LABORATORIUM TERMODYNAMIKI
INSTYTUTU TECHNIKI CIEPLNEJ I MECHANIKI PŁYNÓW
WYDZIAŁ MECHANICZNO-ENERGETYCZNY
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

INSTRUKCJA LABORATORYJNA

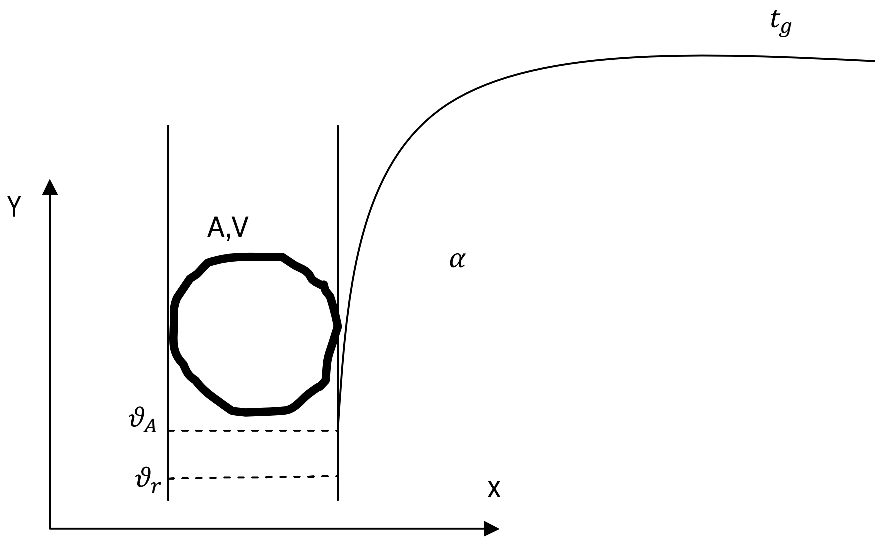
Temat ćwiczenia 18

Wyznaczenie współczynników przejmowania ciepła dla konwekcji wymuszonej

WROCŁAW 2010r

1. Wprowadzenie

Ćwiczenie to związane jest z nagrzewaniem jednowymiarowym ciał dla których Bi$\leq$ 0,1 . Na początku wprowadzimy niezbędne oznaczenia rys.1.



Rys.1

Na rysunku temperatura powierzchni ciała różni się od temperatury w jego wnętrzu(w tym przypadku jest powierzchnia jest cieplejsza niż wnętrze) Wyprowadzenie wzorów poniżej odbędzie się przy założeniu , ze wyrównywanie temperatury jest takie , iż obie te wartości są sobie równe

$$\boldsymbol{\vartheta_A = \vartheta_r = \vartheta_x}.$$

Oznaczenia:

A- pole powierzchni ciała

V- objętość ciała

t_g-temperatura gorącego powietrza , omywającego ciało

t_o- temperatura otoczenia

α-współczynnik przejmowania ciepła

$\vartheta_r = f(t)$-średnia objętościowa temperatura ciała zmienna w czasie (średnia temperatura w objętości ciała)

$\vartheta_A = f(t)$-średnia powierzchniowa temperatura ciała zmienna w czasie

ϑ_0- temperatura początkowa ciała

$\vartheta_r = f(\tau); \vartheta_A = f(\tau)$- zapis ten oznacza , ze obie temperatury zmieniają się w czasie (nie są ustalone)

$\dot{Q}_\alpha = A\alpha(t_p - \vartheta_A)$ -ciepło (ściślej jego strumień)wnikające do ciała przez jego powierzchnię A, na drodze konwekcji .

$\dot{Q} = \rho V c \frac{d\vartheta}{d\tau}$ -strumień ciepła akumulacji w ciele , które rośnie lub maleje w zależności od tego czy ciało jest chłodzone czy ogrzewane; ρ, V, c są to odpowiednio gęstość ciała, jego objętość i ciepło właściwe

Dla materiałów o dużym współczynniku przewodzenia ciepła przyjmuje się temperatura na jego powierzchni jest taka sama jak wewnątrz niego. Jest to powodowane błyskawicznym wyrównywaniem się temperatury. Pytanie : co oznacza dla wyrównywania się temperatur współczynnik przewodzenia równy nieskończoność $\lambda = \infty$.Co w przypadku izolatorów?

