

PRZENIKANIE CIEPŁA W CHŁODNICY POWIETRZNEJ

1. Wprowadzenie

Ruch ciepła między dwoma ośrodkami gazowymi lub ciekłymi przez przegrodę z ciała stałego nosi nazwę przenikania ciepła. W pojęciu tym mieści się przewodzenie ciepła przez przegrodę oraz wnikanie ciepła po obu jej stronach. Ilościowo proces ten ujmuje równanie Pecleta:

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T, \quad (1)$$

w którym:

\dot{Q} - strumień cieplny,

A - powierzchnia wymiany ciepła prostopadłą do kierunku strumienia cieplnego,

$\Delta T = T_A - T_B$; T_A - temperatura w rdzeniu medium A

T_B - temperatura w rdzeniu medium B,

k - współczynnik przenikania ciepła.

Dla jednowarstwowej przegrody płaskiej współczynnik przenikania ciepła wyraża się wzorem:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_A} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_B}, \quad (2)$$

w którym:

$1/k$ - całkowity opór cieplny jednowarstwowej przegrody płaskiej,

$1/\alpha_A$ - opór cieplny wnikania po stronie medium A,

s/λ - opór cieplny przewodzenia przegrody,

$1/\alpha_B$ - opór cieplny wnikania po stronie medium B.

Z równania (1) wynika, że dla $\Delta T = \text{const}$ intensywność strumienia cieplnego \dot{Q} zależy od współczynnika przenikania ciepła k i powierzchni wymiany ciepła A .

W przypadku wymienników ciepła celem zasadniczym jest uzyskanie maksymalnych wartości strumienia cieplnego \dot{Q} . Dla ustalonej różnicy temperatur $\Delta T = \text{const}$ zwiększenie strumienia cieplnego może być zrealizowane przez:

a) rozwijanie powierzchni wymiany ciepła,

b) stosowanie takich warunków ruchowych, przy których współczynniki wnikania ciepła α_A i α_B są duże.

Ad. a) w celu zwiększenia powierzchni wymiany ciepła stosuje się różnego rodzaju ożebrowania. Różnorodność wykonań powierzchni żebrowanych, tj. różna gęstość żeber, ich wielkość, kształt i grubość, utrudnia korelację wyników eksperymentalnych. Ożebrowanie powierzchni stosuje się w takich przypadkach, w których po jednej stronie ściany α jest bardzo małe w porównaniu z wielkością α po drugiej stronie.

Jeżeli na przykład czynnikiem grzejącym wewnątrz rury jest kondensująca się para wodna o wysokim współczynniku α lub gorąca ciecz płynąca z dużą burzliwością, a na zewnątrz ciepło odbiera powietrze w sposób nieproporcjonalnie gorszy, to zwiększenie zewnętrznej powierzchni rur przez ich ożebrowanie pozwoli w znacznej mierze poprawić wymianę ciepła przy tych samych wewnętrznych wymiarach rur wymiennika. Dlatego stosowanie rur ożebrowanych jest bardzo rozpowszechnione w technice centralnego ogrzewania, budowie suszarek itp.

Żebrowanie wykonuje się na ogół poprzecznie do rury, rzadziej wzdłuż. Celowość stosowania ożebrowania powierzchni rozstrzyga kryterium, którego postać jest następująca.

$$\frac{2\lambda}{\alpha s} > 5, \quad (3)$$

w którym:

- α - współczynnik wnikania ciepła od żebra do płynu
- λ - współczynnik przewodzenia ciepła dla żebra,
- s - grubość żebra

W normalnych przypadkach użycia powierzchni żebrowanych po stronie czynnika gazowego jest się bardzo daleko od tej granicy. Na przykład przy $\alpha = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ i użyciu żeber stalowych o $\lambda = 40 \text{ W/mK}$ i grubości $s = 0.001 \text{ m}$ $2\lambda/\alpha s = 5000$ co jest tysiącrotnie większe od wartości granicznej.

W przypadku użycia żeber lanych o grubości $s = 0.01 \text{ m}$ i zastosowaniu ich po stronie płynącej cieczy, np. przy $\alpha = 1700 \text{ W/m}^2\text{K}$ wartość wyrażenia (3) spadłaby do 4.72.

Tym razem celowość żebrowania staje się już wątpliwa i należałoby zaniechać tej koncepcji.

