

Studio effettuato per provare l'efficacia delle fossette su di un corpo cilindrico affusolato

E' noto che la coppia simmetrica formata dal vortice sul lato sottovento di corpi affusolati diventa asimmetrica quando l'angolo di attacco è al di là di un valore critico, portando le forze a valori indesiderati [1]. La spiegazione proposta di questo fenomeno varia da ipotesi di instabilità idrodinamiche (compresi convettivo e / o instabilità assoluta) per la separazione del flusso asimmetrico e/o riattacco [1-4]. Nel corso degli anni le esigenze per la soppressione della formazione di forze laterali hanno portato molti ricercatori a proporre diverse tecniche di controllo di flusso e dispositivi [5,6], come ad esempio strati di fasciame, soffiaggio e aspirazione, irruvidimento della superficie, e arrotondamento della punta a sesto acuto. La ricerca di efficaci e forti mezzi per ridurre la forza laterale di grandi dimensioni è in corso. L'uso di fossette per il controllo di flusso su un piatto piano, circolare cilindrico, o sfera è stata provata [7-9].

Technical Notes

TECHNICAL NOTES are short manuscripts describing new developments or important results of a preliminary nature. These Notes should not exceed 2500 words (where a figure or table counts as 200 words). Following informal review by the Editors, they may be published within a few months of the date of receipt. Style requirements are the same as for regular contributions (see inside back cover).

Side Force Suppression by Dimples on Ogive-Cylinder Body

Y. D. Cui* and H. M. Tsai†
National University of Singapore, Singapore 117508,
Republic of Singapore
DOI: 10.2514/1.39176

Nomenclature

C_p = pressure coefficient, $(P - P_\infty)/\rho q$
 C_y = side force coefficient, $F_y/(qS)$
 D = base diameter of cylinder
 F_y = side force
 h = dimple depth
 L = distance between two rows of dimples
 p = surface pressure
 p_∞ = freestream static pressure
 q = dynamic pressure, $0.5\rho U^2$
 R = radius of cylinder
 Re = Reynolds number, UD/ν
 r = radius of cutting sphere to form dimple
 S = model base area, $\pi D^2/4$
 U = freestream velocity
 α = angle of attack
 θ = azimuthal angle around cylinder cross section measured from the most leeward position
 ν = kinematic viscosity of fluid
 ρ = density of fluid
 φ = roll angle

I. Introduction

IT IS known that the vortex pair formed over the leeward side of a symmetric slender bodies becomes asymmetric when the angle of attack is beyond a critical value, leading to undesirable large side forces [1]. The proposed explanation of this phenomenon varies from hydrodynamic instability hypothesis (including convective and/or absolute-type instability) to asymmetric flow separation and/or reattachment [1–4]. Over the years the needs for suppressing the formation of side forces have led many researchers to propose different flow control techniques and devices [5,6], such as strakes, blowing and suction, boundary-layer trips, surface roughening, and

*Presented as Paper 2008-0368 at the 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Grand Sierra Resort Hotel, Reno, Nevada, 7–10 January 2008; received 17 June 2008; revision received 29 December 2008; accepted for publication 13 January 2009. Copyright © 2009 by the authors. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., with permission. Copies of this paper may be made for personal or internal use, on condition that the copier pay the \$10.00 per-copy fee to the Copyright Clearance Center, Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, include the code 0001-1452/09 \$10.00 in correspondence with the CCC.

†Research Scientist, Temasek Laboratories, 5 Sports Drive 2, Member AIAA.
*Currently at Singapore Science Centre, Singapore 609081, Republic of Singapore.

rounding of the ogive nose tip. The search for effective and robust means in reducing the large side force is ongoing.

The use of dimples for flow control over a flat plate, circular cylinder, or sphere has been reported [7–9]. In the present study, the effectiveness of dimples in suppressing the large side forces over an ogive cylinder body at high angles of attack was examined. To this end, force and surface pressure measurements in a wind tunnel are made to assess their effectiveness, combined with flow visualizations in a water tunnel to provide further insight of the flow caused by the dimples.

