

Nghiên cứu thực nghiệm giảm lực cản dòng chảy rối bằng riblet

Experimental study of reducing the drag of turbulent flow using riblet

Nguyễn Văn Kỵ^{1,*}, Nguyễn Văn Thành², Nguyễn Anh Tuấn¹, Nguyễn Văn Lập¹

¹Trường Đại học Thủy lợi

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: nguyenvankuubn@gmail.com

Mobile: 0943890858

Tóm tắt

Từ khóa:

Giảm lực cản, riblets, kênh dẫn hình chữ nhật.

Nghiên cứu thực nghiệm giảm lực cản đã được các nhà khoa học thực hiện bằng nhiều phương thức khác nhau như sử dụng chất phụ gia polymer, surfactant... Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung vào nghiên cứu thực nghiệm hiện tượng giảm lực cản trong đường ống có mặt cắt hình chữ nhật bề mặt sử dụng Riblet. Kết quả thực nghiệm cho phép thảo luận về khả năng ứng dụng hiện tượng giảm lực cản trong các đường ống có mặt cắt khác nhau.

Abstract

Keywords:

Drag reduction, riblet, rectangular channel.

Experimental study of drag reduction was carried out using various methods such as using polymer additive, surfactant additive etc. In this study, we concentrated on the experimental study of drag reduction in a rectangular cross-section pipe using riblets. The experimental results enabled discussions on the application of drag reduction in pipes with different cross-sections.

Ngày nhận bài: 20/7/2018

Ngày nhận bài sửa: 04/9/2018

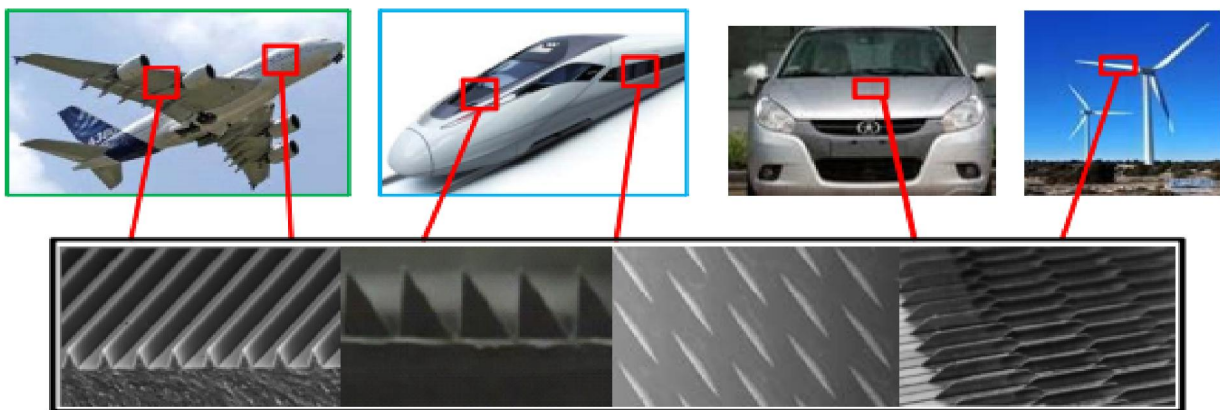
Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, giảm lực cản đã trở thành một lĩnh vực quan trọng của nghiên cứu động lực học chất lỏng. Hiện nay, có rất nhiều ứng dụng kỹ thuật trong hàng không, hàng hải, phương tiện mặt đất, và trong đường ống dẫn (hình 1)...có thể được hưởng lợi rất nhiều từ giảm lực cản. Mặt khác, chi phí nhiên liệu tăng cao đã nhấn mạnh rất nhiều tính hữu ích và sự cần thiết của việc phát triển các phương pháp giảm lực cản.