Przyjmiemy teraz , że $\boldsymbol{\vartheta_A = \vartheta_r = \vartheta_x}$**.** Oznacza to , że temperatura mierzona na powierzchni ciała jest w danej chwiali taka sama jak w całej jego objętości.

1.1 Nagrzewanie i chodzenie jednowymiarowe

Nagrzewanie oznacza , że ciało zostaje umieszczone w otoczeniu o temperaturze wyższej niż jej własna $t_g > \vartheta_x$.My założymy dodatkowo , że temperatura ciała a chwili początkowej jest taka jak temperatura otoczenia t_o . Strumień ciepła pobierany przez powierzchnię ciała jest równy strumieniowi ciepła akumulowanemu przez to ciało. Strumień ten pochłaniany przez ciało ma zgodnie z umową wartość dodatnią , gdyż temperatura ciała stale wzrasta do chwili osiągnięcia pewnej wartości ustalonej

$$\dot{Q}_\alpha = A\alpha(t_g - \vartheta_x) = \dot{Q} = \rho V c \frac{d\vartheta_x}{d\tau} \tag{1}$$

Otrzymaliśmy równanie różniczkowe , które po rozdzieleniu zmiennych można zapisać jako:

$$\frac{A\alpha}{\rho V c} d\tau = \frac{d\vartheta_x}{t_g - \vartheta_x} \tag{2}$$

Po obustronnym scałkowania mamy:

$$-ln|t_g - \vartheta_x| = \frac{A\alpha}{\rho V c} d\tau + \ln C \tag{3}$$

Gdzie C jest pewną stałą.

Jeśli wykorzystamy omówiony wcześniej warunek początkowy, że w chwili „zerowej: $\tau = 0 \quad \vartheta_x = \vartheta_0 = t_o$, to możemy obliczyć stałą C. Po wykonaniu niezbędnych przekształceń, otrzymamy wzór użytkowy : $ln \frac{t_g - \vartheta_0}{t_g - \vartheta_x} = \frac{A\alpha}{\rho V c} \tau$ (4)

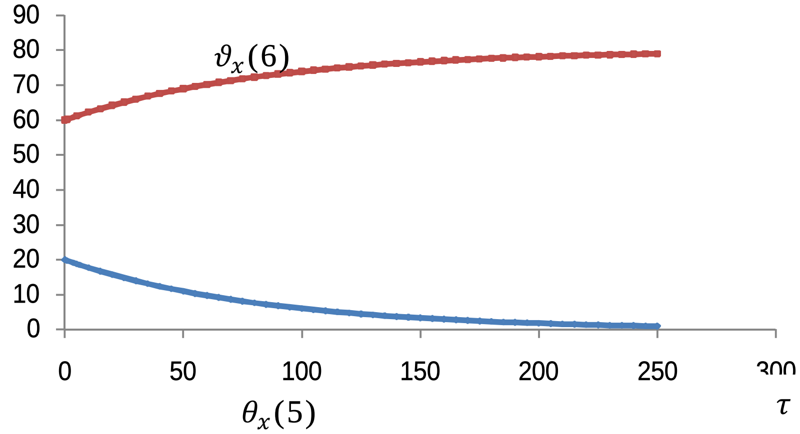
Lub ze względu na fakt , ze $t_g - \vartheta_x < t_g - \vartheta_0$ przekształcimy (4) do postaci podawanej często w literaturze,

$$ln \frac{\theta_x}{\theta_p} = - \frac{A\alpha}{\rho V c} \tau \qquad (5)$$

Gdzie: $\boldsymbol{\theta_p} = \boldsymbol{\vartheta_0 - t_g}$ jest nadwyżką temperatury ciała nad temperaturą powietrza gorącego na początku procesu i jest ona ujemna /; $\boldsymbol{\theta_x} = \boldsymbol{\vartheta_x - t_g}$ jest nadwyżką temperatury ciała w dowolnej chwili nad temperatura gorącego powietrza i również jest ona ujemna. Gdybyśmy narysowali przebieg temperatury lub nadwyżki w czasie , otrzymalibyśmy wykres wykładniczy(co wynika wprost z (4)) w postaci (5) rys.2 :

$$\theta_x = \theta_p e^{-\frac{A\alpha}{\rho V c} d\tau} < 0 \qquad (6)$$

Oraz $$\vartheta_x = t_g + \theta_x = t_g + \theta_p e^{-\frac{A\alpha}{\rho V c} d\tau} \qquad (7)$$



