

BADANIE WYMIENNIKA CIEPŁA TYPU RURA W RURZE

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z konstrukcją, metodyką obliczeń cieplnych oraz poznanie procesu przenikania ciepła w rurowych wymiennikach ciepła.

2. Podstawy teoretyczne

W przemyśle spożywczym procesy wymiany ciepła należą do głównej grupy procesów technologicznych.

Można tu wymienić:

- odparowanie wilgoci przy suszeniu lub zagęszczaniu czynnika,
- krystalizację substancji rozpuszczonej,
- skraplanie par,
- pasteryzację i sterylizację produktu
- blanszowanie,
- gotowanie,
- parowanie,
- termizacja itp.

Urządzenia w których realizowane są procesy wymiany ciepła noszą nazwę wymienników ciepła. Ze względu na charakter procesu wymienniki można podzielić na:

- bezprzeponowe,
- przeponowe.

W wymiennikach bezprzeponowych procesy wymiany ciepła zachodzą bezpośrednio pomiędzy czynnikami (np. woda i para). W wymiennikach przeponowych substancje wymieniające ciepło nie stykają się ze sobą. Proces wymiany ciepła zachodzi przez oddzielającą je przeponę (ściankę rury).

Przenikanie ciepła

Proces wymiany (przenikania) ciepła przez przeponę (ściankę) składa się z trzech etapów:

- 1) wnikanie ciepła od płynu do ścianki,
- 2) przewodzenie ciepła przez ściankę,
- 3) wnikanie ciepła od ścianki do płynu po stronie czynnika o temperaturze niższej.

Wymienione etapy przenikania można opisać przy pomocy równań:

- 1) strumień cieplny przy wnikaniu ciepła od płynu A do ścianki,

$$Q = \alpha_A \cdot F(t_1 - t_2) \quad [w] \quad (31.1)$$

- 2) strumień cieplny podczas przewodzenia ciepła przez ściankę,

$$Q = \frac{\delta}{\lambda} F \cdot (t_2 - t_3) \quad [w] \quad (31.2)$$

- 2) strumień cieplny przy wnikaniu ciepła od ścianki do płynu B,

$$Q = \alpha_B \cdot F(t_3 - t_4) \quad [\text{w}] \quad (31.3)$$

gdzie:

- α_A - współczynnik wnikania ciepła od płynu A do ścianki, $\text{w/m}^2 \cdot \text{k}$
- α_B - współczynnik wnikania ciepła od ścianki do płynu B, $\text{w/m}^2 \cdot \text{k}$
- F - powierzchnie wymiany ciepła, m
- δ - grubość ścianki, m
- λ - współczynnik przewodzenia ciepła materiału ścianki, $\text{w/m}^2 \cdot \text{k}$
- t_1 - średnia temperatura płynu A, °C
- t_2 - średnia temperatura płynu A po stronie ścianki, °C
- t_3 - średnia temperatura ścianki po stronie B, °C
- t_4 - średnia temperatura płynu B, °C

Wielkość strumienia cieplnego dla całego procesu jest stała, więc i zależności te są sobie równe. Po przyrównaniu i przekształceniu otrzymamy:

$$t_1 - t_4 = \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha_A} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_B} \right) \quad (31.4)$$

w nawiasie oznaczamy:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_A} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_B} \quad (31.5)$$

oraz: $t_1 - t_4 = \Delta t \quad (31.6)$

Wyrażenie na określenie wielkości strumienia przewodzącego Q przyjmuje postać:

$$Q = k \cdot \Delta t \cdot F \quad [\text{w}] \quad (31.7)$$

Bilans cieplny wymiennika

Ilość ciepła w procesie wymiany pobieranego (oddanego) przez jeden z wymienników określa wyrażenie:

$$Q_A = G_A \cdot C_{pA} (t_{A2} - t_{A1}) \quad [\text{w}] \quad (31.8)$$

gdzie: G_A - masowe natężenie przepływu czynnika A, kg/s

C_{pA} - średnie ciepło właściwe płynu A w zakresie temperatur $t_{A1} \div t_{A2}$

Podobnie ilość ciepła czynnika po drugiej stronie ścianki:

$$Q_B = G_B \cdot C_{pB} (t_{B2} - t_{B1}) \quad [\text{w}] \quad (31.9)$$

Dla przepływu ustalonego:

$$Q_A = Q_B \quad (31.10)$$

lub wykorzystując równanie 31.7 otrzymamy:

$$G_A \cdot C_{pA} \cdot \Delta t_A = k \cdot F \cdot \Delta t \quad [\text{w}] \quad (31.11)$$

Równanie 31.11 jest podstawowym równaniem przy obliczaniu wymienników ciepła.

Współczynnik przenikania ciepła

Obliczenie współczynnika przenikania ciepła k jest skomplikowane. W ćwiczeniu celowym jest ograniczyć się do wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła na podstawie zależności 31.9, 10, 11.

Po przekształceniu tych równań wyrażenie określające wartość współczynnika k będzie miało postać:

$$k = \frac{G_A \cdot C_{pA} \cdot \Delta t_A}{F \cdot \Delta t} \quad [\text{w/m}^2 \text{K}] \quad (31.12)$$

Przewodzenie ciepła przez ściankę cylindryczną

W ściankach walcowych powierzchnie wymiany po stronie ogrzewającej i ogrzewanej są różne. Podczas przejścia strumienia ciepła przez taką ściankę następuje zmiana jego gęstości.

