



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0053946

(51)^{2021.01} F01D 5/18

(13) B

(21) 1-2022-02990

(22) 12/05/2022

(45) 25/11/2025 452

(43) 25/07/2022 412A

(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

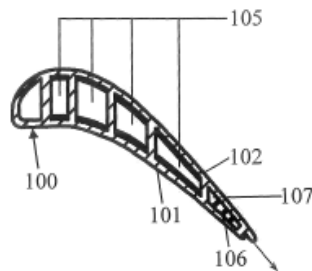
Số 1 Đại Cồ Việt, Quận Hai Bà Trưng, Hà Nội

(72) Đinh Công Trường (VN); Đỗ Công Khánh Duy (VN); Chung Duy Hùng (VN); Lê Văn Minh (VN).

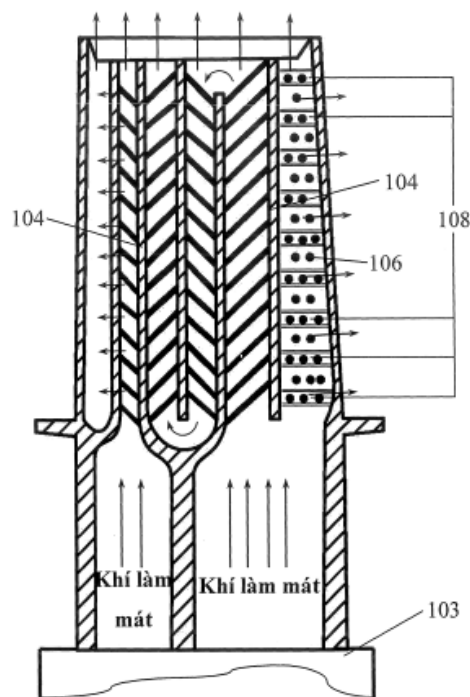
(54) CÁNH TUABIN KHÍ CÓ TƯỜNG NHIỆT THAY ĐỔI TRONG MA TRẬN CỘT

(21) 1-2022-02990

(57) Sáng chế đề cập đến cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi có thành áp cao và áp thấp có gắn các vết lồi/lõm cải tiến trong vách ngăn làm mát với ma trận cột dùng trong động cơ tuabin khí, bao gồm: thành áp cao, thành áp thấp, và để tạo thành không gian bên trong cánh tuabin có dạng tường nhiệt thay đổi. Trong cánh tuabin có dạng tường nhiệt thay đổi có nhiều vách ngăn chia không gian bên trong cánh tuabin thành nhiều kênh làm mát, nhiều cột trụ làm mát trong vách ngăn làm mát tại mép ra của lá cánh, trong đó các thành áp cao và áp thấp được thiết kế có thêm các vết lồi hoặc lõm có tỷ lệ chiều cao là h/H và các thông số độ nghiêng L_{f1} , L_{r1} , L_{f2} , L_{r2} . Tỷ lệ chiều cao của vết lồi/lõm thay đổi trong khoảng 0,01-0,25. Các tỷ lệ các thông số độ nghiêng L_{f1}/R , L_{r1}/R , L_{f2}/R , L_{r2}/R thay đổi trong khoảng 1,25-2.