Rys. 2

Wykres przykładowej nadwyżki temperaturowej wg (5) i temperatury nagrzewanego ciała (6), przy założeniu stałości współczynnika wnikania ciepła α

W przypadku chłodzenia równanie bilansowe przyjmie postać (7) [dlaczego?]. Przypadek ten jest trochę inny . W otoczeniu o temperaturze t_0 umieszczamy ciało o temperaturze wyższej , czyli $\vartheta_x > t_0$.

$$-A\alpha(t_o - \vartheta_x) = -\rho V c \frac{d\vartheta_x}{d\tau} \qquad (8)$$

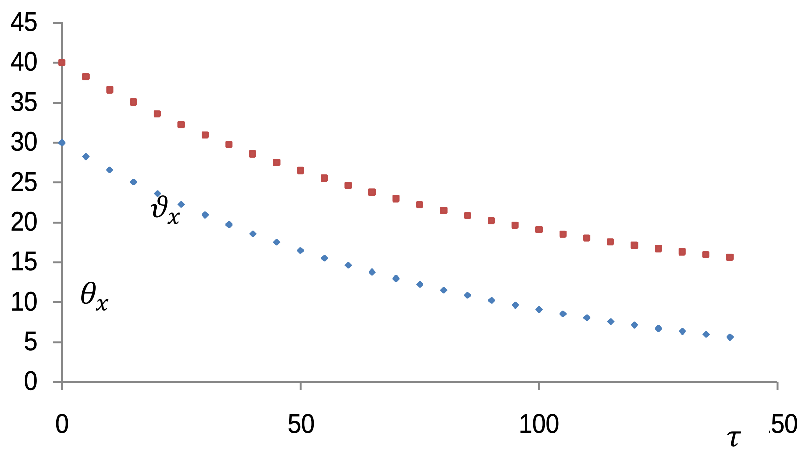
Po przekształceniach mamy: $$\frac{A\alpha}{\rho V c} d\tau = \frac{d\vartheta_x}{t_o - \vartheta_x} \qquad (9)$$

Wzór ten jest niemalże identyczny ze wzorem (2). Wprowadzamy warunki brzegowe: $\tau = 0 \quad \vartheta_x = \vartheta_{max}$

Po zróżniczkowaniu i wyliczeniu stałej C , otrzymamy wzór użytkowy(10):

$$ln\frac{\vartheta_x - t_0}{\vartheta_{max} - t_0} = -\frac{A\alpha}{\rho V c}\tau \tag{10}$$

Po wprowadzeniu pojęć nadwyżek temperatury $\boldsymbol{\theta_p = \vartheta_{max} - t_0, \theta_x = \vartheta_x - t_o}$ wzór ten przyjmie podobną do (5) postać : $ln\frac{\theta_x}{\theta_p} = -\frac{A\alpha}{\rho V c}\tau$ (11)



Rys.3

Wykres przykładowej nadwyżki temperaturowej i temperatury chłodzonego ciała przy założeniu stałości współczynnika wnikania ciepła α

Proszę zwrócić uwagę , że po przekształceniu (11), dostajemy identyczny w zapisie z (5) wzór :

$$\theta_x = \theta_p e^{-\frac{A\alpha}{\rho V c}d\tau} > 0 \tag{12}$$

Oraz

$$\vartheta_x = t_0 + \theta_p e^{-\frac{A\alpha}{\rho V c}d\tau} \tag{13}$$

Pytanie : dlaczego wykresy na rys. 2 i 3 różnią się?

Uwaga!

Wyprowadzone równania chłodzenia i grzania obowiązują dla liczby Biota Bi$\leq$ 0,1. Co to oznacza ?

