

3.3.02-00 Mechaniczny równoważnik ciepła



Co możesz poznać....

- Mechaniczny równoważnik ciepła
- Praca mechaniczna
- Energia termiczna
- Pojemność cieplna
- Pierwsza zasada termodynamiki
- Ciepło właściwe

Zasada:

Podczas tego doświadczenia obracamy i podgrzewamy metalowy obiekt badań za pomocą tarcia wywołanego przez napiętą taśmę syntetycznego materiału. Z ustalonej pracy mechanicznej i ze wzrostu energii wewnętrznej wyznaczonej ze wzrostu temperatury, wyznaczamy mechaniczny równoważnik ciepła. Przy założeniu równowartości pracy mechanicznej i ciepła, wyznaczamy ciepło właściwe glinu i mosiądzu.

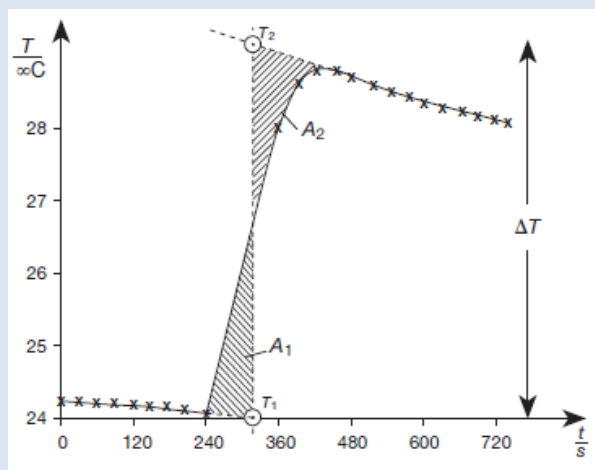
Zadania:

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

Wyposażenie potrzebne do przeprowadzenia ćwiczenia:

Aplikacja „Mechaniczny równoważnik ciepła”	04440.00 1
Cylinder tarcia CuZn, $m = 1,28 \text{ kg}$	04441.02 1
Cylinder tarcia Al, $m = 0,39 \text{ kg}$	04441.03 1
Pręt statywu - PASS-, $l = 250 \text{ mm}$	02025.55 1
Łącznik krzyżowy - PASS-	02040.55 1
Siłomierz sprężynowy 10 N	03060.03 1
Siłomierz sprężynowa 100 N	03060.04 1
Stoper, cyfrowy, 1/100 sek.	03071.01 1
Uchwyt stołowy (typu G), -PASS-	02010.00 4
Zacisk uniwersalny z łącznikiem	37716.00 1
Odważnik, 1000 g	44096.70 1
Odważnik, 5000 g	44096.81 1

Komplet wyposażenia, instrukcja obsługi na CD załączona  
 Mechaniczny równoważnik ciepła  
 P2330200



Wykres temperatura/czas przykładowego pomiaru.

**Tematy pokrewne:**

Mechaniczny równoważnik ciepła, praca mechaniczna, energia termiczna, pojemność cieplna, pierwsza zasada termodynamiki, ciepło właściwe.

**Podstawy:**

Podczas tego doświadczenia obracamy i podgrzewamy metalowy obiekt badań za pomocą tarcia wywołanego przez napiętą taśmę syntetycznego materiału. Z ustalonej pracy mechanicznej i ze wzrostu energii wewnętrznej wyznaczonej ze wzrostu temperatury, wyznaczamy mechaniczny równoważnik ciepła. Przy założeniu równowartości pracy mechanicznej i ciepła, wyznaczamy ciepło właściwe glinu i mosiądzu.

