

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA
Wydział Mechaniczny
Katedra Pojazdów Mechanicznych i Transportu

LABORATORIUM TERMODYNAMIKI TECHNICZNEJ

Instrukcja do ćwiczenia T-06

Temat: Wyznaczanie zmiany entropii ciała stałego

Opracował:
Dr inż. Józef Pszczółkowski

WAT. Warszawa 2007 r.

Celem ćwiczenia jest praktyczne zapoznanie studentów z procedurami pomiarów i obliczeń cieplnych na przykładzie wyznaczania zmiany entropii zjawiska podczas stygnięcia brył metalowych w powietrzu atmosferycznym oraz pomiar i obserwacja efektów opływu brył w warunkach konwekcji swobodnej.

Wprowadzenie

Wymiana ciepła przez konwekcję jest związana z ruchem płynu jako ośrodka przenoszącego ciepło. Przejmowanie ciepła to zjawisko wymiany ciepła między powierzchnią ciała stałego, a opływającym ją płynem. Gęstość wymienianego w ten sposób strumienia ciepła określa wzór Newtona:

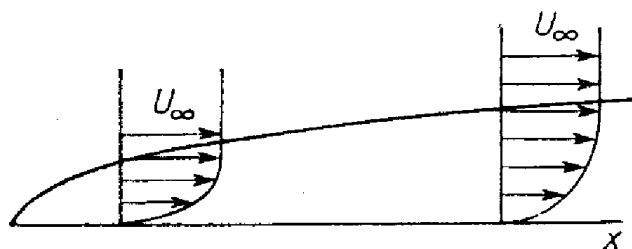
$$q = \alpha(T_s - T_p) \quad (1)$$

gdzie:

- α – współczynnik przejmowania ciepła;
- T_s – temperatura ścianki;
- T_p – temperatura płynu.

Wartość współczynnika α zależy od gęstości, ciepła właściwego, lepkości i współczynnika przewodzenia ciepła w płynie, a także od charakteru przepływu płynu. Przy opływie ciała stałego przez płyn, w pobliżu jego ścianki, ujawnia się wpływ lepkości na jego przepływ, co przejawia się zmianami prędkości przepływu w otoczeniu ścianki stałej. Zakłada się, że na powierzchni ścianki nie występuje poślizg, tzn., że prędkość warstwy płynu stykającej się bezpośrednio ze ścianką jest równa zero. W miarę oddalania się od ścianki prędkość rośnie aż do pewnej wartości charakteryzującej przepływ całej masy płynu. Warstwa płynu znajdująca się w bezpośredniej bliskości ścianki, w której występują dość znaczne zmiany prędkości, nosi nazwę *warstwy przyściennej*.

Na rys. 1 przedstawiono obraz tworzenia się warstwy przyściennej na płycie płaskiej, wzdłuż której przepływa strumień płynu [1]. Prędkość płynu zmienia się od wartości równej zero do wartości U_∞ w strumieniu swobodnym, w dużej odległości od powierzchni. Na rysunku pokazano profile prędkości płynu w różnych przekrojach strumienia nad płytą, które wskazują, że grubość warstwy przyściennej rośnie wzdłuż płyty.



Rys. 1. Tworzenie warstwy przyściennej przy opływie płyty płaskiej

W warstwie przyściennej zjawiska lepkości odgrywają istotną rolę i stanowi ona obszar, w którym występują siły tarcia powodujące opory przepływu oraz rozpraszanie energii. Przepływ płynu w warstwie przyściennej może być laminarny lub burzliwy. Przy opływie powierzchni ciał stałych w początkowej części oraz bezpośrednim jej sąsiedztwie występuje zawsze ruch laminarny. Grubość laminarnej warstwy przyściennej wzrasta proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z odległości od jej początku.

Jeżeli opływający powierzchnię płyn wymienia z nią ciepło, to przejmowaniu ciepła towarzyszy powstanie termicznej warstwy przyściennej, analogicznej jak hydrodynamicznej. Przy tym grubość warstwy termicznej może być równa, większa, lub mniejsza od hydrodynamicznej (zależnie od relacji właściwości przewodzenia ciepła i lepkości płynu).

Współczynnik przejmowania ciepła maleje wraz ze wzrostem grubości warstwy przyściennej – jego wartość zatem zmniejsza się w kierunku przepływu płynu.

Podobne zjawiska można obserwować przy wymianie i przejmowaniu ciepła przez płyn wskutek konwekcji swobodnej. Przemieszczanie mas płynu podczas wymiany ciepła przy konwekcji swobodnej wynika z występowania sił masowych działających na jego elementarne objętości o różnych gęstościach. Przyczyną powstania różnic gęstości są lokalne różnice temperatury. W przypadku, gdy płyn znajduje się w grawitacyjnym polu ciężkości, siłą powodującą ruch jest siła wyporu. Wartość współczynnika przejmowania ciepła przy konwekcji swobodnej jest proporcjonalna do tzw. liczby podobieństwa Grashofa, która wskazuje też, od jakich cech fizycznych płynu i innych czynników jest ona zależna:

$$Gr = \frac{\beta g l^3 \rho^2}{\eta^2} \Delta T \quad (2)$$

gdzie:

- β – współczynnik rozszerzalności płynu;
- g – przyspieszenie ziemskie;
- l – charakterystyczny wymiar powierzchni wymieniającej ciepło;
- ρ – gęstość płynu;
- η – współczynnik lepkości dynamicznej płynu;
- ΔT – różnica temperatury płynu i powierzchni.