Ad. b) Liczbowe wartości konwekcyjnych współczynników wnikania ciepła zależą przede wszystkim od fizycznych własności medium opływającego przegrodę oraz od charakteru jego ruchu. Nie zależą one natomiast zupełnie od rodzaju materiału przegrody. Dlatego korzystne jest stosowanie takich warunków, które zapewniają dużą burzliwość przepływu płynów a więc i większą intensywność wnikania ciepła.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest:

- a) doświadczalne wyznaczenie zależności współczynnika przenikania ciepła od natężenia przepływu gorącego oleju $k = f(\dot{m}_A)$ lub $k = f(Re_A)$ dla $\dot{m}_B = \text{const}$.
- b) doświadczalne wyznaczenie zależności współczynnika przenikania ciepła od natężenia przepływu powietrza $k = f(\dot{m}_B)$ lub $k = f(Re_B)$ dla $\dot{m}_A = \text{const}$.
- c) sporządzenie bilansu cieplnego aparatury,
- d) obliczenie współczynników przenikania ciepła k na podstawie odpowiednich dla poszczególnych przypadków korelacji i porównanie ich z wartościami doświadczalnymi.

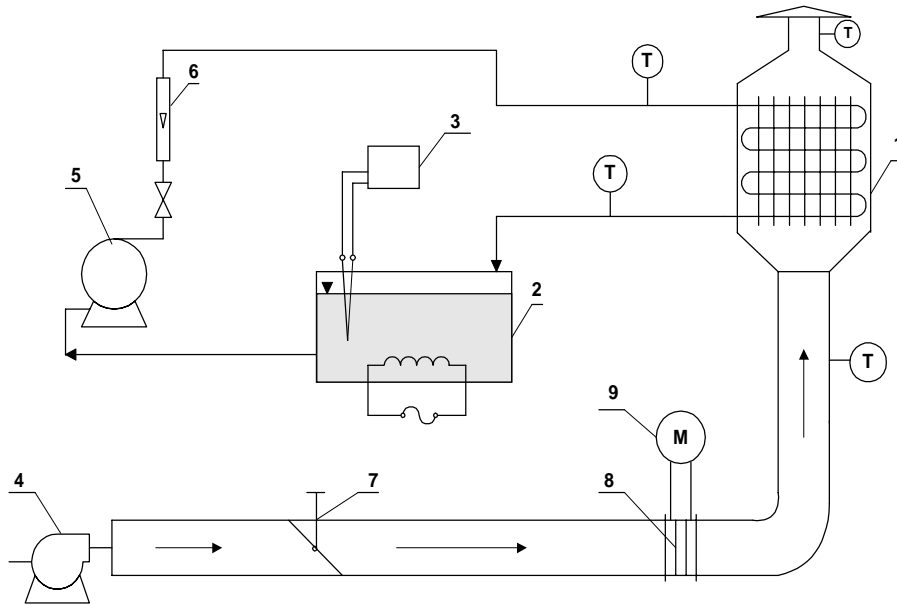
3. Aparatura

Zasadniczym elementem aparatury doświadczalnej przedstawionej na rysunku 1, jest chłodnica powietrzna 1, którą stanowi szesnaście rur miedzianych $16 \times 1 \text{ mm}$, o łącznej długości $L = 3.28 \text{ m}$ ($A_w = 0.144 \text{ m}^2$; $A_z = 0.165 \text{ m}^2$). Rury są ożebrowane i rozmieszczone w czterech rzędach w układzie heksagonalnym. Żebra są również miedziane, o kształcie prostokątnym, a ich wysokość mierzona w kierunku przepływu powietrza wynosi $h = 100 \text{ mm}$, zaś grubość $s = 0.3 \text{ mm}$.

Doprowadzenie i odprowadzenie oleju do chłodnicy odbywa się przez kolektory ściśle zamocowane do blaszanej obudowy chłodnicy z oszklonymi wziernikami.

Olej jest podgrzewany w zbiorniku 2 za pomocą grzejników elektrycznych, których włączaniem i wyłączaniem steruje automatyczny regulator temperatury 3, który ustala żadaną temperaturę oleju w zbiorniku.

Zbiornik oleju jest wykonany z blachy stalowej i pokryty warstwą izolacji cieplnej. Pokrywa zbiornika jest wykonana z płyty tekstolitowej. Podgrzany w zbiorniku olej jest tłoczony za pomocą pompy zębatej 5 przez rotametr 6 do rur chłodnicy powietrznej, skąd po



Rys.1. Schemat aparatury doświadczalnej do badania przenikania ciepła w chłodnicy powietrznej
 1- chłodnica powietrzna, 2-zbiornik oleju, 3- regulator temperatury, 4- wentylator, 5- pompa zębata, 6- rotametr, 7-
 zasuwa, 8- zwężka pomiarowa, 9- manometr

oziębieniu wraca do zbiornika olejowego. W układzie zastosowano pompę zębatą typu PS-10, dostosowaną do pracy w temperaturze do 300⁰C.