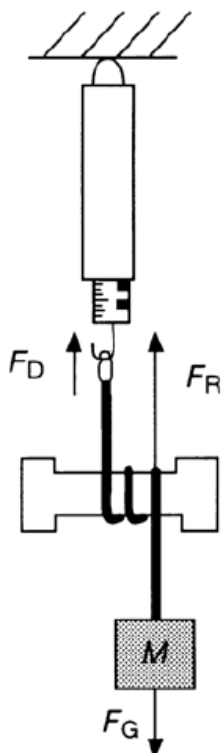
**Wyposażenie:**

Aplikacja „Mechaniczny równoważnik ciepła”	04440.00 1
Cylinder tarcia CuZn, $m = 1,28 \text{ kg}$	04441.02 1
Cylinder tarcia Al, $m = 0,39 \text{ kg}$	04441.03 1
Pręt statywu - PASS-, $l = 250 \text{ mm}$	02025.55 1
Łącznik krzyżowy - PASS-	02040.55 1
Siłomierz sprężynowy 10 N	03060.03 1
Siłomierz sprężynowy 100 N	03060.04 1
Stoper, cyfrowy, 1/100 sek.	03071.01 1
Uchwyt stołowy (typu G), -PASS-	02010.00 4
Zacisk uniwersalny z łącznikiem	37716.00 1
Odważnik, 1000 g	44096.70 1
Odważnik, 5000 g	44096.81 1

Rys. 1 Przygotowanie eksperymentu: Mechaniczny równoważnik ciepła.



Rys. 2: Równowaga sił podczas obracania cylindra tarcia

**Zadania:**

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

**Przygotowanie i sposób postępowania**

Przygotuj doświadczenie jak pokazano na Rys. 1. Na początku przymocuj cylinder tarcia i rękojeść korby do obrotowej podpory, a płytę podstawy przyciśnij mocno do stołu za pomocą śrub mocujących. Niedopilnowanie tego może spowodować chwieanie się płyty podstawy podczas rozruchu, co z kolei może doprowadzić do stłuczenia termometru znajdującego się w otworze. Taśma tarcia umocowana na siłomierzu oplata cylinder 2,5 raza (w ten sposób, że gdy korba jest przekręcana zgodnie z kierunkiem ruchów wskazówek zegara, siłomierz jest luzowany). U dołu taśmy tarcia przyczep 5 kilogramowy odważnik. W celu pomiaru temperatury, umocowany za pomocą zacisku uniwersalnego termometr należy ostrożnie wprowadzić do otworu. Termometr i otwór cylindra należy precyzyjnie wyrównać, aby termometr nie pękł podczas obrotów cylindra. Aby polepszyć kontakt termiczny, otwór cylindra wypełniono pastą przewodzącą ciepło.

Na początku pomiaru zapisuj temperaturę co 30 sekund przez 4 minuty. Następnie obróć rękojeścią korby określoną ilość razy (np. 200) jak najszybciej i jak najbardziej regularnie jak to możliwe. Jednocześnie za pomocą siłomierza wyznacz siłę  $F_D$  działającą na taśmę. Następnie w odstępach 30 sekundowych zapisuj stały spadek temperatury.

W podobny sposób przeprowadź drugą część eksperymentu, w której zmierzysz pojemność cieplną cylindra aluminiowego i mosiężnego, o dwa razy większej masie. Zanim rozpoczniesz doświadczenie wytrzymaj cylinder

i taśmę suchą szmatką, aby pozbyć się metalowych opiłków. Kiedy używasz aluminiowego cylindra, tarcie nie powinno przekroczyć 10 N (dlatego użyj ciężarka 1 kilogramowego i precyzyjniejszego siłomierza 10 N), aby uniknąć zbyt dużego otarcia i pobudzenia taśmy. Z ilości obrotów korby  $n$ , średniej siły siłomierza  $F_D$  i wzrostu temperatury  $\Delta T$  wyznacz ciepło właściwe walca.