Hình 1A



Hình 1B

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế thuộc lĩnh vực máy và thiết bị động lực. Cụ thể, sáng chế đề cập đến cánh tuabin khí có các ma trận cột với tường nhiệt được thay đổi thành dạng hình thang để nâng cao hiệu suất trao đổi nhiệt.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Động cơ tuabin khí đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp nặng như động cơ đẩy hàng hải và lĩnh vực hàng không vũ trụ. Trong ngành hàng không, sự phát triển của động cơ hàng không đang rất được chú trọng, và đặc biệt là cách thức nghiên cứu để tăng hiệu suất và để tối ưu lực đẩy của động cơ. Với sự gia tăng lớn của nhu cầu về động cơ với hiệu suất nhiệt cao, tồn tại một vấn đề rất lớn liên quan đến vật liệu tạo nên nó, tạo nên những gánh nặng lớn đến những nhà khoa học. Bởi vì môi trường làm việc của lá cánh tuabin là cực kỳ khắc nghiệt khi nhiệt độ ở đây có thể lên đến 2000 độ K. Vì lý do đó, các phương pháp làm mát hiệu quả đang rất được quan tâm để vừa tránh được hỏng hóc về vật liệu và tăng tuổi thọ của động cơ. Khi đó, một phương pháp làm mát an toàn và hiệu quả nhận được bằng cách bơm chủ động khí làm mát qua các kênh làm mát bên trong lá cánh. Trong quá trình làm mát, một vùng vật liệu mà cần những sự quan tâm và nghiên cứu đặc biệt trên lá cánh là phần mép ra (trailing edge) của lá cánh. Các ma trận cột (pin-fin arrays) là các vật tạo rỗng thường được trang bị ở phần này của lá cánh để cùng lúc tăng kết cấu cho cánh và tăng trao đổi nhiệt ở đây. Các vật tạo rỗng như ma trận cột đặt thường đặt trong kênh làm mát để tăng diện tích tiếp xúc của dòng khí làm mát với lá cánh và tạo rỗng cho dòng làm mát, vì vậy mà tăng trao đổi nhiệt đối lưu của kênh (convective heat transfer).

Các đặc tính trao đổi nhiệt của kênh được xác định bởi kết cấu của dòng chảy và những tương tác của dòng chảy và ma trận cột. Kirkil và Constantinescu đã nghiên cứu đặc tính của xoáy móng ngựa xung quanh cột hình tròn được đặt trên một tấm phẳng. Họ quan sát thấy những đặc tính ngẫu

nhiên của xoáy vòng thứ nhất và thứ hai, và các xoáy cục bộ ở nơi giao thoa giữa tường nhiệt và các cột. Họ tin rằng các tương tác giữa các xoáy này đặc trưng cho tác động của các trụ cột đến đặc tính trao đổi nhiệt của dòng chảy. Trong khi đó, phía sau của các cột trụ là các vùng trao đổi nhiệt thấp do có sự xuất hiện của dòng đuôi (wake flow), trừ việc các dòng này giảm trao đổi nhiệt cục bộ ở sau các cột trụ thì chúng còn giữ cho các xoáy vòng và xoáy móng ngựa phát triển ra hai bên cột. (Xem tài liệu: Kirkil, G., and Constantinescu, G., 2015. Effects of cylinder Reynolds number on the turbulent horseshoe vortex system and near wake of a surface-mounted circular cylinder. *Physics of Fluids*, 27(7), 075102. DOI:10.1063/1.4923063). Thật vậy, Bergman và cộng sự chỉ ra rằng khi quan sát đặc tính của các xoáy xung quanh các cột, dễ dàng thấy rằng các khu vực trước của các cột được bao phủ trong một vùng truyền nhiệt cao, các khu vực này được phân bố tương ứng với dòng vận tốc cao. Những dòng này được gọi là xoáy móng ngựa, được tạo ra bởi sự tương tác của dòng chảy và cột trụ. Dòng chảy được tăng tốc khi đi qua điểm đình trệ (stagnation point) phía trước cột và đi xuống phía sau của cột. Sau khi vượt qua điểm phân tách (separation point), chất lưu gần cột không đủ động lượng để vượt qua gradient áp suất ngược (adverse pressure gradient), tạo thành sự phân tách lớp biên, khiến dòng đuôi xảy ra sau mỗi cột trụ. Các dòng đuôi ở đây là các xoáy cục bộ và là nguyên nhân chính gây ra vùng truyền nhiệt thấp trong các ứng dụng của cột trụ. (Xem tài liệu: Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P., and Lavine, A. S., 2011. *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley and Sons).