Powietrze chłodzące jest tłoczona za pomocą wentylatora 4 do przestrzeni międzyrurowej chłodnicy prostopadle do wiązki rur. Natężenie przepływu powietrza reguluje się zasuwą 7 umieszczoną w przewodzie tłocznym i mierzy zwężką pomiarową 8, połączoną z manometrem 9.

Temperatury oleju i powietrza na wlocie i wylocie chłodnicy powietrznej mierzone są termometrami rtęciowymi T.

4. Metodyka pomiarów

Badania przenikania ciepła w chłodnicy powietrznej obejmują określenie wpływu natężenia przepływu oleju \dot{m}_A i powietrza \dot{m}_B na współczynnik przenikania ciepła k .

Przed rozpoczęciem właściwego pomiaru należy wykonać następujące czynności wstępne:

- włączyć ogrzewanie elektryczne w podgrzewaczu oleju (2) i ustalić temperaturę końcową ogrzewania (T_{ak}), za pomocą regulatora temperatury,
- włączyć pompę zębatą 5 tłoczącą olej ze zbiornika 2 do rur chłodnicy 1,
- ustalić natężenie przepływu oleju za pomocą zaworu zainstalowanego na rurociągu przed rotametrem,
- uruchomić wentylator 4,
- ustalić żądane natężenie przepływu powietrza za pomocą zasuwy 7 zainstalowanej w rurociągu między wentylatorem i zwężką pomiarową.

Stalność temperatur wlotowych i wylotowych obu czynników w czasie oznacza, że w aparaturze osiągnięto stan równowagi cieplnej. Należy wówczas zarejestrować te temperatury oraz natężenia przepływu czynników a następnie wykonać kolejny pomiar zmieniając odpowiednio \dot{m}_A i \dot{m}_B

5. Opracowanie wyników

Współczynnik przenikania ciepła $k_{dośw}$ oblicza się za pomocą równania (1), w którym strumień cieplny \dot{Q} określa się z równań bilansu cieplnego:

$$\dot{Q}_A = m_A c_A \Delta T_A, \quad (4)$$

$$\dot{Q}_B = m_B c_B \Delta T_B. \quad (5)$$

Indeks „A” odnosi się do oleju, indeks „B” do powietrza. Różnice temperatur ΔT_A i ΔT_B oznaczają zmiany temperatury między wlotem a wylotem.

Ze względu na możliwość wystąpienia strat ciepła do otoczenia, w obliczeniach należy użyć strumienia cieplnego oleju \dot{Q}_A .

Średnią różnicę temperatur ΔT w równaniu (1) oblicza się z zależności:

$$\Delta T = \varepsilon \Delta T_m = \varepsilon \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (6)$$

gdzie: ΔT_1 i ΔT_2 są różnicami temperatur między olejem a powietrzem na wlocie i wylocie aparatu (jak dla przeciwprądu), natomiast ε jest poprawką dla prądu krzyżowego. Wartość ε należy odczytać z wykresów zamieszczonych w literaturze [1,2].

Powierzchnia wymiany ciepła A we wzorze (1) jest wielkością średnią z wewnętrznej A_w i zewnętrznej A_z powierzchni wymiennika.

Obliczenia teoretycznych wartości współczynników przenikania ciepła k_{teoret} należy przeprowadzić wg wzoru (2). Współczynniki wnikania ciepła dla powietrza α_B można obliczyć używając równania Norrisa Spofforda [1]:

$$Nu = Re^{0.5} Pr^{0.33}, \quad (7)$$

gdzie :

$$Nu = \frac{\alpha d_z}{\lambda}, \quad Pr = \frac{c_p}{\lambda}, \quad Re = \frac{w_m d_z}{\eta}$$

Średnica zastępcza $d_z = 2L$, przy czym L oznacza długość drogi jaką powietrze przebywa w zetknięciu z żebrami. W badanym aparacie jest nią wysokość żeber, czyli $L=h$. Wielkość w_m jest masową prędkością przepływu powietrza w wolnym przekroju między ożebrowanymi rurami:

$$w_m = \frac{\dot{m}_B}{A_0} \quad (8)$$

Dla używanej w ćwiczeniu chłodnicy $A_0 = 0.0223 \text{ m}^2$. Własności fizyczne, występujące w równaniu (7) należy wstawić w temperaturze warstwy przysiennej.

Współczynniki wnikania ciepła dla oleju α_A należy obliczać używając odpowiednich korelacji dla wymuszonego przepływu płynu w rurach [1,2]. Własności oleju transformatorowego w funkcji temperatury można znaleźć w literaturze [5].

W sprawozdaniu należy zestawić tabelarycznie wyniki pomiarów, doświadczalne wartości współczynników przenikania ciepła, oraz obliczone teoretycznie wartości współczynników wnikania i przenikania ciepła wraz z wielkościami pośrednimi (w_m , Re , Pr , Nu , λ , η , ρ , c_p)