II. Experimental Details

The experiments were made in the low speed wind-tunnel (0.45 × 0.45 m test section) and water tunnel (1.0 × 0.75 m test section) at Temasek Laboratories of the National University of Singapore. Figure 1 shows the test rig used for the wind-tunnel tests. The measurements were made at a freestream velocity of about 11.3 ± 0.1 m/s with a freestream turbulent intensity less than 0.4%, corresponding to a Reynolds number of 2.6×10^5 . For the experiment, the model protrudes through a hole on the bottom wall of the wind-tunnel test section (not shown in the figure). The sting (shaft) of the model is connected to a stepper motor to provide roll movement. Both the model and the stepper motor are fixed on an inclined angle mechanism, through which the angles of attack can be adjusted by the predetermined pin holes on it, with an accuracy of about 0.5 deg. The entire mechanism is then mounted on a 6-degree-of-freedom force balance (load cell), which in turn is connected to a rotation gauge with resolution of 1/60 deg to adjust accurately the side-slip angle. For force measurements, the factory calibration data were used. However, the side force component was consistently checked, showing the balance had uncertainty of less than 5% of the locally measured value and drifted about 10% of the locally measured value. We note that the impact of 10% drift on the measurements is minimal and in no way affects the trend of the measurements for different angles of attack. For water tunnel experiments, a similar setup was used except that it was set upside down to avoid interferences from the free surface and for ease of capturing flow images through the bottom window.



Fig. 1 Schematic of the experimental setup for the wind tunnel used.

Nel presente studio, è stata esaminata l'efficacia delle fossette nel sopprimere le forze laterali di grandi dimensioni su un corpo ogivale-cilindrico ad alti angoli di attacco.

A questo fine, la forza e le misure di pressione al suolo in una galleria del vento sono realizzate per valutare l'efficacia, in combinazione con visualizzazioni di flusso in un tunnel d'acqua per fornire una visione più completa del flusso causato dalla fossette.

Dettagli Sperimentali

Gli esperimenti sono stati effettuati con bassa velocità del vento in galleria (0,45x 0,45 m sezione di prova) e la galleria d'acqua (1,0x 0,75 m sezione di prova) presso i Laboratori Temasek della National University di Singapore. La Figura 1 a sinistra mostra il banco di prova utilizzato per le prove in galleria del vento.

Le misurazioni sono state effettuate a una velocità di flusso libero di circa $11,03 \pm 0,01$ m = s con una intensità di flusso libero turbolento di meno dello 0,4%, corrispondente ad un numero di Reynolds di $2,06 \times 10^5$. Per l'esperimento, il modello sporge attraverso un foro sulla parete di fondo della galleria del vento sezione di prova (non mostrato in figura). Il pungiglione (albero), del modello è collegato ad un motore passo-passo per fornire il movimento di rollio.

Sia il modello che il motore passo-passo sono fissati su un meccanismo con angolo inclinato, attraverso il quale gli angoli di attacco possono essere regolati con dei perni in fori predeterminati sullo stesso, con una precisione di circa 0,5 gradi. L'intero meccanismo è poi montato con 6 gradi di libertà in forza di equilibrio (cella di carico), che a sua volta è collegato ad un calibro di rotazione con risoluzione di 1/60 di grado per regolare con precisione l'angolo laterale. Per misure di forza, sono stati utilizzati i dati di calibrazione di fabbrica. Tuttavia, la componente di forza laterale è stata costantemente controllata, indicando la tolleranza nel valore misurato inferiore al 5% del livello locale e alla deriva circa il 10% del valore misurato a livello locale.

Prendiamo atto che l'impatto del 10% deriva da misurazioni è minimo e in nessun modo influisce sull'andamento delle misurazioni per i diversi angoli di attacco. Per gli esperimenti nel tunnel d'acqua, è stata utilizzata una configurazione simile, salvo che esso è stato fissato a testa in giù per evitare interferenze tra la superficie libera e per facilitare l'acquisizione di immagini attraverso la finestra inferiore.



Dimple Point

Perchè una punta per freccia fatta così?



