

INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2005

NÁRODNÍ KONFERENCE s mezinárodní účastí Svratka, Česká republika, 9. - 12. května 2005

ON PHYSICS OF A SYNTHETIC JET

V.Uruba¹

Summary: Velocity field of a synthetic jet has been investigated experimentally. The synthetic jet is generated by electro-dynamical system designed for control of free shear layer. To catch unsteady periodical structures the phase average method is applied to time series of instantaneous velocities.

1. Úvod

Syntetizované paprsky mohou být vybuzeny pomocí generátoru s pohyblivou stěnou, jsou tvořeny okolní tekutinou. Systematickému studiu fyzikálního mechanismu vzniku syntetizovaných paprsků se věnoval Prof.Glezer ([1]).

Syntetizovaný paprsek je jednou z alternativ efektivního buzení mezních a jiných smykových vrstev za účelem jejich aktivního řízení. Přehled těchto možností je uveden např. v [5].

2. Uspořádání experimentu

V předkládaném příspěvku se zaměříme na nestacionární charakteristiky proudového pole. Proto byla zvolena metoda žhavených senzorů. Jednak byla použita sonda s jedním kolmým drátkem DANTEC 55P01, která indikovala hodnotu modulu vektoru rychlosti bez ohledu na jeho směr a dále speciální tří-filmová sonda s válcovým senzorem DANTEC 55R93. Tato sonda je schopna indikovat modul i směr vektoru rychlosti v dané rovině.

Zkoumaný generátor syntetizovaného paprsku byl použit při zkoumání receptivity volné smykové vrstvy. Výsledky těchto experimentů byly publikovány v [2, 3, 4]. Schéma generátoru syntetizovaného paprsku je na obr.1. Elektromagnetický budič obsahuje pohyblivou membránu, vzduch z dutiny vystupuje a vstupuje do ní štěrbinou o šířce 1 mm a délce 76 mm. Paprsek je generován v místě modré dvojité šipky. Byl zaveden souřadný systém s osou z totožnou s osou symetrie ústí dutiny budiče. Osa samotného budiče je skloněna pod úhlem 45°. Osa *y* je potom kolmá k ose *z*, počátek je ve vzdálenosti 1 mm od ústí – viz obr.2. Všechna měření jejichž výsledky jsou zde uváděny byla prováděna v rovině kolmé na štěrbinu procházející jejím středem (x = 0). Byla také kontrolována rovnoměrnost proudového pole podél štěrbiny (různé hodnoty *x*), byla shledána velmi uspokojivou. Můžeme tedy předpokládat, že proudové pole se blíží dvourozměrnému, aspoň v blízkosti ústí.

¹ Ing.Václav Uruba, CSc, Ústav termomechaniky AV ČR, Dolejšova 5, 182 00 Praha 8; tel.: 286 588 547, fax.: 286 584 695; e-mail: <u>uruba@it.cas.cz</u>



syntetizovaného paprsku

Obr.2 – Souřadný systém

3. Výsledky

Nejprve byla zkoumána amplitudo-frekvenční charakteristika budiče, kdy byla měněna frekvence harmonického budicího elektrického proudu při konstantní efektivní hodnotě tohoto proudu (100 mA), sledována byla amplituda rychlosti *Ua* v blízkosti ústí pomocí sondy se žhaveným drátkem. Na obr.3 je ukázána výsledná amplitudo-frekvenční charakteristika. Ukazuje se, že budič uspokojivě pracuje pro frekvence od 300 do 600 Hz. Při frekvenci asi 350 Hz vidíme významnou špičku na amplitudo-frekvenční charakteristice odpovídající první rezonanci. Poměrně ostrá špička je následována oblastí s více-méně konstantní amplitudou charakterizovanou pouze malým snížením její hodnoty. Tento průběh je typický pro



Obr.3 - Amplitudo-frekvenční charakteristika generátoru

akusticko-mechanickou interakci při blízkých vlastních frekvencích, která se odehrává v dynamickém systému generátoru syntetizovaného paprsku. Tato problematika je teoreticky studována např. v [6].

