

VPLYV MEDZNÝCH VRSTIEV NA PRENOS TEPLA OKOLO ROVINNÝCH A TVAROVANÝCH POVRCHOV

BRODNIANSKÁ Zuzana – KONIAR Ján, SR

Resumé

V príspevku je popísaný vplyv medzných vrstiev, ktoré sa vytvárajú okolo rovinných a tvarovaných povrchov pri nútenej konvekcií vzduchu, na proces výmeny tepla. S procesmi prenosu tepla v rôznych energetických zariadeniach sa študenti oboznamujú v študijnom programe Ekotechnika, v predmetoch Procesné strojníctvo, Energetické stroje a zariadenia a Energetické premeny. Súčasťou príspevku je aj model experimentálnej zostavy, ktorý možno využiť ako didaktickú pomôcku vo vyučovacom procese, pre štúdium procesov výmeny tepla.

Kľúčové slová: prenos tepla, medzná vrstva, tvarovaný povrch.

THE INFLUENCE OF BOUNDARY LAYERS ON HEAT TRANSFER AROUND PLANE AND SHAPED SURFACES

Abstract

The present contribution described the influence of boundary layers on heat transfer, forming around plane and shaped surfaces in forced convection. Students are informed about heat transfer processes in various energetic equipments in the Environmental Technology study programme, in subjects Process Mechanical Engineering, Energetic Machines and Equipment and Energetic Changes. Design of experimental model, that can be utilized as a didactic tool in educational process, for study of heat transfer processes, is present in the contribution.

Key words: heat transfer, boundary layer, shaped surface.

Úvod

V súčasnosti je štúdium prenosu tepla aktuálnou témou z hľadiska zvyšovania efektivity prenosu tepla a tým znižovania nákladov spojených s produkciou tepla a v neposlednom rade aj šetrenia životného prostredia. Rôzne tvarované povrchy sa v praxi využívajú napr. ako teplovýmenné povrchy doskových výmenníkov tepla, vykurovacích telies, chladiacich a ohrievacích zariadení, ako rebrované povrchy motorov, technologických zariadení alebo chladiacich častí v elektrotechnike.

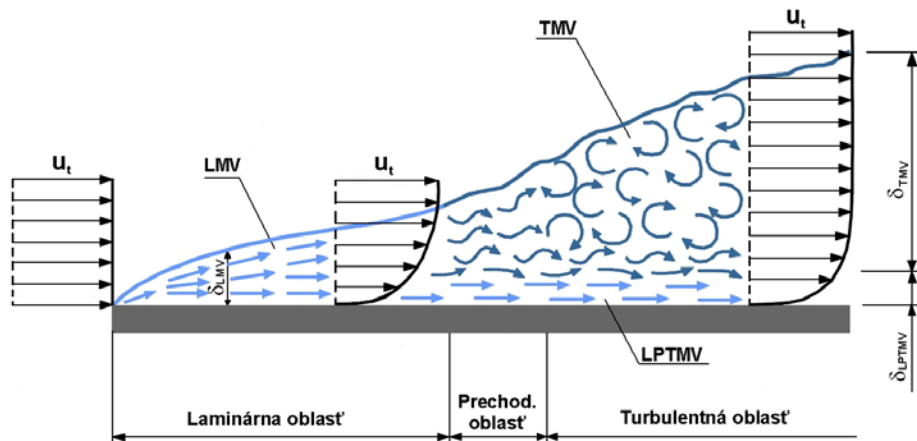
Je známe, že čím dlhšie sa bude medzná vrstva, pri laminárnom režime prúdenia, na rovinnom povrchu vytvárať, tým väčšia bude jej hrúbka a tým aj nižší koeficient prestupu tepla, pretože medzná vrstva pôsobí ako izolant proti ostatnej časti prúdiacej tekutiny. Preto je dôležité vyvíjajúcu medznú vrstvu narúšať rôznymi výstupkami a nerovnosťami povrchu.

1 Tvorba hydrodynamickej a teplotnej medznej vrstvy okolo rovinatej dosky

Teplo sa v tekutinách (t.j. v plynoch a kvapalinách) šíri konvekciou premiestňovaním objemov tekutiny v priestore, pričom sa tu vyskytuje aj vedenie tepla. Na intenzitu prenosu tepla konvekciou výrazne vplýva režim prúdenia tekutiny. Pri laminárnom režime prúdenia sa teplo šíri *vedením* v smere kolmom na rovinný povrch. Pri turbulentnom režime

průdenia sa teplo šíri vedením a *premiestňovaním* častíc tekutiny v smere kolmom na rovinný povrch [3].