Ilość ciepła przenikającego przez ściankę walcową wyraża zależność:

$$Q = \frac{t_{s1} - t_{s2}}{\frac{1}{2\pi l \cdot \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [\text{w}] \quad (31.13)$$

gdzie:

λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $\text{W/m}\cdot\text{K}$

l - długość rury, m

r_1 - promień wewnętrzny, m

r_2 - promień zewnętrzny, m

t_{s1} - temperatura ścianki wewnętrznej, $^{\circ}\text{C}$

t_{s2} - temperatura ścianki zewnętrznej, $^{\circ}\text{C}$

Jak wynika z powyższego równania, opór cieplny przewodzenia ciepła przez ściankę walcową wynosi:

$$R = \frac{1}{2\pi l \cdot \lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (31.14)$$

Zewnętrzne rury wymienników ciepła typu „rura w rurze” pokrywa się warstwą izolacyjną w celu zmniejszenia strat do otoczenia. Gęstość strumienia cieplnego ze wzrostem promienia ścianki ulega rozproszeniu ze względu na przyrost powierzchni.

W pewnych warunkach może dojść do tego, że warstwa izolacyjna zwiększając powierzchnię wymiany ciepła z otoczeniem zacznie spełniać rolę chłodnicy. Skuteczność warstwy izolacyjnej nakładanej na powierzchnie walcowe zależy więc będzie od współczynnika wnikania ciepła od rury do izolacji, współczynnika przewodzenia ciepła izolacji i od średnicy tej warstwy. Średnica krytyczna warstwy izolacyjnej wynosi:

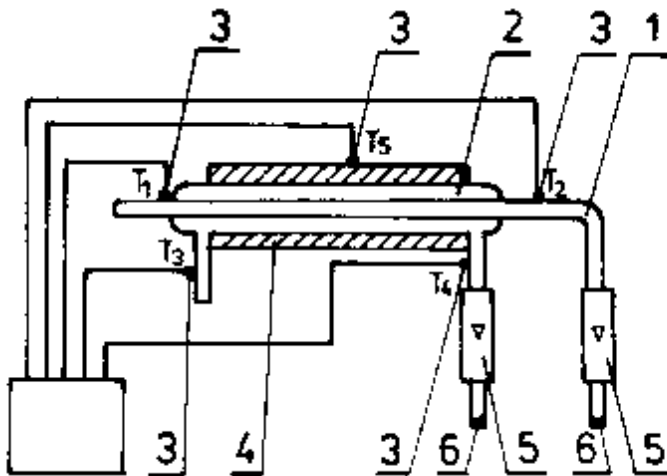
$$d_{kr} = \frac{2 \cdot \lambda_2}{\alpha_2} \quad [\text{m}] \quad (31.15)$$

gdzie:

λ_2 - współczynnik przewodzenia ciepła ścianki, na którą nałożono warstwę izolacyjną, $\text{W/m} \cdot \text{K}$,

α_2 - współczynnik wnikania ciepła od rury do izolacji, $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.

3. Schemat i opis stanowiska laboratoryjnego



Rys. 31.1. Schemat stanowiska badawczego: 1 - rura wewnętrzna, 2 - rura zewnętrzna, 3 - czujniki temperatur, 4 - warstwa izolacyjna, 5 - przepływomierze, 6 - zawory regulacji przepływu

Stanowisko badawcze stanowi wymiennik ciepła typu rura w rurze. Rura zewnętrzna pokryta jest warstwą izolacyjną. Czujniki temperatury i przepływu służą do mierzenia parametrów roboczych wymiennika. Zawory regulacji przepływu zamontowane na wyjściach rury wewnętrznej i zewnętrznej służą do zmiany natężenia przepływu.

4. Przebieg ćwiczenia

- zapoznać się dokładnie z instrukcją obsługi stanowiska badawczego,
- wycechować termopary mierzące temperatury wody ogrzewanej i ogrzewającej, używając do tego celu termometru wzorcowego,
- zrealizować przepływ współprądowy (jednakowy kierunek wody w obu rurach) w wymienniku przy równym natężeniu przepływu w obu rurach,
- po ustaleniu równowagi cieplnej wykonać 5 pomiarów temperatur czynników w odstępach co 5 min,

- wyniki pomiarów zamieścić w tabeli 31.1,
- zrealizować przepływ przeciwny w warunkach jak dla przepływu współprądowego,
- po ustaleniu równowagi cieplnej wykonać serię pomiarów jw.,
- wyniki pomiarów umieścić w tabeli 31.1.

5. Analiza wyników pomiarów i wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników sporządzić bilans cieplny dla przepływu współprądowego i przeciwny (zależności 31.11, 31.13).

Wykonać obliczenia współczynnika przenikania ciepłego oraz średnicę krytyczną warstwy izolacyjnej (zależności 31.12, 31.15).

Tabela 31.1. Tabela pomiarowa

Rodzaj przepływu	L p	Natężenie przepływu		Temperatura °C				
		V ₁	V ₂	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅
Współprądowy	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
Przeciwny	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

6. Literatura

- [31.1]. Popko H., Popko R.: Maszyny przemysłu spożywczego – ćwiczenia laboratoryjne. Skrypt PL. Lublin 1986
- [31.2]. Staniszewski B.: Wymiana ciepła, podstawy teoretyczne. PWN. Warszawa 1983
- [31.3]. Szues E.: Modelowanie matematyczne w fizyce i technice. WNT. Warszawa 1977
- [31.4]. Zagórski J.: Zarys techniki cieplnej. WNT. Warszawa 1976