Dimple Point (punta con fossette)

La risposta è nei principi dell'aerodinamica e negli studi fatti nell'usare piccole fossette sulla superficie di un corpo cilindrico-ogivale per spezzare la turbolenza data dall'attrito dell'aria su di un corpo che si muove in un fluido. Tutti i corpi che si muovono in un fluido, e quindi anche le nostre frecce che si muovono nell'aria, sono soggetti alle stesse leggi ed alle stesse forze. Risultati positivi sono stati ottenuti con le auto (meno 10% di consumi e più 20% di velocità) la cui superficie era stata modellata con fossette, come pure esperimenti sono stati fatti addirittura con treni per economizzare i consumi e aumentare le velocità.



La resistenza viscosa è dovuta alle forze che si scambiano il corpo ed il fluido in moto relativo. Il corpo eserciterà sulle particelle di fluido più aderenti ad esso una azione accelerante ed il fluido, per il principio di azione e reazione, provocherà sul corpo una azione frenante. In altre parole, gli strati di fluido immediatamente adiacenti al corpo tenderanno a farlo rallentare a causa della differenza di velocità.

Solo una zona di fluido, generalmente molto sottile, posta in prossimità delle pareti del corpo risente di questo cambiamento di velocità. Questa zona è chiamata strato limite. Lo strato limite può essere di tipo laminare, dove i filetti fluidi sono lamine che seguono il contorno del corpo, oppure turbolento dove i filetti di fluido seguono linee intricate. Lo strato limite può transitare da laminare a turbolento, ma non potrà mai tornare spontaneamente laminare. La transizione da laminare a turbolento viene favorita dall'aumentare della velocità e dalla rugosità superficiale del corpo.

Lo strato limite turbolento presenta lo svantaggio di generare una resistenza maggiore rispetto a quello laminare, ma ha la caratteristica di rimanere più aderente al corpo che si muove. Questo è un enorme vantaggio in quanto il distacco dello strato limite genera scie e vortici che fanno aumentare di molto la resistenza totale del corpo.

In altre parole: se consideriamo due corpi uguali, uno rugoso ed uno liscio, che si muovono in un fluido, avremo un piccolo aumento di resistenza del corpo rugoso rispetto a quello liscio, compensato però grandemente dalla riduzione della resistenza provocata dalle scie aerodinamiche.

Da misure effettuate in tunnel con vento moderato dimostrano che le forze laterali possono essere sopresse anche con 40° di angolo di attacco senza provare le modalità tipiche degli oggetti lisci di forma ogivale-cilindrica.

Side Force Suppression by Dimples on Ogive-Cylinder Body at High Angles of Attack

Y.D. Cui¹ and H.M. Tsai²

National University of Singapore, Singapore 117508, Singapore

The effects of dimpled surface on the side forces and the separated vortex flow over an ogive-cylinder body at high angles of attack are experimentally investigated. Force measurements in a low speed wind tunnel show that the side forces can be suppressed even at 40° angle of attack without experiencing the distinctive bi-stable mode typical of smooth ogive-cylinder bodies. The pressure distributions show a more leeward turbulent flow separation. Low speed flow visualizations in a water tunnel show that the intermittently turbulent vortex structures from the different dimples influence the separation line and hence the main vortices. This results in the formation of a weaker unsteady symmetric vortex pair which greatly reduces the side forces at high angles of attack. This use of dimples for side force suppression is robust with respect to variations in roll angles.

Le distribuzioni di pressione mostrano un flusso più turbolento sottovento.

Visualizzazioni in un tunnel d'acqua a bassa velocità mostrano che l'intermittenza del vortice di turbolenza viene influenzata dalle fossette influenzando la linea di separazione e quindi il vortice principale.

Ciò comporta la formazione di una debole instabilità simmetrica di vortice che riduce notevolmente le forze laterali ad alti angoli di attacco.

Questo uso delle fossette per la repressione delle forze è migliore rispetto alle variazioni di angoli di rollio.