Tuy nhiên, sự tồn tại của các cột làm mát cũng làm tăng đáng kể tổn thất ma sát của kênh. Rất nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để tìm ra các thông số thích hợp của các cột trụ làm mát trong các kênh thẳng để giảm tổn thất này. Ví dụ, Huang và cộng sự nghiên cứu ảnh hưởng của chiều cao trụ cột, khoảng cách S_x và S_y (khoảng cách giữa các cột trụ theo hướng dòng chảy và phương ngang kênh) tới khả năng trao đổi nhiệt và tổn thất áp suất của kênh với trụ cột hình elip, và thấy rằng số Nusselt và tổn thất áp suất tăng lên khi chiều cao trụ cột tăng. Và khi tăng chiều cao trụ cột, khoảng cách S_x và S_y , tổn thất áp suất cũng tăng lên trong khi số Nusselt không tăng. Kết quả đã kết luận có thể tóm tắt rằng các cột có các hình dạng góc có hệ số trao đổi nhiệt tốt nhất, tuy nhiên đi cùng

đó là tính kháng dòng cao, trong khi các cột có hình dạng khí động giảm được đáng kể tính kháng dòng và cân bằng được nó với hệ số trao đổi nhiệt. Vì vậy mà chúng là những đối tượng cần được nghiên cứu để có thể tăng hiệu suất trao đổi nhiệt tổng quát của kênh. (Xem tài liệu: Huang, L., Li, Q., and Zhai, H., 2018. Experimental study of heat transfer performance of a tube with different shaped pin fins. *Applied Thermal Engineering*, 129, 1325–1332. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2017.10.014). Để tạo ra sự mát mát ít nhất cho kênh, và đồng thời tăng trao đổi nhiệt bằng cách tăng diện tích tiếp xúc giữa dòng chảy và các cột trụ, một số nghiên cứu, chẳng hạn như của Jin và các cộng sự đã tăng đường kính của các cột theo hướng dòng chảy, tạo nên một số hình học đặc biệt như hình oval, hình giọt nước, hình elip, và các cột trụ có mặt cắt dạng profile NACA. Kết luận đưa ra rằng các cột trụ dạng mới này giảm kháng dòng của kênh và cột trụ dạng giọt nước và NACA có hiệu suất trao đổi nhiệt tốt hơn. (Xem tài liệu: Jin, W., Wu, J., Jia, N., Lei, J., Ji, W., and Xie, G., 2021. Effect of shape and distribution of pin-fins on the flow and heat transfer characteristics in the rectangular cooling channel. *International Journal of Thermal Sciences*, 161, 106758. DOI:10.1016/j.ijthermalsci.2020.106758).

Một số các thông số khác cũng được quan tâm khi nghiên cứu đặc tính của ma trận cột là tỷ số chiều cao trên đường kính (H/D). Ostanek và Thole phát hiện ra rằng tỷ số dạng của cột (tỷ số chiều cao của cột chia cho đường kính, H/D) có rất ít ảnh hưởng đến gradient vuông góc với tường của dòng chảy thông qua phần giữa của ống dẫn, trong khi đó, giảm tỷ số S_x/D và S_y/D có thể giới hạn sự sản sinh các xoáy ở hàng đầu tiên. (Xem tài liệu: Ostanek, J. K., and Thole, K. A., 2012. Effects of Varying Streamwise and Spanwise Spacing in Pin-Fin Arrays. *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*, 44700, 45-57. DOI:10.1115/gt2012-68127).

Tóm lại, các nghiên cứu mới vẫn đang tiếp tục được phát triển để thỏa mãn yêu cầu tăng hiệu suất trao đổi nhiệt cho lá cánh tuabin với ma trận cột. Tuy nhiên, các nghiên cứu đã công bố thường xuyên chú trọng vào thiết kế và cách sắp xếp các cột mà bỏ qua mất một phần quan trọng có thể thay đổi trong lá cánh tuabin. Đó chính là phân trường nhiệt của lá cánh. Thay đổi hình dạng trường nhiệt có thể thay đổi các cấu trúc xoáy xung quanh các cột và nhờ đó thay đổi khả năng trao đổi nhiệt của dòng lạnh.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là để tăng cường các vùng trao đổi nhiệt tốt và giảm sự ảnh hưởng của các xoáy trao đổi nhiệt kém trong kênh.