**Teoria**

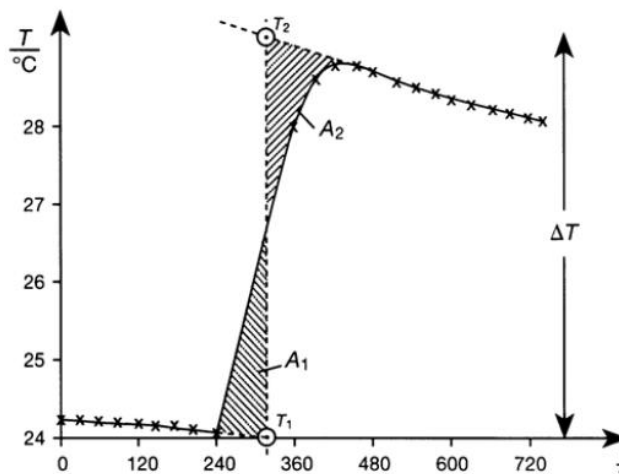
Przez długi czas zastanawiano się czy ciepło układu, wyznaczone za pomocą jego temperatury, było formą energii, czy niezależną zachowaną wielkością. W pierwszej połowie XIX wieku udowodniono, że w wyniku tarcia energia mechaniczna jest w całości zmieniana w ciepło, niezależnie od przebiegu procesu przemiany oraz cech fizycznych i chemicznych zastosowanego materiału. Ciepło zostało odpowiednio zdefiniowane jako energia nieuporządkowanych, makroskopowo niewidzialnych ruchów cząsteczek.

Stosunek między zrealizowaną pracą mechaniczną  $\Delta W$ , a wartością generowanego przy pomocy tarcia ciepła  $\Delta Q$  zwany jest mechanicznym równoważnikiem ciepła. Podczas tego doświadczenia, praca mechaniczna wykonywana jest poprzez obracanie cylindra, względem przesuwałcej się siły tarcia  $F_R$  syntetycznej taśmy. Ponieważ ciężarek  $M$  (Rys. 2) nie przyspiesza gdy obracasz korba, masa  $F_G = M_g = 49\text{N}$  ( $M$  masa ciężarka,  $g$  przyspieszenie ziemskie) z jednej strony i przesuwałca się siła tarcia  $F_R$  działająca wraz z siłą  $F_D$  na zawieszenie siłomierza z drugiej, znoszą się wzajemnie:

$$F_R = F_G - F_D \quad (1)$$

Pracę tarcia  $W$  wyznaczamy zatem ze ścieżki tarcia  $2\pi r n$  ( $r$  = promień cylindra,  $n$  = liczba obrotów), wynosi ona:

$$W = 2\pi r n F_R = 2\pi r n (F_G - F_D) \quad (2)$$



Rys. 3: Wykres temperatura/czas przykładowego pomiaru.

Podczas gdy syntetyczna taśma przesuwa się na cylindrze, duża część pracy mechanicznej przekształcana jest w ciepło  $Q$ , poprzez niesprężyste deformacje trącego materiału. Konsekwentnie, temperatura  $T$  cylindra tarcia zwiększa się o różnicę temperatury  $\Delta T$ :

$$Q = C_{tot} \times \Delta T \quad (3)$$

$C_{tot}$  jest całkowitą pojemnością cieplną podgrzewanych części. Jest to suma pojemności cieplnej  $C_{cyl}$  cylindra tarcia (o masie  $m$  i ciepła właściwego  $c$  (CuZn:  $c = 0,385 \text{ J/gK}$ ):

$$C_{cyl} = c \times m \quad (4)$$

pojemności cieplnej taśmy ( $C_{band} = 4 \text{ J/K}$ ) i termometru ( $C_{th} = 4 \text{ J/K}$ ). Jeśli masa cylindra wynosi  $m = 640 \text{ g}$ , całkowita pojemność cieplna wynosi:

$$C_{tot} = C_{cyl} + C_{band} + C_{th} = 254 \text{ J/K} \quad (5)$$

Pojemności cieplne odizolowanej podstawy i pasty przewodzącej ciepło zostały pominięte.