Có nhiều phương pháp giảm lực cản hiện nay như phun microbubbles [1], sử dụng chất phụ gia Polymers [2], phủ lớp ngoài [3], sử dụng bề mặt kỵ nước [4], và sử dụng Riblet [5]. Riblets, hoặc rãnh tường được sản xuất trong một bề mặt, là các thiết bị giảm sức cản, nghiên cứu ban đầu về giảm lực cản trên các bề mặt Riblet được thực hiện bởi Walsh [6-9] tại trung tâm nghiên cứu Langley của NASA. Walsh đã nghiên cứu một số loại bề mặt sần khác nhau và thấy rằng việc giảm lực cản đến 8% có thể thu được với điều kiện là s^+ và h^+ nhỏ hơn 25, trong đó s là khoảng cách Riblet và h là chiều cao Riblet. Các nghiên cứu sâu hơn cho thấy các Riblet dạng

sườn có mức giảm lực cản cao nhất, Riblet có biên dạng hình vỏ sò có mức giảm nhiều thứ hai, và Riblet hình răng cưa mang lại lợi ích tối thiểu [5]. Sau thí nghiệm của Walsh, nhiều thí nghiệm khác đã được thực hiện. Bechert et al. [10, 11] đã nghiên cứu kỹ lưỡng các cấu hình khác nhau của Riblet bao gồm Riblet hình chữ nhật, vỏ sò và hình dạng da cá mập. Các loại Riblet đã được chế tạo với nhiều loại polymer và kim loại khác nhau cùng với việc sử dụng nhiều quy trình sản xuất và lắp ráp khác nhau. Quy trình sản xuất thực tế phụ thuộc vào nhiều yếu tố như chi phí, hình dạng hình học, độ bền, độ chính xác, vật liệu cơ sở, các thiết lập thử nghiệm, sự tương thích hóa học và các kích thước thiết lập cho mẫu. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung vào nghiên cứu thực nghiệm hiện tượng giảm lực cản trong đường ống có mặt cắt hình chữ nhật bề mặt sử dụng Riblet hình tam giác. Kết quả thực nghiệm cho phép thảo luận về khả năng ứng dụng hiện tượng giảm lực cản trong các đường ống có mặt cắt khác nhau.



Hình 1. Ứng dụng của Riblet trong các lĩnh vực hàng không, năng lượng, và ô tô

Khi dung dịch vận chuyển trong kênh có mặt cắt hình chữ nhật, hệ số ma sát là hàm số của số Reynolds. Số Reynolds được định nghĩa theo công thức:

$$Re_w = \frac{D_h V}{\nu_w} \quad (1)$$

Trong đó :

- ν_w : độ nhớt động học của nước, (Pa.s);
- D_h : đường kính thủy lực của kênh, $D_h = 2wh/(w+h)$;
- V : vận tốc trung bình, (m/s);
- w : chiều rộng của kênh, (m);
- h : chiều cao của kênh, (m);

Hệ số ma sát λ được tính theo công thức:

$$\lambda = \frac{D_h}{L} \cdot \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho V^2} \quad (2)$$

Trong đó : Δp : độ giảm áp giữa hai đầu đo có khoảng cách L .

ρ : khối lượng riêng của dung dịch (kg/m^3)

L : chiều dài đoạn ống xác định gradient áp suất

Tại vùng chảy tầng hệ số ma sát được xác định theo công thức:

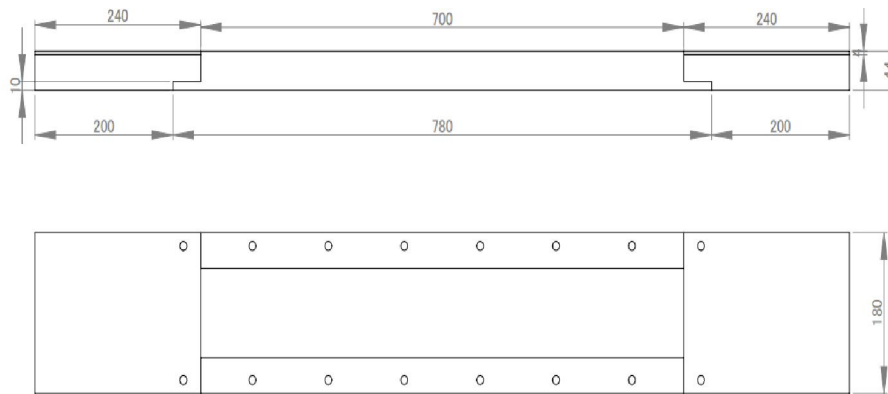
$$\lambda = \frac{64}{Re_w} \quad (3)$$

Trong vùng chảy rối, hệ số ma sát được tính theo công thức Blasius:

$$\lambda = 0,3164 Re^{-0,25} \quad (4)$$

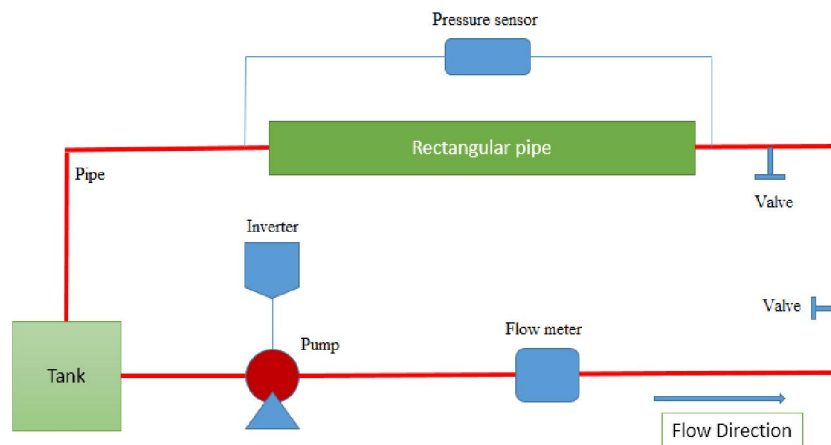
2. THIẾT LẬP THÍ NGHIỆM

Để thí nghiệm, nhóm nghiên cứu đã chế tạo một kênh hình chữ nhật bằng nhựa acrylic có thông số kỹ thuật như trên hình 2. Các vị trí đo được thực hiện ở thượng lưu và hạ lưu của kênh.



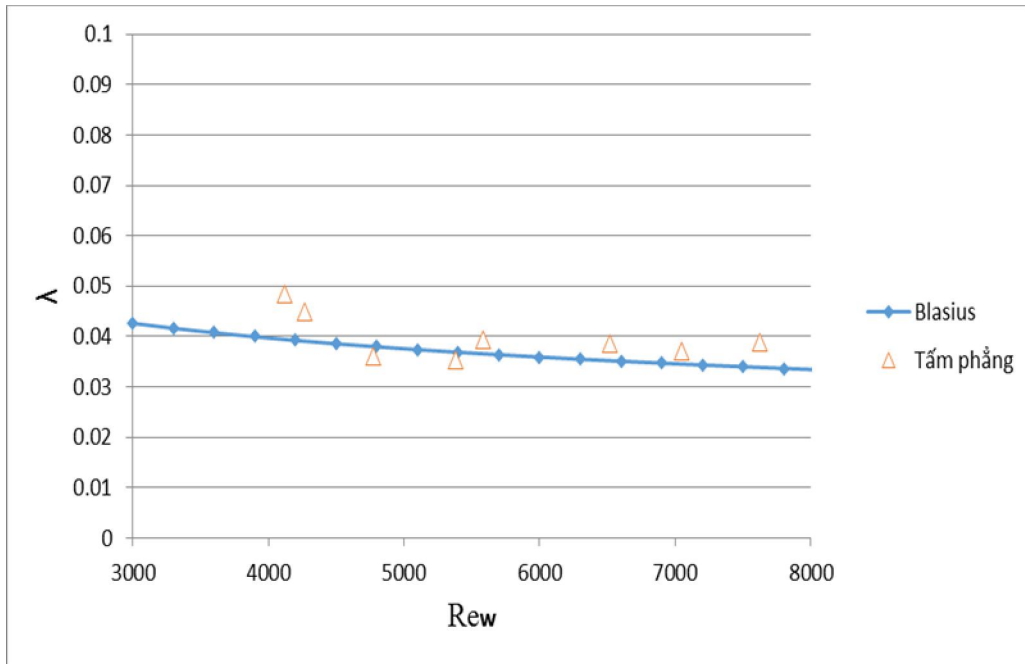
Hình 2. Thông số của kênh hình chữ nhật

Để đo chênh lệch áp suất, nhóm nghiên cứu sử dụng cảm biến áp suất (DP15-22, Validyne, Keyence Corp). Để đo lưu lượng nhóm nghiên cứu sử dụng loại cảm biến lưu lượng FD-M100Y, Keyence Corp. Việc tuần hoàn dung dịch thí nghiệm trong mạch kín sử dụng bơm EBARA Pump-25SCD. Thí nghiệm được thực hiện với nước máy từ vòi cấp của nhà máy nước sạch trong thành phố. Nước được bơm hút từ thùng qua ống dẫn đi qua thiết bị đo lưu lượng đến hệ thống kênh dẫn hình chữ nhật rồi quay về thùng tạo thành một chu trình tuần hoàn khép kín. Chi tiết của mạch thí nghiệm được mô tả như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ mạch thí nghiệm

