

VPLYV MATERIÁLU A GEOMETRIE VÝMENNÍKA NA PRENOS TEPLA

INFLUENCE OF MATERIAL AND GEOMETRY OF EXCHANGER ON HEAT TRANSFER

Eva LABAŠOVÁ¹, Jaroslava TRUBENOVÁ²

Autori: **Ing. Eva Labašová, PhD.,¹ RNDr. Jaroslava Trubenová, PhD.²**
Pracovisko: ¹Ústav výrobných systémov a aplikovanej mechaniky,
Materiálovotechnologická fakulta STU
²Katedra aplikovanej matematiky, Fakulta prírodných vied UCM
Adresa: ¹Paulínska 16, 917 24 Trnava
²Námestie Jozefa Herdu 2, 917 01 Trnava
Telefón: ¹+421/918646022
E-mail: eva.labasova@stuba.sk, jaroslava.trubanova@ucm.sk

Abstract

Príspevok sa zaoberá analýzou vplyvu materiálu a geometrie teplovýmenného elementu na prenos tepla. Výsledky numerických výpočtov založených na metóde konečných prvkov ukázali závislosť množstva odvedeného tepla od hustoty rebrovania elementu. Na množstvo odvedeného tepla má vplyv nielen koeficient tepelnej vodivosti materiálu ale aj ďalšie termofyzikálne vlastnosti, napr. emisivita.

The contribution deals with an analysis of heatexchangeable element material and geometry influence on heat transfer. Results of numerical calculations based on Finite Elements Method (FEM) have shown transferred heat dependence on interspace between individual ribs density. Transferred heat is determined not only by thermal conductivity coefficient, but also by others thermophysical properties, for example emissivity.

Key words

prenos tepla, metóda konečných prvkov, výmenník tepla

heat transfer, Finite Elements Method, exchanger

Úvod

Rozvoj priemyslu prináša stále zložitejšie výrobné postupy, ktoré obsahujú rad procesov. Tieto procesy podľa svojej povahy možno deliť na mechanické, hydromechanické, difúzne, tepelné a pod. Na prenos energie vo forme tepla medzi dvomi prípadne aj viacerými pracovnými látkami slúžia zariadenia, ktoré sa nazývajú výmenníky. Ich úlohou je zabezpečiť realizáciu technologických procesov, ktoré vyžadujú ohrev alebo chladenie tekutín.

Prenos tepla vo výmenníkoch je kombinovaný proces, na ktorom sa podieľajú všetky druhy mechanizmu prenosu tepla, t.j. prirodzená a nútená konvekcia, tepelné žiarenie a vedenie tepla. Vzhľadom na rôznu intenzitu prestupu tepla medzi látkami sa často zvyšuje tepelný tok zväčšením povrchu výmenníka. Zväčšenie povrchu môže mať rôznu podobu, najčastejšie vo forme pozdĺžnych aj priečnych rebier, rôzneho prierezu aj veľkosti. Aktívna teplovýmenná plocha výmenníkov sa skladá obvykle z veľkého počtu teplovýmenných elementov za účelom zlepšenia odvodu tepla. Príspevok sa zaoberá analýzou vplyvu materiálových a geometrických faktorov na prenos tepla teplovýmenným elementom.

Fyzikálne východiská a popis modelu

Pomerne veľkú skupinu výmenníkov tvoria rekuperatívne (povrchové) výmenníky. Tie sa vyznačujú tým, že pracovné látky, medzi ktorými sa teplo odovzdáva, oddeľuje pevná stena elementov tvoriacich teplovýmenný povrch. Teplo sa odvádza pomocou chladiaceho média (spravidla kvapaliny) cez stenu (najčastejšie kovovú) do okolia (obvykle vzduchu). Plocha na strane vzduchu býva väčšia ako plocha na strane kvapaliny.

Rozhodujúci tepelný odpor vzniká na strane vzduchu. Z toho vyplýva, že zníženie tepelného odporu možno dosiahnuť nielen zväčšovaním hodnôt koeficientov prestupu tepla, ale aj zväčšovaním plochy na strane vzduchu. Prakticky sa to realizuje rebrovaním teplovýmennej plochy. Cieľom príspevku je urobiť rozbor z hľadiska materiálových a geometrických parametrov teplovýmenného elementu vybraného tvaru na prenos tepla týmto elementom.