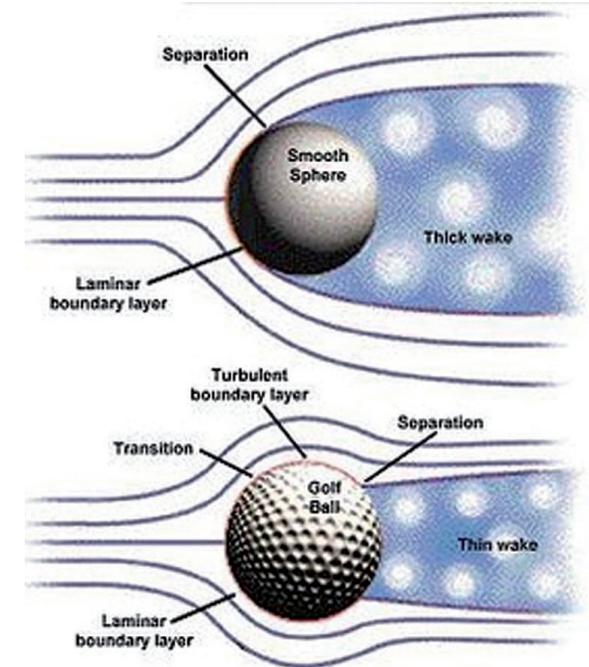
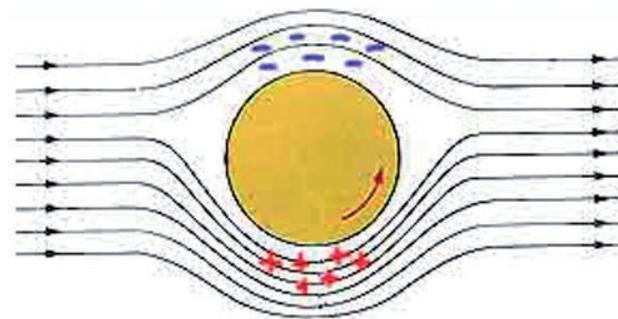
L'applicazione più usata è sicuramente quella che si vede sulle palline da golf che per le loro caratteristiche volano più lontano di sfere normali ed in più mantengono gli "effetti" dati dalla mazza. Le palline da golf hanno le fossette per volare più a lungo, e di conseguenza più lontano, grazie ad un fenomeno noto come "Effetto Magnus". Tralasciando gli effetti di rotazione laterale ci occuperemo di quell'effetto che viene chiamato BACKSPIN:

Tale effetto unito alle fossette permette di:

- accelerare le molecole d'aria che sono sopra la palla
- decelerare le molecole d'aria che sono sotto la palla

Tale fenomeno crea una depressione (meno molecole d'aria) sopra la palla ed una concentrazione (più molecole d'aria) sotto la palla, creando una portanza, una forza di sostentamento che contrasta la forza di gravità, un po' come avviene per le ali di un aereo. Le fossette sulla pallina da golf sono state appositamente introdotte in quanto migliorano la penetrazione aerodinamica della pallina.

Nette punte di freccia questo risultato è uguale e mantiene la freccia in volo di più e con traiettoria più diritta, anche per la rotazione dell'asta sul suo asse.



Ma altri due aspetti sono da considerare, il *vento laterale* e l'*inclinazione* della freccia data dalla parabola.

Nel primo caso la spinta laterale per il vento viene ridotta sempre per l'effetto delle fossette nella parte più pesante della freccia che è anche quella che ne determina la traiettoria, mentre per quanto riguarda l'inclinazione della freccia data dalla parabola si hanno effetti positivi proprio sulla tenuta del volo, come evidenziato dallo studio sperimentale dell'Università Nazionale di Singapore.

Non è una scoperta nuova ma allora perchè non si è utilizzata prima?

Nelle discussioni fatte in anni precedenti ci si era limitati allo studio su punte ad ogiva molto corta tipo nibb, che perciò non avevano la superficie sufficiente per la creazione di "dimples" o fossette.

La turbolenza perciò iniziava appena dopo la punta. Con le nostre punte invece, più lunghe dall'ogiva all'asta, la turbolenza viene spezzata subito ed all'asta arriva già ridotta. Dimostrazione scientifica si ha con l'articolo allegato "Side Force Suppression by Dimples on Ogive-Cylinder Body", autori Y. D. Cui and H. M. Tsai della National University of Singapore, pubblicata dall' American Institute of Aeronautics and Astronautics.