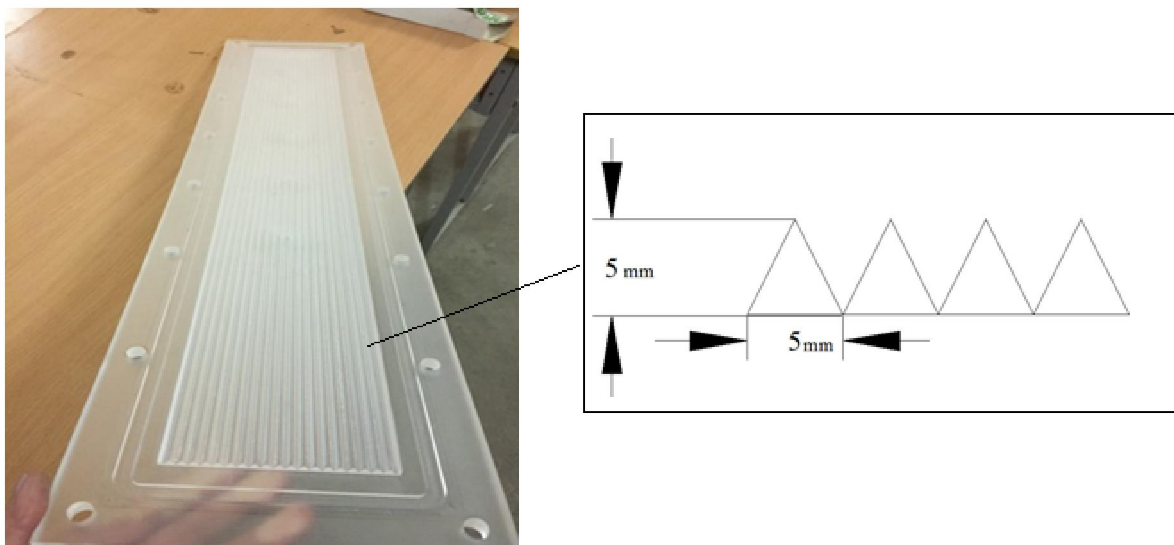
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



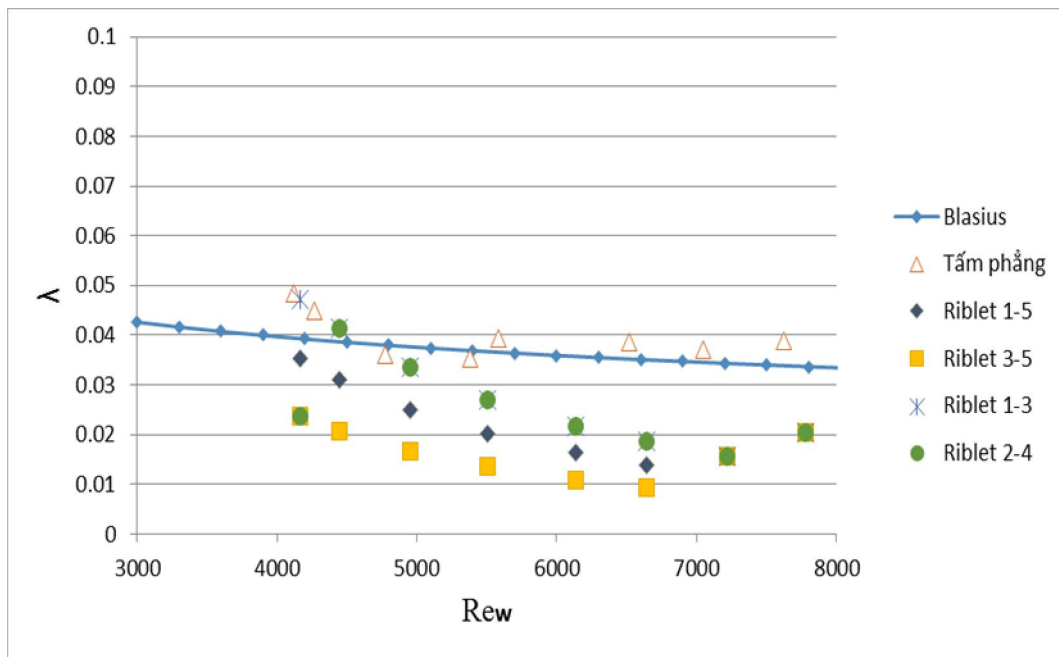
Hình 4. Biểu đồ hệ số ma sát theo Re khi đo với kênh có mặt cắt ngang hình chữ nhật

Bước đầu, nhóm nghiên cứu thực hiện đo trên tấm phẳng. Đường đồ thị biểu diễn hệ số ma sát theo Re trên kênh kín hình chữ nhật khảo sát từ thực nghiệm là tiệm cận với đường theo lý thuyết Blasius (hình 4), chứng tỏ hệ thống thí nghiệm là tương đối chính xác.