Pro zde uváděné experimenty byla zvolena frekvence 400 Hz. Bylo proměřováno rychlostní pole v okolí ústí (mimo dutinu). Signály z anemometrických sond byly filtrovány dolnopropustným filtrem nastaveným na 30 kHz, vzorkovací frekvence byla 75 kHz. V každém měřeném bodě bylo zaznamenáno 750 000 bodů, délka záznamu tedy byla 10 s. Záznamy byly analyzovány off-line.

Na obr.4a, b jsou ukázány profily modulu rychlosti na ose y a z pro 4 fázové posuvy budicího cyklu – 0, 25, 50 a 75 %. Maximální rychlost vypuzení vzduchu v blízkosti ústí odpovídá přibližně fázi 0 %, zatímco maximum sání je při fázi 50 %. Rychlost je v m/s, poloha v mm. Příčné profily rychlostí vykazují značnou nesymetrii. Na profilech jsou zřetelné sekundární špičky. Profil rychlosti při vypuzovací fázi je značně užší s vyšším maximem než při nasávání. To je způsobeno faktem, že měření neprobíhalo přímo v ústí budiče, respektive uvnitř kanálu, kde by průběh rychlosti měl být v obou fázích zrcadlově obrácený. Na časové posloupnosti podélných profilů můžeme pozorovat postupující vlnu, pro fázi 0 % je maximum rychlosti přibližně v místě z = 0, dochází však k poměrně rychlému útlumu této vlny. Vlnová délka je asi 8 mm, ve vzdálenosti 20 mm je vlnový charakter již téměř nezřetelný.



Obr.4 - Profily fázově středovaného modulu rychlosti kolmo k ose ústí (b) a rovnoběžně s touto osou (b)

Dále byl zkoumán směr vektoru rychlosti odpovídající jednotlivým fázím pomocí filmové sondy. Tyto výsledky ukázaly nesymetrii proudění podle osy z (y = 0), která je zřejmá i z obr.4a. Na obr.5a-d je y-profil vektorů fázově středované rychlosti opět pro 4 fáze pracovního cyklu ve vzdálenosti z = 0. Je zřejmé, že sání probíhá velmi nesymetricky – téměř výhradně z levé strany pod úhlem asi 45°. Výtlak je naproti tomu poměrně symetrický.



Obr.5 – Fázově středované profily vektorů rychlosti napříč ústím

Nesymetrie je způsobena nesouosostí těla budiče a jeho výstupního kanálu. Překvapivé je, že při sací fázi (50 %) dochází k pohybu dovnitř štěrbiny pouze v úzké oblasti ve směru osy těla budiče (z leva pod úhlem asi 45°), zatímco v ostatních částech pokračuje vypuzování. Množství tekutiny procházející kolmo k profilu by v obou fázích mělo být přibližně stejné, je však třeba uvážit, že při sací fázi může tekutina proudit do ústí také mezi stěnou a polohou osy profilu (vzdálenost je 1 mm). Dále je zřejmé strhávání tekutiny ze stran směrem ke středu oblasti, které funguje jak při sání tak také při výtlaku.

Rozložení modulu rychlosti při jednotlivých fázích je na obr.6a-d, na obr.7a-d je potom rozložení směrodatných odchylek. Výsledky ukazují pohyb oblasti s maximální hodnotou modulu rychlosti během jednotlivých fází. Oblastem s maximem modulu rychlosti odpovídají také oblasti s maximem fluktuací rychlosti. Hodnota modulu rychlosti ubývá ve směru osy z velmi rychle, zatímco energie fluktuací ubývá daleko pomaleji. Také rozšiřování zasažené oblasti je v případě fluktuací podstatně rychlejší. Je zřetelná také nesymetrie proudového pole, která se týká zvláště sací fáze 25 a 50 % na obr.6.



Obr.6 – Fázově středované rozložení modulů rychlosti



Obr.7 - Fázově středovaná pole směrodatných odchylek modulů rychlosti

Za účelem zkoumání směru vektorů rychlosti byla také pomocí tří-filmové sondy změřena a vyhodnocena fázově středovaná vektorová pole, jsou na obr.8a-d. Výsledky potvrzují výše uvedené závěry a dále ukazují postupné zvlnění střednice paprsku, které zřejmě souvisí s nesymetrií budiče. Ve vzdálenosti z vetší než 10 mm jsou vektory fázově středované rychlosti téměř paralelní s osou z a jejich profily mají typický průběh jako v případě klasického paprsku, prakticky nezávisí na fázi buzení.



