
5. Wyniki zapisać w tabeli.

Lp.	Czas t [s]	Temperatura T [˚C]	Liczba obrotów n	$\bar{F}_D$ [N]
1	30			
2	60			
3	90			
4	120			
…				
…				
k-1	30×(k-1)			
k	30×k			

Uwaga: w przypadku stosowania cylindra aluminiowego zastosować siłomierz 10 N oraz odważnik 1 kg.

5. Opracowanie wyników.

Dane

	Masa [kg]	Ciepło właściwe [J/kg K]	Pojemność cieplna [J/K]
Taśma	-	-	4
Termometr	-	-	4
Mosiężny cylinder tarcia – mały	0,64	385	
Mosiężny cylinder tarcia – duży	1,28	385	
Aluminiowy cylinder tarcia	0,39	902	

1. Wyznaczyć pracę W wykonaną nad układem podczas obracania cylindra, równanie 3.
2. Wykonać wykres T + f(t). Wyznaczyć następująco różnicę temperatury (rys. 3). Przybliżyć do prostych wyniki pomiarów wykonanych przy nieruchomym cylindrze. Narysować linię równoległą do osi temperatury tak, że uformują się dwa równe obszary A_1 i A_2 o porównywalnej powierzchni. Różnica współrzędnych punktów na skrzyżowaniu obu prostych jest szukaną różnicą temperatury ΔT.
3. Wyznaczyć pojemność cieplną układu:

$$\mathbf{C_c = C_m + C_t + C_{term}}$$

   Pojemności cieplne odizolowanej podstawy i pasty przewodzącej ciepło należy pominąć.
4. Wyznaczyć ciepło powstałe w wyniku pracy wykonanej nad układem podczas obracania cylindra, równanie 4.
5. Wyznaczyć mechaniczny równoważnik ciepła, stosunek W/ ΔQ.

Opracował: Bogdan Warcholiński, 4.03.2012.