Popatrzmy na wykładnik równań (6) i (12) i rozpiszmy go bez symbolu różniczki, wprowadzając nową zmienną $\delta = \frac{V}{A}$, mającą wymiar długości i dodatkowo rozszerzmy ułamek przez iloczyn $\lambda\,\delta$, gdzie λ jest współczynnikiem przewodzenia ciepła charakterystycznym dla danego materiału , z którego wykonane jest ciało.

$$-\frac{A\alpha}{\rho V c}\tau = -\frac{\alpha\lambda\delta}{\rho\frac{V}{A}c\lambda\delta}\tau = -\frac{\alpha\lambda\delta}{\rho c\lambda\delta^2}\tau = -\frac{\alpha\delta}{\lambda}\frac{\frac{\lambda}{\rho c}\tau}{\delta^2} = -Bi\,Fo$$

Przy czym Fo – liczba Fouriera , Bi – liczba Biota są bezwymiarowymi liczbami podobieństwa.

δ - charakterystyczny wymiar liniowy, może to być grubość płyty, promień lub średnica walca . Tu jest to iloraz objętości i pola powierzchni ciała stałego

λ-współczynnik przewodzenia ciepła

Bi = $\frac{\alpha\delta}{\lambda}$ liczba kryterialna świadcząca o podobieństwie zjawiska przejmowania ciepła, charakteryzującej stosunek oporu wnikania do oporu przewodzenia

α - współczynnik wymiany ciepła [fonetycznie : alfa]

Fo = $\frac{\frac{\lambda}{\rho c}\tau}{\delta^2} = \frac{a\tau}{\delta^2}$ liczba kryterialna , świadcząca o tym że pole temperatury w dwóch geometrycznie podobnych ciałach zmieniają się w czasie w sposób podobny, mówi o nieustalonym charakterze procesu

$a = \frac{\lambda}{\rho c}$ - współczynnik wyrównywania temperatury lub dyfuzji cieplnej [fonetycznie : a]

Uwaga!

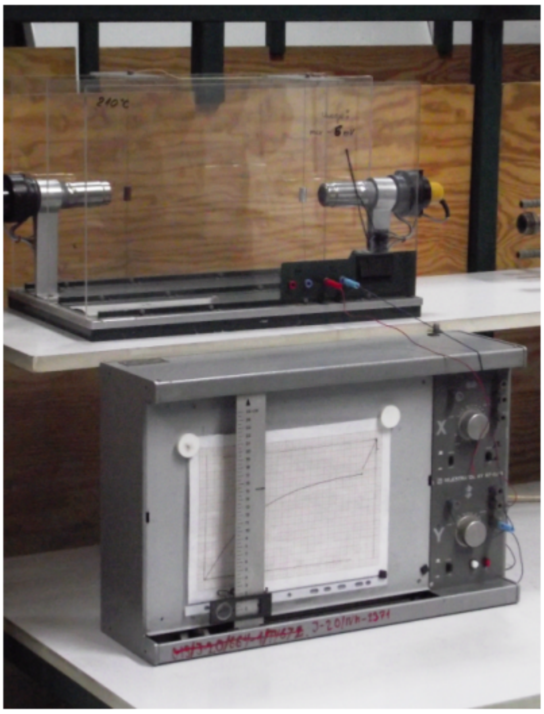
$\alpha\ [alfa] \neq a$[fonetycznie : a]

1.2 Wyznaczenie współczynnika wnikania ciepła α przy nagrzewaniu i chłodzeniu ciała

Przyjrzyjmy się wzorom (4), (5), (10), (11). W każdym przypadku można przedstawić te wzory w nowym układzie współrzędnych : Y= ± a X (funkcja liniowa) , gdzie przykładowo dla (10) : Y = $ln\frac{\vartheta_x - t_0}{\vartheta_{max} - t_0}$, X = τ, a = $\frac{A\alpha}{\rho V c}$ (współczynnik kierunkowy prostej). Mając wykres zależności temperatury od czasu dla grzania(chłodzenia), można skonstruować funkcję Y, wyznaczając prawą stronę równania dla kolejnych chwil czasowych. Jeżeli byłoby tak , że $\boldsymbol{\alpha = const}$**,** wszystkie punkty pomiarowe po ich przeliczeniu znalazłyby się na jednej prostej. Okazuje się jednak , że tak nie jest. Współczynnik ten zmienia się wraz ze zmianami temperatury. Można co najwyżej zatem przyjąć, że współczynnik ten będzie stały w pewnych przedziałach czasowych.