Obr.8 - Fázově středovaná pole vektorů rychlosti

Na obr.9 jsou výkonová spektra průběhů rychlosti změřená v různých vzdálenostech od ústí generátoru na jeho ose (z). V bezprostřední blízkosti ústí generátoru paprsku je na spektru patrná velmi výrazná špička na frekvenci buzení a také vyšší harmonické složky až do velmi vysokých řádů (10 a více). Při vzdalování od ústí se poněkud snižuje špička odpovídající budicí frekvenci. Vyšší harmonické složky velmi rychle zanikají, vymizí již ve vzdálenosti z = 8, první harmonická přetrvává až do velmi velkých vzdáleností. Spektrum i ve vzdálenosti 190 mm ukazuje na nevyvinuté turbulentní proudění, kdy je útlum na vysokých frekvencích značně vyšší než odpovídá exponentu -5/3, který předpovídá Kolmogorovova teorie (viz obr.9).



Obr.9 – Výkonová spektra na ose paprsku

4. Závěr

Byly podrobně zkoumány nestacionární charakteristiky proudění generovaného generátorem syntetizovaného paprsku. Byl kvantifikován vliv nesymetrií v konstrukci generátoru na výsledné proudové pole.

Vypuzovací fáze je symetrická podle osy ústí generátoru. Sací fáze je podstatným způsobem ovlivněna konstrukcí generátoru. Při výtlaku je energie soustředěna do malého úhlu, to způsobuje poměrně vysoké lokální rychlosti. Při sací fázi je ovlivněná oblast podstatně širší, ovšem pouze v bezprostřední blízkosti ústí generátoru, indukované rychlosti mají menší velikost. Ve větší vzdálenosti od ústí generátoru (5 mm a více v našem případě) je vliv nesymetrií v konstrukci generátoru prakticky zanedbatelný.

5. Poděkování

Práce v souvislosti s uveřejněnými výsledky byly provedeny za finanční podpory projektu Grantové agentury AV ČR č.A2076403.

6. Literatura

[1] Glezer, A., Amitay, M., 2002, "Synthetic Jets", Annu.Rev.Fluid.Mech., 34.

[2] Matějka, M., Uruba, V., 2004, "Interakce volné smykové vrstvy se syntetizovaným paprskem", In: Colloquium fluid dynamics 2004 : proceedings. (Ed.: Jonáš, P. - Uruba, V.), Praha, Ústav termomechaniky AV ČR, Colloquium fluid dynamics 2004, Praha 04.11.03-04.11.05, pp.123-126.

[3] Uruba, V., Matějka, M., 2004, "On the receptivity of a free shear layer to synthetic jet excitation", In: Colloquium fluid dynamics 2004 : proceedings. (Ed.: Jonáš, P. - Uruba, V.), Praha, Ústav termomechaniky AV ČR, Colloquium fluid dynamics 2004, Praha 04.11.03-04.11.05, pp.201-204.

[4] Uruba, V., 2004, "Receptivity of a free shear layer to excitation by a synthetic jet", (Ed.: Delville, J. - Bonnet, J. P. - Alvi, F.), Poitiers, Universite de Poitiers, 2004, 1st European Forum on Flow Kontrol, Poitiers 04.10.11-04.10.14, pp.83-85.

[5] Uruba, V., 2004, "Flow control using synthetic jet actuators". In: Engineering mechanics 2004 : book of extended abstracts. (Ed.: Zolotarev, I. - Poživilová, A.), Praha, Ústav termomechaniky AV ČR, 2004, 25-26 Engineering mechanics 2004 - Svratka 04.05.10-04.05.13, CDROM 20p.

[6] Uruba, V., 2004, "Synthetic Jet Actuators Design", In: Topical problems of fluid dynamics 2004 : proceedings. (Ed.: Příhoda, J. - Kozel, K.), Praha, Ústav termomechaniky AV ČR, February 25, 2004, Prague, pp.169-174.