Teplotné pole v elemente je opísané diferenciálnou Fourierovou-Kirchhoffovou rovnicou vedenia tepla parabolického typu [1]:

$$\rho \cdot c(x, y, z) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T, \tau) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T, \tau) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(T, \tau) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_v(x, y, z, \tau) \quad (1)$$

kde ρ, c, λ , a τ sú hustota, hmotnostná tepelná kapacita, koeficient tepelnej vodivosti a čas, q_v je teplo vyvinuté v objeme telesa za jednotku času. Plocha teplovýmenného elementu je ochladzovaná tiež žiarením a konvekciou do okolia. Pre riešenie úlohy je možné uplatniť okrajovú podmienku III. druhu:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha_k (T_w - T_f), \quad (2)$$

$$\text{kde } \alpha_k = \varepsilon \sigma_0 (T_w^2 + T_f^2) (T_w + T_f) + \alpha_C. \quad (3)$$

Koeficient prestupu tepla α_C je určovaný z kritériálnych rovníc platných pre prirodzenú konvekciu do neobmedzeného priestoru [2]. Pre výpočet α_C je potrebné učiť Nusseltovo číslo Nu_{bm} , pre ktoré platí:

$$Nu_{bm} = C \cdot (Ry_{bm})^n, \quad (4)$$

kde Ry_{bm} je Rayleighovo číslo, C, n sú konštanty určené podľa veľkosti Ry čísla odčítaním z tabuľky [3], b je charakteristický rozmer, m je charakteristická teplota. Nusseltovo číslo slúži na výpočet koeficientu prestupu tepla α_C :

$$\alpha_c = \frac{Nu_{bm} \lambda}{b}. \quad (5)$$

Hodnoty koeficientu prestupu tepla α_k z povrchu dosky (pre všetky skúmané materiály) do okolia boli vypočítané podľa (3).

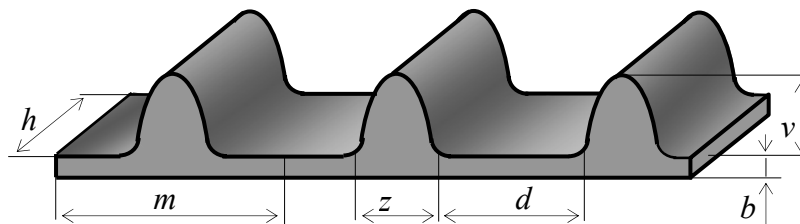
Výpočty boli urobené pre nasledovné materiály: korund, železo, zliatina, kremenec, magnezit, betón, plast. Rozhodujúcim kritériom pre výber materiálov bola hodnota koeficientu tepelnej vodivosti daného materiálu λ . Zoznam materiálov, ich označenie a termofyzikálne vlastnosti sú v tabuľke č. 1.

Tabuľka 1

Označenie	Názov	Termofyzikálne charakteristiky			
		λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ε
P	Polypropylén (40% mastenca)	0,51	1210	1340	0,8
B	betón prostý	1,1	2250	879	0,9
M	magnezit (40% MgO)	2,67	2000	800	0,65
K	kremenec	6,05	28000	795	0,93
Z	zliatina (30% Bi + 70% Sb)	9,65	7500	200	0,3
A	korund (Al_2O_3)	20,93	3750	754	0,85
F	ocel' (0,2% C)	45,4	7800	450	0,2

λ - koeficient tepelnej vodivosti materiálu, ρ - hustota, c - hmotnostná tepelná kapacita, ε - emisivita povrchu

Na obr. 1 sú znázornené základné rozmerové charakteristiky sledovaného teplovýmenného elementu.



Obr. 1. Schématické znázornenie teplovýmenného elementu

b – hrúbka steny výmenného elementu ($b = 0,01$ m),

v – výška rebier ($v = 0,05$ m),

h – dĺžka rebier ($h = 1$ m),

z – základňa rebra ($z = 0,004$ m),

m – šírka modulu rebra ($m_i = 0,016$ m; $0,032$ m; $0,048$ m; $0,064$ m; $0,08$ m, kde $i = 1, 2, 3, 4, 5$),

d – šírka medzery medzi rebrami (vo výpočtoch sa mení v závislosti od veľkosti modulu).

Numerické výpočty boli robené v programe SYSTUS, ktorý využíva metódu konečných prvkov. Pri numerických výpočtoch boli použité okrajové podmienky: teplota základného povrchu $T_p = 80$ °C, teplota obklopujúceho prostredia $T_o = 20$ °C.