Tiếp theo, nhóm nghiên cứu thay thế một mặt biên dạng của kênh hình chữ nhật trên bằng tấm Riblet có biên dạng hình tam giác với kích thước như hình 5.



Hình 5. Ảnh thực tế của tấm biên dạng Riblet (tam giác) được dùng trong thí nghiệm



Hình 6. Biểu đồ so sánh hệ số ma sát theo Re khi đo với kênh có mặt cắt ngang hình chữ nhật và khi thay một mặt hình chữ nhật bằng biên dạng Riblet

Nhận xét:

Trên hình 6, đồ thị biểu diễn hệ số ma sát theo Re trên kênh kín hình chữ nhật có một mặt biên dạng Riblet khảo sát từ thực nghiệm là thấp hơn đường theo lý thuyết Blasius. Chứng tỏ đã có sự giảm lực cản trong kênh kín khi có thêm Riblet.

Ta nhận thấy đường biểu diễn đồ thị hệ số ma sát khi có một mặt biên dạng Riblet giảm dần khi số Re chạy từ 4000 đến 7000 và có dấu hiệu tăng lên khi số Re > 7000.

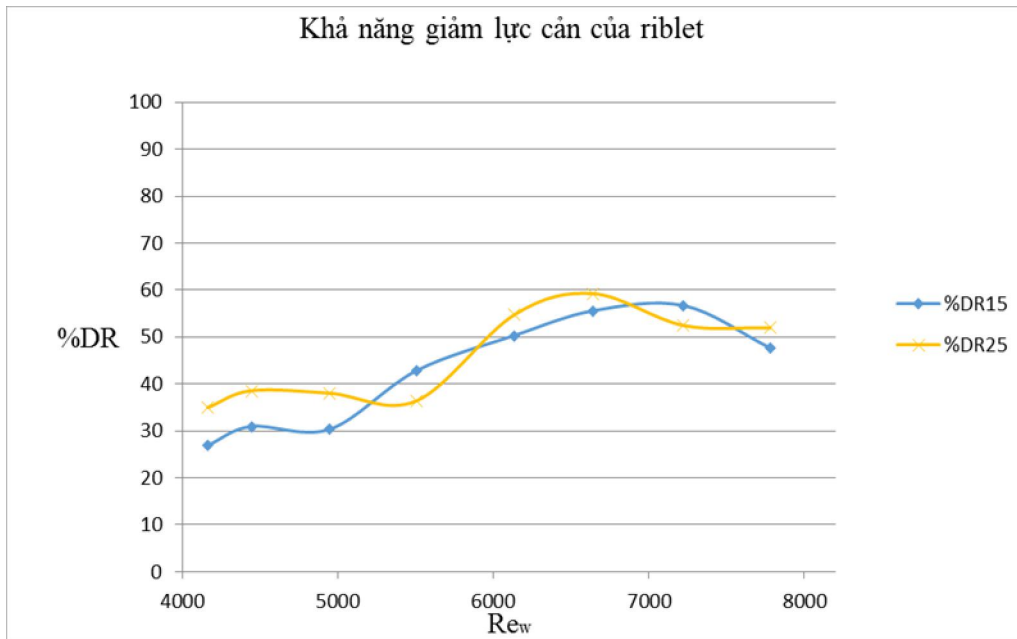
Diện tích và chu vi mặt cắt ngang của hai trường hợp đo là khác nhau nên không thể đánh giá hệ thống nào có hệ số ma sát nhỏ hơn. Tuy nhiên, đánh giá kết quả khi đo trong hai trường hợp với đường lý thuyết Blasius ta có thể đánh giá khi thay một biên dạng Riblet thì hệ số ma sát sẽ giảm. Điều đó sẽ làm giảm năng lượng tiêu hao của bơm giúp phần tiết kiệm năng lượng.

