

30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Elektrolytická vizualizace úplavu za taženým tělesem

Hana LISOVÁ¹, Jiří UNGER²

¹ Ing. Hana Lisová, Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, hana.lisova@tul.cz

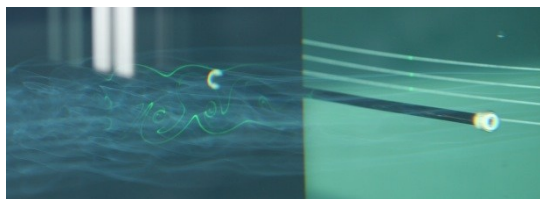
² Doc. Ing. Jiří Unger, CSc., Technická univerzita v Liberci, Studentská 2, jiri.unger@tul.cz

Abstrakt: Článek se zabývá vizualizací úplavu za taženým válcem pomocí elektrolytického uvolňování cínu. Vizualizace se prováděla při různých Reynoldsových číslech a pro osvit uvolňovaného cínu byl použit laserový řez (kontinuální laser Nd:YVO4, vlnová délka světla 532 nm s výkonem < 500 mW).

1. Úvod

Široce zkoumaným jevem je vznik periodické vírové stezky za tělesem, generace pulzních nestacionarit a závislost mezi Reynoldsovým číslem (dále jen Re) a číslem Strouhalovým. V literatuře jsou uváděny různé metody a možnosti vizualizace úplavu. Závislost Re čísla na Strouhalově číslu byla prozkoumána mj. Roshkem v roce 1954 [5]. Za poslední léta se jeho graf stal „modlou“ pro další výzkumné týmy, které přinesly do světa vědy zpřesnění závislosti a obohacení o vzájemný vztah $St-Re$ i při neizotermním úplavu ([1], [2], [3], [4], [7], [8]).

Tažná nádrž, zkonstruovaná na Katedře energetických zařízení, umožňuje eliminovat vliv „paměťových jevů“ před obtékaným válcem.



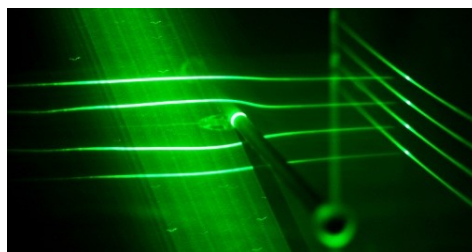
Obrázek 1: Vizualizace úplavu za tělesem při „normálním světle“, bez použití laseru.

2. Popis experimentu

V tažné nádrži je vodou tažen válec, za kterým se tvoří úplavové koherentní struktury (obrázek 1). Běžné používané rychlosti pojezdu po měření se pohybují v rozmezí 0,39 - 4,8 cm/s, které odpovídají Re číslu 40 – 210. Vlastní rychlost pojezdu se nastavuje pomocí počítače v prostředí programu EPOS v otáčkách za minutu. Re číslo taženého tělesa v nádrži je vázáno na lokální teplotu vody (viz interní zpráva KEZ „Výpočet výkonu ohříváče

sledovaného válce“). Kármánova vírová stezka zde však není modifikována intenzitou turbulence nabíhajícího toku. V tažné nádrži je voda sycena sodným roztokem NaCl, pro zvýšení její vodivosti.

Vizualizace úplavu cínovou metodou patří mezi metody neinvazivní. Provádí se elektrolytickým uvolňováním cínu ze čtyř drátů, které jsou předřazeny 60 mm před osou válce. Na obrázku č. 2 je vizualizován stabilní úplav za válcem. Rychlost pohybu byla nastavena, aby velikost Re odpovídala hodnotě 46, protože zde ještě nedocházelo k překmitnutí úplavu přes osu válce. Na dalším obrázku č. 4 lze vidět pravidelné odtrhávání vírů, které je lépe zřetelné při použití laserového řezu, nežli v případě obrázku č. 1, kde jsou vidět cínové ionty jen jako světlý oblak a struktury tak celkově splývají.



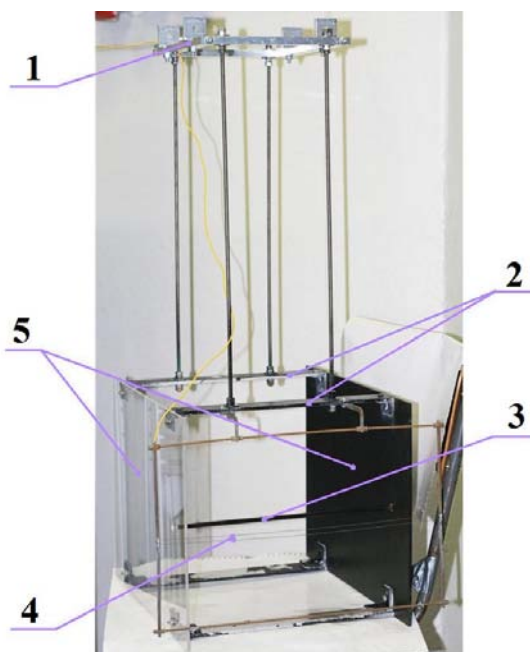
Obrázek 2: Vírová stezka za válcem při Re čísle 46 (osvit laserovým řezem)

