

Ciepło właściwe

Niech czynnik termodynamiczny ma stan określony przez temperaturę T oraz ciśnienie p . Dla dowolnej elementarnej przemiany zaczynającej się od tego stanu możemy napisać

$$dq = cdT \quad [J/kg] \quad (1)$$

Równanie (1) wiąże pochłanianie lub oddawanie ciepła podczas przemiany termodynamicznej ze zmianą temperatury, niezależnie od tego, czy nastąpiła wymiana ciepła pomiędzy czynnikiem a otoczeniem i czy temperatura czynnika zmieniła się. W szczególności pochłonięciu przez czynnik ciepła może nie towarzyszyć zmiana temperatury, ma to miejsce podczas przemiany izotermicznej. Także zmiana temperatury czynnika nie musi być związana z dostarczaniem ciepła, takie zjawisko zachodzi podczas przemiany adiatermicznej.

W równaniu (1) c jest pewnym współczynnikiem proporcjonalności, który można zdefiniować odpowiednio przekształcając (1)

$$c = \frac{dq}{dT} \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \quad (2)$$

c nazywamy rzeczywistym ciepłem właściwym lub rzeczywistą właściwą pojemnością cieplną. W ogólności ciepło właściwe zależy od rodzaju czynnika termodynamicznego, od rodzaju przemiany i od stanu czynnika.

Rzeczywiste ciepło właściwe jest to ilość ciepła przypadająca na jednostkę ilości substancji i na jednostkę zmiany temperatury podczas elementarnej przemiany termodynamicznej. W przybliżeniu, dla substancji o temperaturze T , jest to ilość ciepła potrzebna do zmiany temperatury jednostki ilości tej substancji od temperatury $T - 0,5K$ do temperatury $T + 0,5K$.

Dla danego czynnika termodynamicznego i dla określonej przemiany ciepło właściwe w ogólności zależy od dwóch niezależnych parametrów stanu

$$c = c(T, p) \quad (3)$$

Podczas typowych występujących w technice przemian termodynamicznych, zmiany ciśnienia są na tyle niewielkie, że można przyjąć, że ciepło właściwe nie zależy od ciśnienia. W wielu przypadkach, przy umiarkowanych zmianach temperatury, można także przyjąć, że ciepło właściwe nie zależy od temperatury.

Ciepło właściwe substancji rzeczywistych wyznacza się na drodze pomiarowej. Wyniki pomiarów służą do określenia funkcji aproksymujących, najczęściej w postaci

$$c = a_0 \quad (4a)$$

$$c = a_0 + a_1T \quad (4b)$$

$$c = a_0 + a_1T + a_2T^2 \quad (4c)$$

W dalszym ciągu wykładu założymy, że ciepło właściwe jest co najwyżej funkcją temperatury. Ponieważ ciepło elementarne przemiany jest równe $dq = cdT$, całkowite ciepło pochłonięte lub oddane w przemianie 1-2 przez jednostkę substancji możemy w przybliżeniu obliczyć z

$$q_{1-2} \cong \sum_{i=1}^n c_i \Delta T_i \quad (5)$$

Dla $n \rightarrow \infty$ przybliżony wzór (5) przechodzi w ścisłą zależność całkową

$$q_{1-2} = \int_{T_1}^{T_2} c(T) dT \quad (6)$$

Pomiędzy temperaturą T w K a temperaturą t w $^{\circ}C$ zachodzi zależność

$$T = t + 273,15 \quad (7)$$

Podstawienie (7) do (4b) daje w wyniku

$$c(t) = a_0 + a_1(t + 273,15) = a_0 + 273,15a_1 + a_1t = \bar{a}_0 + a_1t \quad (8a)$$

gdzie

$$\bar{a}_0 = a_0 + 273,15a_1 \quad (8b)$$

Jeżeli dana jest funkcja $c(t)$ zamiast $c(T)$, to q_{1-2} można obliczać z następującego równania analogicznego do równanie (6)

$$q_{1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c(t) dt \quad (9)$$

gdym z (7) wynika równość różniczek

$$dT = dt \quad (10)$$

a podstawienie (10) do (1) daje

$$dq = c dt \quad (11)$$

q_{1-2} jest jednostkowym ciepłem pochłoniętym (oddanym) przez czynnik. Ciepło to jest sumą dwóch składników

$$q_{1-2} = q_{d1-2} + q_{f1-2} \quad (12)$$

gdzie:

q_{d1-2} - jednostkowe ciepło dostarczone z zewnętrznego źródła,

q_{f1-2} - jednostkowe ciepło tarcia

Średnie ciepło właściwe

Ciepło pochłonięte przez czynnik można także obliczać posługując się średnim ciepłem właściwym

$$q_{1-2} = c|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c(T) dT \quad (13)$$