Procesom przemian cieplnych (wymiany ciepła) towarzyszy zmiana entropii układu – ΔS . Elementarna zmiana entropii jest równa:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (3)$$

gdzie:

- ΔQ – ilość wymienionego ciepła;
- T – temperatura przemiany.

Przebieg ćwiczenia:

1. zmierzyć parametry otoczenia (sali laboratoryjnej) przed rozpoczęciem ćwiczenia: temperatura, ciśnienie, wilgotność;
2. zmierzyć wymiary geometryczne brył metalowych w kształcie walca: stalowej, aluminiowej, mosiężnej (pomiaru dokonać pięciokrotnie);
3. umieścić bryły metalowe w piecu komorowym i nagrzać do temperatury około 150 °C;
4. wyjąć bryły metalowe przy użyciu szczypiec i umieścić na stanowisku pomiarowym;
5. dokonywać pomiaru temperatury brył w ustalonych punktach pomiarowych w odstępach czasu równych 5 min (czas wykonania każdego pomiaru: 15 s). Wyniki pomiarów zanotować w tabelach protokołu pomiarów.

Wytyczne dotyczące opracowania sprawozdania:

1. podać cel ćwiczenia;
2. podać podstawy teoretyczne problematyki entropii, konwekcji, przejmowania ciepła;
3. scharakteryzować obiekty pomiarowe: masy, kształty, sposób umieszczenia, schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych,
4. przedstawić profile temperatury brył wzdłuż średnicy walców (dla trzech walców) w wybranych chwilach czasu w trakcie wykonywania pomiarów;

5. wykreślić zależności temperatury w punktach pomiarowych od czasu dla poszczególnych brył metalowych;
6. wyznaczyć wartości średnie temperatury brył w poszczególnych chwilach jej pomiaru (uwzględniając wyniki pomiarów w określonym czasie na podstawie wykresu);
7. wyznaczyć zmianę pojemności cieplnej każdej bryły metalowej w kolejnych przedziałach czasu pomiaru temperatury;
8. wyznaczyć w każdym z przedziałów pomiarowych zmiany entropii bryły metalowej przyjmując jako temperaturę przemiany jej wartość średnią w przedziale czasu;
9. obliczyć wartość całkowitej zmiany entropii zjawiska stygnięcia bryły metalowej (sumę – zakładając proces stygnięcia do temperatury otoczenia) w warunkach konwekcji swobodnej oraz zmianę entropii otoczenia;
10. wyznaczyć wartość średnią współczynnika przejmowania ciepła od bryły metalowej dla każdego przedziału czasu;
11. przy pomocy arkusza kalkulacyjnego (np. Excel) wykreślić zależność temperatury każdej bryły metalowej od czasu i wyznaczyć dla niej wykładniczą funkcję regresji o podstawie naturalnej – (liczba e) oraz kwadrat współczynnika korelacji;

Uwaga: wykreślana funkcja powinna mieć postać $T = T_s - T_p$, gdzie: T_s jest temperaturą bryły, a T_p temperaturą powietrza w otoczeniu bryły metalowej.

12. na podstawie wyznaczonej funkcji regresji obliczyć wartość średnią współczynnika przejmowania ciepła przyjmując, że temperatura średnia bryły zmienia się zgodnie z zależnością:

$$T_s = T_p + (T_{s0} - T_p) \exp\left(\frac{\alpha \cdot S}{C} t\right)$$

gdzie: C – pojemność cieplna bryły metalowej, T_{s0} – temperatura początkowa bryły;

13. obliczyć różnice temperatury w punktach pomiaru w określonych chwilach czasu dla walca stalowego umieszczonego pionowo i poziomo;
14. wykreślić zależności różnicy temperatury w punktach pomiaru od czasu;
15. przedstawić postulowane przebiegi warstwy hydro- (aero-) dynamicznej i termicznej przy opływie badanych brył przez strumień powietrza;
16. dokonać analizy otrzymanych wyników i sformułować wnioski (do sprawozdania dołączyć protokół pomiarów lub jego kopię).

.....

data, podpis prowadzącego ćw.

parametr	temperatura	ciśnienie	wilgotność
Wartość			

Tabela 2. Parametry brył metalowych

Parametr\bryła	Stal	Aluminium	Mosiądz	Walec pionowy	Walec poziomy
średnica					
wysokość					
masa					

Tabela 3. Wyniki pomiarów temperatury brył metalowych

[illegible]