Na Rys. 3 widoczny jest wykres zależności temperatury od czasu dla przykładowego pomiaru. Kształt wykresu jasno wykazuje, że podczas obrotów korby energia wewnętrzna jest stale oddawana do otoczenia. Stąd różnica temperatury  $\Delta T$  wyznaczana jest w sposób w jaki zwykle wyznacza się ciepło właściwe: chwilowa kompensacja temperatury jest ekstrapolowana poprzez przedłużenie obu gałęzi wykresu. Jeśli narysujesz linię równoległą do osi temperatury w taki sposób, że uformują się dwa równe obszary  $A_1$  i  $A_2$ , różnica współrzędnych punktów na skrzyżowaniu oby prostych jest szukaną różnicą temperatury  $\Delta T$ .

W przypadku przykładowego pomiaru podczas którego zmierzona siłomierzem wartość wynosi  $F_D = 3 \text{ N}$ , praca po 200 obrotach cylindra tarcia wynosi:

$$W = 1301 \text{ J};$$

zgodnie z równaniem (3), wynikły z tego wzrost temperatury cylindra produkuje następującą ilość ciepła

$$Q = 1296 \text{ J}.$$

Jeśli obliczasz mechaniczny równoważnik ciepła, iloraz (1,003) można zastąpić liczbą 1 (w granicach błędu pomiarowego). Ponieważ ciepło jest formą energii, zgodnie z prawem zachowania energii, całkowita ilość energii mechanicznej musi zostać przekształcona w jednakową wartość energii wewnętrznej. Dlatego też, mechaniczny równoważnik ciepła musi wynosić:

$$W/Q = 1 \quad (6)$$

Podobne doświadczenia, podczas których energia elektryczna przekształcana jest w energię wewnętrzną, wykazują, że elektryczny równoważnik ciepła  $W_{el}/Q$  również wynosi 1. Wyniki te podsumowuje w pierwszej zasadzie termodynamiki.

Zmiana energii wewnętrznej układu  $\Delta U$  jest równa sumie ciepła  $Q$  i pracy  $W$  dostarczanych z zewnątrz, niezależnie od sposobu dostarczenia:

$$\Delta U = Q + W \quad (7)$$

Jeśli, odwrotnie, przyjmiemy równanie 6 ( $W = Q$ ), za pomocą tego wyposażenia można wyznaczyć ciepło właściwe. Jeśli przekształcisz równania 3 i 5 zgodnie z pojemnością cieplną cylindra, otrzymasz następujący wynik:

$$C = \frac{W}{\Delta T} - 8 \frac{\text{J}}{\text{gK}} \quad (8)$$

Ciepło właściwe, definiowane jako stosunek pomiędzy pojemnością cieplną ciała  $C$  i jego masą  $m$ :

$$c = C/m \quad (9)$$

jest stałą materiału, która w otoczeniu o temperaturze pokojowej i normalnym ciśnieniu atmosferycznym, zależy bardzo niewiele od temperatury bezwzględnej. Na podstawie równania 9 można zauważyć, że pojemność cieplna jednorodnego materiału jest wprost proporcjonalna do jego masy.

Przykładowy pomiar z pozostałym na siłomierzu obciążeniem  $F = 4 \text{ N}$ , 200 obrotami korby i wzrostem temperatury  $\Delta T = 2,5 \text{ K}$  daje pojemność cieplną równą

$$C = 501 \text{ J/K}$$

w przypadku cylindra miedzianego o masie 1280g (to w rzeczywistości około dwa razy tyle co pojemność cieplna cylindra o masie o połowę mniejszej ( $247 \text{ J/gK}$ )). Ciepło właściwe obliczone za pomocą równania 9 wynosi:

$$c_{\text{miedz}} = 0,392 \text{ J/gK}$$

Pomiary cylindra aluminiowego dały następujący wynik:

$$c_{\text{al}} = 0,870 \text{ J/gK}$$

co jest dobrym rezultatem w porównaniu do teoretycznej wartości ciepła właściwego aluminium w temperaturze pokojowej  $c_{\text{al}} = 0902 \text{ J/gK}$ .