Z równania (13) otrzymujemy definicję średniego ciepła właściwego

$$c|_{T_1}^{T_2} = \frac{q_{1-2}}{T_2 - T_1} \quad (14)$$

Mając daną funkcję $c(T)$ średnie ciepło właściwe obliczamy ze wzoru

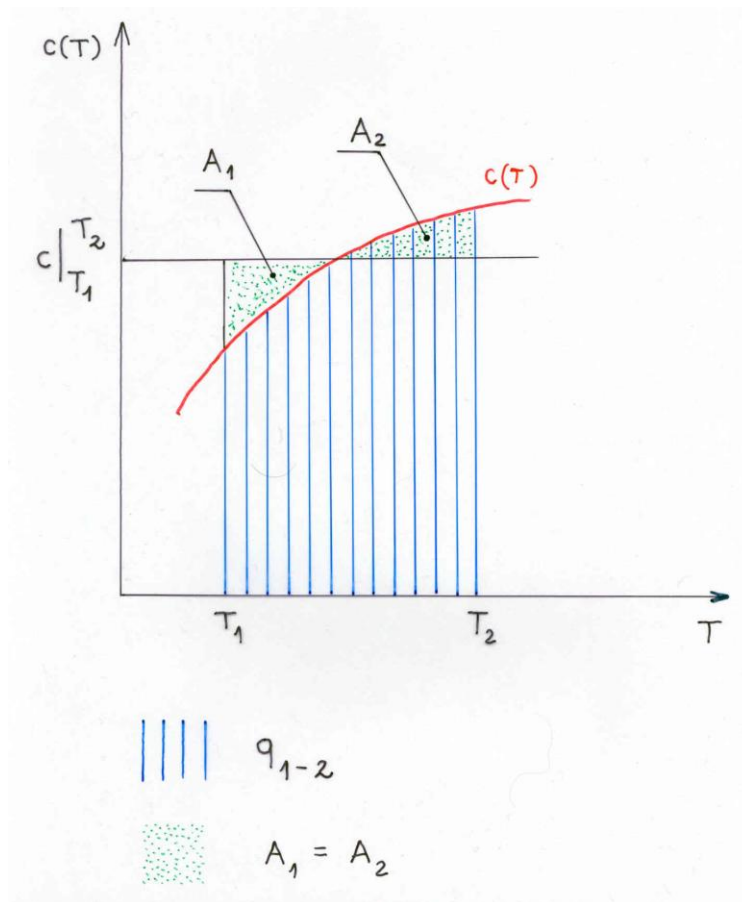
$$c|_{T_1}^{T_2} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} c(T) dT}{T_2 - T_1} \quad (15)$$

Ciepło pochłonięte podczas ogrzewania od temperatury T_1 do temperatury T_2 jest równe różnicy ciepła pochłoniętego przy ogrzewaniu od temperatury równej zero do temperatury T_2 oraz ciepła pochłoniętego podczas ogrzewania od temperatury równej zero do temperatury T_1

$$q_{1-2} = c|_0^{T_2} (T_2 - 0) - c|_0^{T_1} (T_1 - 0) = c|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1) \quad (16)$$

Po przekształceniach otrzymujemy z (16)

$$c|_{T_1}^{T_2} = \frac{c|_0^{T_2} T_2 - c|_0^{T_1} T_1}{T_2 - T_1} \quad (17)$$



Rys. 1. Zależność rzeczywistego ciepła właściwego od temperatury.

Ciepło właściwe liniowo zależne od temperatury

$$c(t) = a + bt \quad (18)$$

$$c|_{t_1}^{t_2} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c(t) dt}{t_2 - t_1} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (a + bt) dt}{t_2 - t_1} = \frac{a(t_2 - t_1) + b \frac{t_2^2 - t_1^2}{2}}{t_2 - t_1} = \quad (19)$$

$$= a + b \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{a + bt_1 + a + bt_2}{2}$$

$$c|_{t_1}^{t_2} = c\left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right) = c(t_{sr}) = \frac{c(t_1) + c(t_2)}{2} \quad (20)$$

Ciepło pochłonięte przez całkowitą ilość substancji

Ciepło pochłonięte przez m kg substancji oblicza się następująco

$$Q_{1-2} = m \cdot q_{1-2} = mc|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1) \quad (21)$$

Dla ilości substancji wyrażonej w kmol i um^3 wzór (18) przechodzi odpowiednio w

$$Q_{1-2} = nq_{1-2} = n(Mc)|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1) \quad (22)$$

$$Q_{1-2} = V_u q_{1-2} = V_u C_u|_{T_1}^{T_2} (T_2 - T_1) \quad (23)$$

Porównanie prawych stron równań (21)-(23) prowadzi do związków

$$(Mc)|_{T_1}^{T_2} = M \cdot c|_{T_1}^{T_2} \left[\frac{J}{kmol \cdot K} \right] \quad (24)$$

$$C_u|_{T_1}^{T_2} = \frac{(Mc)|_{T_1}^{T_2}}{(Mv_u)} \left[\frac{J}{um^3 \cdot K} \right] \quad (25)$$

Równania (23) i (25) dotyczą tylko gazów doskonałych i półdoskonałych.