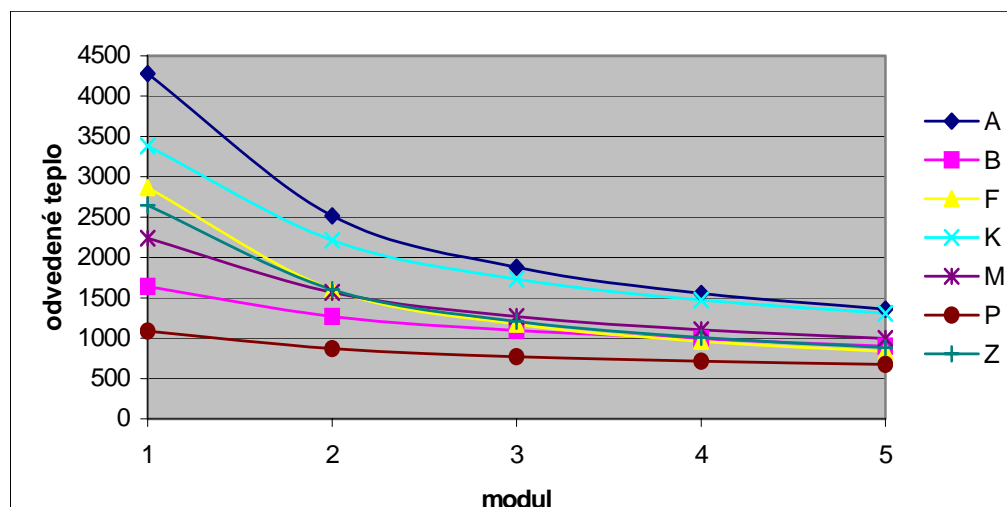
Model teplovýmenného elementu bol riešený ako stacionárny a nelineárny problém prestupu tepla. Metódou konečných prvkov boli určené teploty v uzlových bodoch použitej siete. Tieto hodnoty tvorili vstupné dáta pre výpočet charakteristík teplovýmenného elementu. Vplyv rôznych materiálov a rôznej hustoty rebier bol analyzovaný porovnaním odvedeného tepla za jednotku času z plochy 1 m².

Výsledky

Na obr. 2 sú ukázané hodnoty odvedeného tepla z 1m^2 teplovýmenného elementu za jednotku času. Na grafe sú porovnané rôzne materiály a rôzne hustoty rebier elementu. Hustota rebier súvisí so šírkou modulu m_i ($i = 1 \dots 5$).

Je zrejmé, že najvyhovujúcejší materiál v aplikácii teplovýmenného elementu je ten, ktorému zodpovedá krivka umiestnená na grafe v obr. 2 najvyššie. Naopak najmenej vyhovujúci je materiál, ktorého krivka leží najnižšie. Z modelovaných materiálov sa ako najvhodnejší javí korund a najnevhodnejší je plast. Toto konštatovanie platí pre všetky hustoty rebrovania teplovýmenného elementu. Množstvo odvedeného tepla sa zvyšuje so zvyšujúcou sa hustotou rebrovania. Pri hustejšom rebrovaní má na množstvo odvedeného tepla výrazný vplyv typ použitého materiálu. Pri nižšej hustote nie je výrazný rozdiel v hodnotách odvedeného tepla pre rôzne materiály.

Z vypočítaných hodnôt možno usudzovať, že na množstvo odvedeného tepla má vplyv nielen koeficient tepelnej vodivosti materiálu, ale aj ďalšie termofyzikálne vlastnosti (emisivita). Z grafu vidno, že najvyššie hodnoty odvedeného tepla vykazujú elementy z materiálu korund, ktorý má nižšiu hodnotu koeficientu tepelnej vodivosti ako železo, ale má vyššiu hodnotu emisivity ako železo (tab. 1). V praxi to znamená, že by bolo možné nahradiť kovové elementy nekovovými materiálmi s nižšími hodnotami koeficienta tepelnej vodivosti ale s výhodnejšími hodnotami emisivity. V ďalšom by bolo zaujímavé sledovať napríklad prechod tepla cez elementy tvorené dvojicou materiálov a to tak, že takmer celý objem telesa by bol tvorený materiálom s vysokou tepelnou vodivosťou a vonkajší povrch elementu, by tvoril materiál s vyššími hodnotami emisivity.



Obr. 2

Záver

Navrhovanie teplovýmenných elementov je často len na základe intuície, skúseností bez dôkladnej analýzy geometrických a materiálových faktorov, ktoré by mohli výrazne ovplyvniť prechod tepla týmito elementami a zvýšiť tak účinnosť a efektívnosť navrhovaného elementu. Riešenie daného problému ukázalo, že fyzikálny model umožňuje analýzu vplyvu materiálu a geometrie elementu na prechod tepla. Výsledky ukázali závislosť tepelnej charakteristiky elementu od materiálového a geometrického faktora a je ich možno využiť pri spresňovaní a skvalitňovaní návrhov teplovýmenných elementov.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] KUBIČÁR, L. *Rýchla metóda merania základných termofyzikálnych parametrov*. Bratislava: Vydavateľstvo VEDA, Bratislava, 1988
- [2] TARABA, B., BEHÚLOVÁ, M., KRAVÁRIKOVÁ, H. *Mechanika tekutín, Termomechanika*. Bratislava: Vydavateľstvo STU Bratislava, 2004, 241 s. ISBN: 80-223-2004
- [3] WITLINGER, V. *Minilexikón tepla*. Bratislava, Vydavateľstvo ALFA, 1992.