V prípade, že prúdiaca tekutina obteká okolo rovinného povrchu s rovnomerne rozloženou rýchlosťou u_t , od nábehovej hrany povrchu sa začne vytvárať hydrodynamická medzná vrstva, pričom najskôr sa vytvorí laminárna medzná vrstva *LMV* s hrúbkou δ_{LMV} (obr. 1). V prechodovej oblasti sa začnú prúdnicе zakrivovať, až začnú vytvárať uzavreté víry v turbulentnej medznej vrstve *TMV* s hrúbkou δ_{TMV} . Tesne pri rovinnom povrchu sa nachádza veľmi tenká vrstva tekutiny, kde je prúdenie vždy laminárne a nazýva sa laminárna podvrstva turbulentnej medznej vrstvy *LPTMV* [2].



Obr. 1 Vznik a vývoj hydrodynamickej medznej vrstvy okolo rovinného povrchu pri nútenej konvekcií vzduchu

LMV - laminárna medzná vrstva, *TMV* - turbulentná medzná vrstva,
LPTMV - laminárna podvrstva turbulentnej medznej vrstvy, u_t - rýchlosť prúdiacej tekutiny,
 δ_{LMV} - hrúbka laminárnej medznej vrstvy, δ_{TMV} - hrúbka *TMV*, δ_{LPTMV} - hrúbka *LPTMV* [2].

V oblasti *LMV* a *LPTMV* sa teplo šíri len vedením a hustotu tepelného toku možno vyjadriť Fourierovým zákonom vedenia tepla, kde je rýchlosť tekutiny nulová:

$$\dot{q} = -\lambda_t \cdot \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_p \cong \frac{\lambda_t}{\delta_{TeMV}} \cdot (T_p - T_t) \quad (1)$$

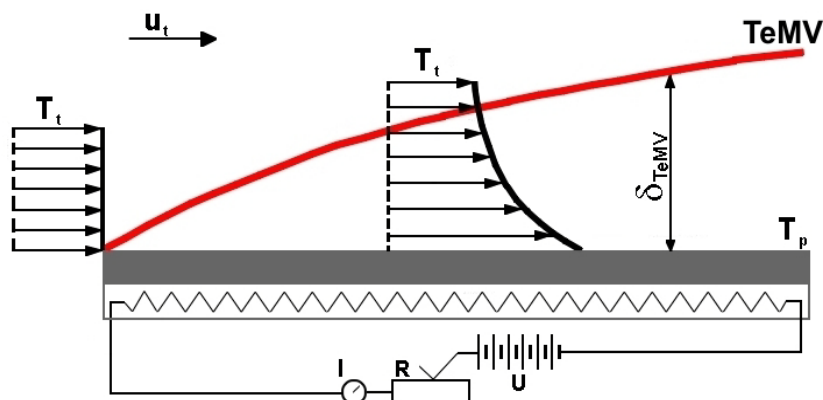
kde, λ_t - koeficient tepelnej vodivosti tekutiny [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 T_p - teplota rovinného povrchu [K],
 T_t - teplota prúdiacej tekutiny [K],
 n - normála od rovinného povrchu,
 δ_{TeMV} - hrúbka teplotnej medznej vrstvy [m].

Pri vonkajšej hranici medznej vrstvy prestupuje teplo do jadra prúdiacej tekutiny konvekciou. Hustotu tepelného toku pri prestupe tepla konvekciou možno určiť z Newtonovho vzťahu:

$$\dot{q} = \alpha \cdot (T_p - T_t) \quad (2)$$

kde, α – koeficient prestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$].

V prípade, že rovinný povrch vyhrievame, to znamená, že teplota povrchu T_p je vyššia, ako teplota prúdiacej tekutiny T_t , pri povrchu vzniká teplotná medzná vrstva $TeMV$ s hrúbkou δ_{TeMV} [1].

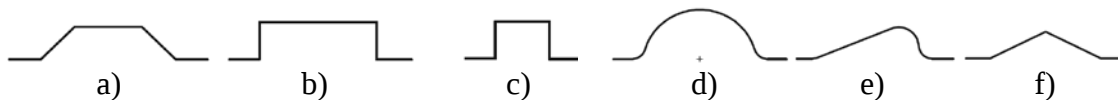


Obr. 2 Vznik a vývoj teplotnej medznej vrstvy okolo rovinného povrchu s elektrickým ohrevom

$TeMV$ - teplotná medzná vrstva, T_p - teplota povrchu dosky, T_t - teplota prúdiacej tekutiny, u_t - rýchlosť prúdiacej tekutiny, δ_{TeMV} - hrúbka teplotnej medznej vrstvy [1]

Rovinný povrch možno vyhrievať elektricky (obr. 2), alebo pomocou hydraulického okruhu (obr. 4). Teplotný gradient postupne klesá, pretože rovnaká teplotná diferencia sa vytvára na postupne väčšej hrúbke $TeMV$. Tým pádom klesá aj koeficient prestupu tepla α v smere obtekaného povrchu a teda klesá aj hustota prenášaného tepelného toku $\dot{q}$. Preto je potrebné rovinné povrchy v laminárnej oblasti narušovať výstupkami rôznych tvarov, príp. drsnosťou vhodného typu. V prípade turbulentného režimu prúdenia, v $TeMV$, koeficient prestupu tepla narastá, pretože pohybujúce sa víry zintenzívňujú prenos tepla [2].

