

SOUČASNÉ MĚŘENÍ RYCHLOSTI A TEPLoty ŽHAVENOU SONDOU SE DVĚMA ČIDLY

Simultaneous measurement of velocity and temperature with two-sensor hot-wire probe

Pavel Antoš

Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i., Praha

Úvod

Současně lze měřit rychlost a teplotu pomocí termoanemometrické sondy se dvěma čidly, která jsou žhavena na různé teploty. Čidlo sondy je citlivé současně na rychlost a teplotu proudu. Pro měření rychlosti by měl být rozdíl teploty čidla a teploty proudu co největší. Tehdy má čidlo velkou citlivost na rychlost. Citlivost čidla na teplotu je naopak nejvyšší při minimálním žhavení.

Pro žhavení sond se běžně používají dva způsoby: žhavení na konstantní teplotu čidla (CTA) a žhavení konstantním proudem (CCA). Z teoretického rozboru modelu CTA obvodu (Antoš 2007) vyplývá, že z důvodu dynamického nastavení je skutečné žhavení odchýleno od nastavené hodnoty. Tuto odchylku nelze zanedbat právě v oblasti nízkého žhavení, které je vhodné pro měření teploty. Pro určení skutečné hodnoty žhavení by bylo nutno provést speciální kalibrační proceduru. Z tohoto důvodu je lépe pro žhavení teplotoměrů čidel použít metodu konstantního proudu CCA.

Rekonstrukce signálu

Drátková sonda je tvořena jedním rychlostním a jedním teplotoměrným čidlem. Zaměřme se nyní na frekvenční vlastnosti teplotoměrného drátku. Z rovnice tepelné rovnováhy drátku a ochlazovacího zákona lze odvodit teoretický vztah pro časovou konstantu drátku τ v režimu CCA:

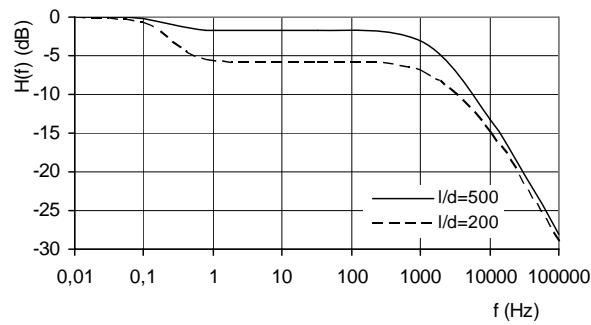
$$\tau = d_w^2 \rho_w c_w \frac{1}{4Nu\lambda_g} = m_w c_w \frac{R_w - R_a}{\alpha_0 R_0 R_a I^2}, \quad (1)$$

kde d_w je průměr drátku, ρ_w je hustota drátku, m_w je hmotnost drátku, c_w je tepelná kapacita drátku, R_w je střední odpor žhaveného drátku, R_a je odpor nežhaveného drátku při střední teplotě tekutiny, R_0 je odpor drátku při referenční teplotě, ke které je vztážen teplotní součinitel odporu drátku α_0 (teplotní součinitel odporu druhého řádu se neuvažuje) a konečně I je střední hodnota proudu protékajícího drátkem.

Z časového průběhu měřené teploty T_M lze teoreticky rekonstruovat skutečnou teplotu tekutiny T :

$$T(t) = T_M(t) + \tau \frac{dT_M(t)}{dt}. \quad (2)$$

Typický průběh přenosové funkce drátkové sondy ukazuje následující graf pro dvě různé štíhlosti drátku.

Graf 1. Přenosová funkce drátku $H(f)$

Jak je z grafu patrné, přenosovou funkci drátku $H(f)$ lze považovat v jisté oblasti za konstantní. Je ohraničena hodnotami frekvencí, které odpovídají časové konstantě elektrod sondy (držáků drátku) τ_0 a časové konstantě drátku τ . Velikost přenosové funkce v této oblasti H_0 lze určit (Freymuth 1979):

$$H_0 = 1 - \frac{1}{\Lambda} \sqrt{Nu\lambda_g/\lambda_w} \quad ; \quad 1/2\pi\tau_0 \ll f \ll 1/2\pi\tau, \quad (3)$$

kde Λ je štíhlost drátku, λ_g je tepelná vodivost tekutiny, λ_w je tepelná vodivost drátku. Zásadní vliv na přenosovou funkci má geometrie sondy; čím je větší štíhlost drátku, tím k menšímu zkreslení signálu dochází. Pro fluktuace skutečné teploty lze psát:

$$\Delta T = H_0^{-1} \Delta T_M \quad (4)$$

Prakticky lze měřenou teplotu numericky korigovat s použitím diskretní Fourierovy transformace. Rekonstruovaná teplota tekutiny T bude dána součinem FFT s inverzní přenosovou funkcí.

Závěr

Současné měření rychlosti a teploty lze realizovat pomocí termoanemotrické sondy se dvěma čidly. Teploměrný drátek je žhaven konstantním proudem a při měření turbulentních charakteristik jeho frekvenční vlastnosti vyžadují rekonstrukci signálu. Numericky lze měřenou teplotu korigovat pomocí diskretní Fourierovy transformace.

Literatura

- Antoš, P. (2007): *Correct interpretation of the CTA measurements at low overheats*. Engineering Mechanics 2007. Praha. Institute of Thermomechanics AS CR, v.v.i.: 7-8. ISBN 978-80-87012-06-2.
- Elsner, J. W., Drobniak, S. (1995): *Metrologia turbulencji przepływów*. Maszyny Przepływowe Tom 18. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk. Wrocław. ISBN 83-04-04289-4.
- Freymuth, P. (1979): *Engineering estimates of heat conduction loss in constant temperature thermal sensors*. TSI Quaterly 5: 3-9.

Poděkování

Poděkování projektu PP 07-01089 (ÚT AV ČR).