Để đạt được mục đích đó, sáng chế đề xuất kênh có ma trận cột trong cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt cải tiến. Kênh được nghiên cứu có hiệu suất trao đổi nhiệt cao hơn đáng kể so với cánh tuabin có ma trận cột trụ làm mát thông thường. Cụ thể hơn, sáng chế hướng tới việc cải tiến tường nhiệt theo dạng hình thang trong kênh làm mát của cánh tuabin khí có các cột làm mát với tiết diện vuông đã biết để nâng cao hiệu suất trao đổi nhiệt.

Đã biết, hiệu suất trao đổi nhiệt trong lĩnh vực làm mát cánh tuabin khí được xác định theo công thức:

$$\eta = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) / \left(\frac{f}{f_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

trong đó:

Nu là số Nusselt, đặc trưng cho khả năng trao đổi nhiệt đối lưu trong kênh có ma trận cột làm mát, là tỉ số giữa trao đổi nhiệt đối lưu và dẫn nhiệt

Nu_0 là số Nusselt với trường hợp kênh trơn

f là hệ số ma sát trong trường hợp kênh có ma trận cột làm mát

f_0 là hệ số ma sát trong trường hợp kênh trơn

Như vậy, nói cách khác, mục đích của sáng chế là tạo ra cánh tuabin có chỉ số η tăng cao so với các mô hình làm mát đã biết. Các tác giả sáng chế đã nghiên cứu và đề xuất cánh tuabin khí có ma trận cột làm mát được cải tiến thỏa mãn yêu cầu nêu trên.

Theo đó, tường nhiệt của cánh tuabin theo sáng chế có cấu tạo bao gồm phần tường lồi/lõm xuống 2 bên của vết có dạng hình thang, phần tường trên của vết song song với tường nhiệt. Tường nhiệt dạng lồi/lõm này sẽ thu hẹp/mở rộng không gian rỗng trong lá cánh. Không gian rỗng bên trong cánh tuabin được ngăn cách bởi nhiều vách ngăn, các vách ngăn này liên kết thành áp cao và thành áp thấp để chia không gian bên trong cánh tuabin nêu trên thành nhiều

kênh làm mát xuất phát từ đế và kéo dài giữa thành áp cao và thành áp thấp. Không gian rỗng này là nơi khí làm mát đi vào để làm mát bề mặt của vết lõm/lỗ và các cột trụ, tức là làm mát cánh tuabin. Không gian rỗng bên trong kênh nhiệt là mô phỏng cho không gian rỗng bên trong lá cánh tuabin. Không gian rỗng bên trong kênh nhiệt có ma trận các cột trụ tròn theo thiết kế cơ bản. Các cột trụ này có nhiệm vụ tạo xoáy và tăng cường trao đổi nhiệt trong kênh.

Thiết kế mới này khác biệt ở chỗ, thành áp cao và thành áp thấp của kênh có ma trận cột làm mát để làm mát cánh tuabin khí có thêm các phần lõm lên hoặc lõm xuống tại các chân cột của các hàng lẻ. Các phần lõm/lỗ này có dạng hai tường bên chéo tạo với hai tường còn lại thành hình thang cân.

Các tác giả sáng chế đã tiến hành thử nghiệm bằng mô hình trên máy tính sử dụng phần mềm chuyên dụng ANSYS với các giá trị về tỷ lệ chiều cao (h/H) khác nhau của tường lõm/lỗ làm mát theo sáng chế, trong đó h là chiều cao của các vết lõm/lỗ hình thang và H là chiều cao của kênh và cũng là chiều cao mặt định của các cột trụ. Các hình mô phỏng cho thấy các thông số về độ cao h của các vết lõm/lỗ tác động tích cực đến cấu trúc các xoáy trước và sau các cột trụ. Các giá trị tỷ lệ chiều cao được nghiên cứu nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,25 với bước nhảy là 0,02. Hiệu suất trao đổi nhiệt của kênh có vết lõm/lỗ được chứng minh là được cải thiện đáng kể với các thiết kế mới cho mọi số Reynolds. Cụ thể là, cho tường nhiệt lõm ở các giá trị số Reynolds 7400, 14000, 21500, 29000, 36000, với các giá trị tham chiếu của chiều cao h là $h/H=0,05$ ta có giá trị η nằm trong khoảng 0,89-1,14, tăng khoảng 11-16% so với giá trị của kênh với tường phẳng đã biết là 0,77-1,02. Các giá trị này là 1,05-1,41 cho tường nhiệt lõm, tương đương tăng khoảng 36-37% so với tường nhiệt phẳng.