2. Sposób przeprowadzenia ćwiczenia

Stanowisko pomiarowe składa się z dwóch walców, które są omywane gorącym lub powietrzem o temperaturze otoczenia. Wewnątrz każdego z walców znajduje się termopara , która rejestruje zmiany temperatury. Termopara spięta jest z rejestratorem Y-X , który odpowiednio wykreśla wykres temperatury w czasie. Walce wykonane są z miedzi ($c_{p\,cu}$=419 J/(kgK) $\rho_{cu} = 8300\, kg/m^3$) i aluminium ($c_{p\,Al}$=913 J/(kgK) $\rho_{Al} = 2700\, kg/m^3$). Walce mają wymiary $\varphi 10x20$.



Rys.4

Stanowisko pomiarowe

Przed przystąpieniem do pomiarów ustawiamy nastawy na rejestratorze X-Y, na X ustawiamy 10 s/cm, na Y 0,5 mV/cm. Zerujemy przyrząd do lewej najniższej strony rejestratora . Wstawiamy kartkę papieru milimetrowego i ustawiamy pisak w punkcie początkowym za pomocą pokręteł X i Y. Do rejestratora podłączony jest wałek aluminiowy lub miedziany, włączamy grzałkę z wentylatorem i uruchamiamy rejestrator wciskając dwa przyciski „start” i „zapis”. Moc grzałki wynosi 1000 W, proces nagrzewania wałka prowadzimy do temperatury 6 mV co odpowiada na papierze milimetrowym 12 cm. Po tym okresie wyłączamy samą grzałkę i przycisk „zapis" pisak wycofa się początku skali osi X z zachowaniem temperatury nagrzania walca. Włączamy przycisk „ zapis" i rejestrator rejestruje nam proces chłodzenia walca. Koniec pomiaru następuje po przesunięciu się pisaka do końca skali rejestratora. Wyciągamy nasz papier z rejestratora, zaznaczamy na nim współrzędne x i y oraz wpisujemy temperaturę otoczenia od której rozpoczęty został proces grzania. Termopary wykonane są z drutu Cu-Konstantan , który jest stopem miedzi 55% i niklu 45% icharakteryzuje się stałą rezystywnością (znikomą zależnością oporu od temperatury). Zimne końce są zawsze w temperaturze otoczenia. Wykres temperatury w funkcji siły elektromotorycznej należy wykreślić, samemu wiedząc ze 0 ^{0}C to 0 mV a 100 ^{0}C to 4,25 mV. Przyjmujemy , że zależność ta jest proporcjonalna . Wykres traktujemy jako linię prostą do określenia poszczególnych temperatur dodając do otrzymanej temperatury temperaturę otoczenia.

3. Opracowanie wyników

1. Posługując się charakterystyką chłodzenia i grzania wykreśloną na stanowisku dydaktycznym, wykreślić odpowiednio funkcję Y = $ln\frac{\vartheta_x - t_0}{\vartheta_{max} - t_0}$; Y= $ln\frac{t_g - \vartheta_0}{t_g - \vartheta_x}$
2. Sprawdzić w jakich przedziałach można przyjąć $\boldsymbol{\alpha = const}$
3. Obliczyć $\boldsymbol{\alpha}$ dla wybranych przedziałów, korzystając z faktu że Y= ± a X i X = τ ,przy czym współczynnik kierunkowy prostej a = $\frac{A\alpha}{\rho V c}$. Znając pole powierzchni, objętość , gęstość , ciepło właściwe materiału z którego wykonane są walce, można przedziałami określić współczynnik wnikania.

4. Pytania

1. Co to jest współczynnik wnikania ciepła
2. Co to jest przenikanie ciepła, wnikanie i przewodzenia
3. Jakie wartości przyjmuje współczynnik wnikania ciepła
4. Czym różni się współczynnik wnikania od współczynnika przewodzenia ciepła
5. Jakie są sposoby wymiany ciepła