Medzi najčastejšie používané tvarované povrchy v procese výmeny tepla patria profily lichobežníkové, obdĺžnikové, štvorcové, oblúkové, slzové, trojuholníkové a iné (obr. 3).

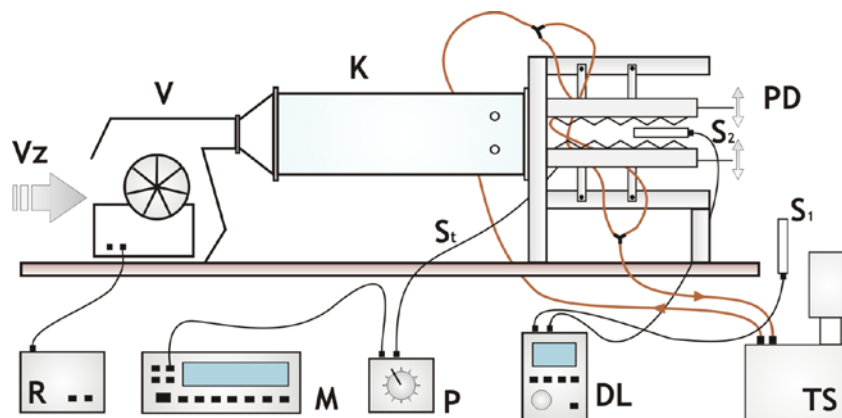


Obr. 3 Tvarované povrchy teplovýmenných plôch

a) lichobežníkový, b) obdĺžnikový, c) štvorcový, d) oblúkový, e) slzový, f) trojuholníkový

2 Návrh teplovýmennej experimentálnej zostavy

Pre lepšie pochopenie procesov prebiehajúcich pri prenose tepla v okolí profilovaných dosiek (PD) vyhrievaných vodou, bolo navrhnuté experimentálne zariadenie, ktorého schéma je na obr. 4. Zariadenie umožňuje nastaviť požadované povrchové teploty profilovaného povrchu pomocou termostatu (TS), ako aj požadované rýchlosti prúdenia vzduchu (V_z) pomocou regulátora otáčok (R) ventilátora (V). Teplotu povrchu profilovaných dosiek a v okolitom prostredí možno merať snímačmi (S_t , S_1), rýchlosť prúdiaceho vzduchu termoanemometrom (S_2).



Obr. 4 Schéma experimentálneho zariadenia

*V – ventilátor, R – regulácia otáčok, PD – profilované dosky, TS – termostat, K – kanál,
Vz – vzduch, DL – datalogger, S₁ – snímač teploty okolia, S₂ – sonda termoanemometra,
S_t – snímače teploty povrchu, P – prepínač meracích miest, M – multimeter*

Záver

Zvyšovanie efektivity prenosu tepla v rôznych teplovýmenných zariadeniach je aktuálnou problematikou nielen z hľadiska šetrenia energie a financií, ale aj z pohľadu environmentálneho. Tvorba medzných vrstiev má významný vplyv na proces výmeny tepla a preto je potrebné smerovať záujem študentov aj do tejto oblasti. Navrhnutá experimentálna zostava je výbornou didaktickou pomôckou vo vyučovacom procese pre doplnenie teoretických poznatkov z oblasti procesov výmeny tepla a pre realizáciu experimentálnych meraní a výskum medzných vrstiev. Využitím vhodných vizualizačných metód možno v okolí teplovýmenných povrchov vizualizovať teplotné polia (medzné vrstvy) a následne kvalitatívne aj kvantitatívne vyhodnocovať lokálne a stredné koeficienty prestupu tepla.

Literatúra

1. FERSTL, K. 1995. *Vybrané state z prúdenia a prenosu tepla*. Bratislava: ES STU, 1995. 238 s. ISBN 80-227-0756-2.
2. JÍCHA, M. 2001. *Prenos tepla a látky*. 1.vyd. skriptum FSI VUT Brno : CERM, 2001. 160 s. ISBN 80-214-2029-4.
3. PIVARČIOVÁ, E. – ČERNECKÝ, J.: *Analysis of temperature fields in wood combustion*. 4th International Scientific Conference on Wood and Fire Safety, Strbske Pleso Slovakia, 2000, Pg. 259-264, ISBN 80-228-0774-5.

Príspevok je riešený v rámci grantového projektu VEGA 1/0498/10.

Lektoroval: doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc.

Kontaktná adresa:

Zuzana Brodnianská, Ing.,
Katedra environmentálnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen, SR,
tel. 00421455206678,
e-mail: brodnianska@vsld.tuzvo.sk

Ján Koniar, Ing.,
Katedra environmentálnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen, SR,
tel. 00421455206678,
e-mail: koniar@vsld.tuzvo.sk