3. Princip měření

Anodu tvořily cínové drátky o průměru 0,5 mm, které byly připevněny ke kostře pojezdu. Katodu tvořil měděný plech, umístěný v tekutině, na dně nádrže. Stejnoseměrný zdroj je vybaven proudovou a napětovou regulací. Pro uvedené snímky byl použit proud 0,1 A a napětí 6,5 V.

Uvolňování cínu lze zvýšit:

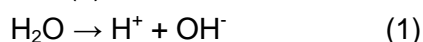
- 1) zvětšením velikosti plochy katody
- 2) zmenšením vzdálenosti anody a katody
- 3) zvýšením vodivosti vody.



Obrázek 3: Dílčí část experimentálního zařízení:

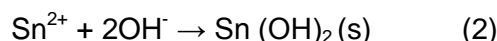
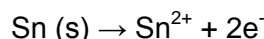
- 1) upínací část k pojezdu, 2) hliníkové spojovací profily, 3) sledovaný válec, 4) generátory vizualizačních částic, 5) plexiskla.

„Voda“ se chová jako elektrolyt a při průchodu elektrického proudu dochází k disociaci, která je popsána rovnicí (1).



Úprava vodivosti vody byla prováděna pomocí změny koncentrace solného roztoku, čemuž odpovídala různá produkce oxidu cínu z drátů. Měrná vodivost vody bez dodatečného přídavku soli činila 0,14 mS/cm. Po následném rozpuštění dostatečného množství kuchyňské soli (cca 3,5 kg NaCl / 3,5 m³ vody) měrná vodivost vzrostla na 2,16 mS/cm. Cín se při průchodu proudu uvolňuje dle rovnice (2) a vytváří „bílý mrak“, který lze vidět na obrázku 1. Velikost cínových iontů byla 0,5 μm. Pro lepší zviditelnění vírové stezky byl použit kontinuální laser, který byl umístěn před nádrží. Pomocí zrcátka a optického válečku byl vytvořen laserový řez, který směřoval do nádrže za sledovaný tažený válec. Takto získaný rovinný laserový řez je dobře patrný na obrázku 2. Obrázek 4 byl pak pořízen vzhledem k optimální vizualizaci při správné

expozici fotoaparátu. Na obou obrázcích (2, 4) je zřetelně patrná odtlačovací mezní vrstva.



Obrázek 4: Vírová stezka za válcem při Re cca 96

4. Závěr

Uvedená vizualizační metoda je odzkoušena jako cejchovní metodika pro následnou analýzu neizotermních úplavů za špatně obtékanými tělesy. Výsledky získané touto metodikou jsou v dobré shodě s publikovanými daty Roshkem i dalšími autory.

5. Poděkování

Článek vznikl za podpory Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky CZ.1.07/2.4.00/12.0001.

6. Literatura

- [1] LECORDIER J.-C., BROWNE L.W.B., LE MASON S., DUMOUCHEL F., PARANTHOËN P.: Control of vortex shedding by thermal effect at low reynolds numbers, Experimental thermal and fluid science 21, 2000, 227–237.
- [2] KIEFT R.N., RINDT C.C.M., VAN STEENHOVEN A.A.: The wake behaviour behind a heated horizontal cylinder, Experimental thermal and fluid science 19, 1999, 183 – 193
- [3] KIEFT R.N., RINDT C.C.M., VAN STEENHOVEN A.A.: Heat induced transition of a stable vortex street, International journal of heat and mass transfer 45, 2002, 2739–2753
- [4] MAAS W.J.P.M., RINDT C.C.M., VAN STEENHOVEN A.A.: The influence of heat on the 3d-transition of the von kármán vortex street, International journal of heat and mass transfer 46, 2003, 3069–3081
- [5] ROSHKO A.: On the development of turbulent wakes from vortex streets, Naca rept. 1191, Washington D.C., 1954
- [6] TANEDA S, HONJI H., TATSUNO M.: The electrolytic precipitation method of flow visualization. In proceedings of the international symposium on flow visualization, Tokyo, Japan, 1977, 133–138
- [7] VÍT T., REN M., TRÁVNÍČEK Z., MARŠÍK F., RINDT C.C.M.: The influence of temperature gradient on the strouhal–reynolds number relationship for water and air, Experimental thermal and fluid science, 2006
- [8] WILLIAMSON C.H.K.: Three-dimensional vortex dynamics in bluff body wakes, Experimental thermal and fluid science 12, 1996, 150 – 168