Để so sánh sự giảm lực cản của Riblet (biên dạng tam giác) với biên dạng phẳng trong kênh kín hình chữ nhật. Nhóm nghiên cứu đã đánh giá qua tỉ lệ giảm lực cản (DR) với dòng trong ống chảy rối được tính theo phần trăm (%) như sau:

$$DR(\%) = \frac{\lambda - \lambda_r}{\lambda} \cdot 100 \quad (5)$$

λ : là hệ số ma sát của dòng chảy kênh kín hình chữ nhật với biên dạng phẳng

λ_r : là hệ số ma sát của dòng chảy kênh kín hình chữ nhật với Riblet (tam giác)



Hình 7. Biểu đồ thể hiện sự giảm lực cản của Riblet

Nhận xét:

Trên hình 6 và hình 7 biểu diễn sự so sánh hệ số ma sát theo Re của dòng chảy chất lỏng trong kênh kín mặt cắt hình chữ nhật ta có thể nhận thấy một số đặc điểm như sau:

Biểu đồ cho thấy sự thay đổi hệ số ma sát khi đo dòng chảy trong kênh kín hình chữ nhật biên dạng phẳng và khi ta thay một mặt biên dạng Riblet. Với biên dạng phẳng thì hệ số ma sát tiệm cận với đường lý thuyết Blasius trong khi hệ số ma sát đo với biên dạng Riblet có sự giảm đáng kể so với đường lý thuyết Blasius.

Khi số Reynol tăng dần từ Re = 4000 đến Re = 6600 thì hệ số ma sát có xu hướng giảm. Tại thời điểm Re = 6600 thì hệ số ma sát giảm xuống thấp nhất $\lambda = 0,01$. Khi tiếp tục tăng số Reynol lên Re > 6600 thì hệ số ma sát không tiếp tục giảm nữa mà có chiều hướng tăng lên.

4. KẾT LUẬN

Như vậy bằng những kết quả thực nghiệm và lý thuyết đã nêu trên chúng ta đã thấy được sự giảm lực cản dòng chảy trong kênh dẫn kín mặt cắt hình chữ nhật khi sử dụng thêm biên dạng Riblet. Qua đó chúng ta có thể thấy được những ưu điểm và một số hạn chế của phương pháp sử dụng Riblet trong việc làm giảm lực cản trong kênh kín. Những thành công kể trên còn có thể mở đường cho những phương pháp làm giảm lực cản dòng chảy mới ra đời.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Kodama, Y., Kakugawa, A., Takahashi, T. and Kawashima, H. (2000), "Experimental study on microbubbles and their applicability to ships for skin friction reduction", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 21, No. 5, 582-588.

[2]. Truong, V.T (2001), "Drag reduction technologies", DSTO-GD-0290, DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory.

- [3]. Gad-el-Hak, M (2002), "Compliant coatings for drag reduction", Progress in Aerospace Sciences, Vol. 38, No. 1, 77-99.
- [4]. Bhushan, B. and Jung, Y.C. (2011), "Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction", Progress in Materials Science, Vol. 56, No. 1, 1-108.
- [5]. Dean, B. and Bhushan, B. (2010), "Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: a review", Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 368, No. 1929, 4775-4806.
- [6]. Walsh, M.J. (1980), "Drag Characteristics of V-Groove and Transverse Curvature Riblets", Viscous Flow Drag Reduction, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 168-184.
- [7]. Walsh, M.J. (1982), "Turbulent boundary layer drag reduction using riblets", 20th Aerospace Sciences Meeting, Orlando, Florida, USA, January 11-14.
- [8]. Walsh, M.J. (1983), "Riblets as a Viscous Drag Reduction Technique", AIAA Journal, Vol. 21, No. 4, 485-486.
- [9]. Walsh, M.J. (1990), "Effect of detailed surface geometry on riblet drag reduction performance", Journal of Aircraft, Vol. 27, No. 6, 572- 573.
- [10]. Bechert, D.W., Bruse, M., Hage, W., Van der hoeven, J.G.T. and Hoppe, G. (1997), "Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with an adjustable geometry", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 338, 59-87.
- [11]. Bechert, D.W., Bruse, M. and Hage, W. (2000), "Experiments with threedimensional riblets as an idealized model of shark skin", Experiments in Fluids, Vol. 28, No. 5, 403-412.