Tốt hơn là giá trị tỷ lệ chiều cao $h/H=0,13$ đối với tường nhiệt lõm và $h/H=0,21$ đối với tường nhiệt lõm. Với tường nhiệt lõm, giá trị η đạt đến 1,08-1,38 tại $h/H=0,13$ cho các số Reynolds, tương đương với giá trị tăng 35,5-41,5% so với kênh tường phẳng. Với tường nhiệt lõm, giá trị η đạt đến 1,34-1,78 tại

$h/H=0,21$ cho các số Reynolds, tương đương với giá trị tăng 73,3-77,7% so với kênh tường phẳng.

Các nghiên cứu về các thông số độ nghiêng của vết lồi, lõm được nghiên cứu là L_{f1} , L_{r1} , L_{f2} , L_{r2} được xem xét dưới dạng L_{f1}/R , L_{r1}/R , L_{f2}/R , L_{r2}/R có giá trị thay đổi từ 1,25-2 với R là bán kính của cột trụ (4mm). Nghiên cứu cho thấy thay đổi các thông số này làm thay đổi các xoáy xung quanh các cột trụ có vết lồi/lõm và thay đổi trao đổi nhiệt trong kênh.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Các Hình 1A và 1B là các hình vẽ mặt cắt ngang và mặt cắt dọc của cánh tuabin khí có ma trận các cột trụ với tường nhiệt cải tiến theo sáng chế.

Hình 1C là hình vẽ thể hiện cách bố trí các ma trận cột và các tường nhiệt làm mát của cánh tuabin theo sáng chế.

Hình 2A và 2B là hình vẽ mặt cắt của kênh làm mát của cánh tuabin cải tiến theo sáng chế thể hiện tường nhiệt lồi và lõm được tạo ra tại các chân cột trụ của hàng lẻ và thành áp cao của cánh tuabin.

Hình 3A, 3B và 3C là hình mô phỏng bằng máy tính, thể hiện hình chiếu bằng của phân bố số Nusselt trên bề mặt tường nhiệt kênh làm mát với các thiết kế tường phẳng, tường lồi và tường lõm tham chiếu theo các phương án của sáng chế.

Hình 3D là đồ thị so sánh hiệu suất trao đổi nhiệt giữa các phương án tham chiếu theo sáng chế và với giải pháp đã biết.

Hình 4A và 4B là hình mô phỏng bằng máy tính, thể hiện hình chiếu bằng của phân bố số Nusselt trên bề mặt tường nhiệt kênh làm mát với các thiết kế tường lồi tham chiếu và tường lồi với tỷ số chiều cao là 0,13 (giá trị có hiệu suất trao đổi nhiệt đạt cực đại) theo các phương án của sáng chế.

Hình 4C là đồ thị so sánh hiệu suất trao đổi nhiệt và hệ số ma sát khi tăng chiều cao của vết lồi và với giải pháp đã biết.

Hình 5A và 5B là hình mô phỏng bằng máy tính, thể hiện hình chiếu bằng của phân bố số Nusselt trên bề mặt tường nhiệt kênh làm mát với các thiết kế

tường lõm tham chiều và tường lõm với tỷ số chiều cao là 0,21 (giá trị có hiệu suất trao đổi nhiệt đạt cực đại) theo các phương án của sáng chế.

Hình 5C là đồ thị so sánh hiệu suất trao đổi nhiệt và hệ số ma sát khi tăng chiều cao của vết lõm và với giải pháp đã biết.

Hình 6A và 6B là phân bố số Nusselt trên tường nhiệt của tường lồi với hai tỷ số L_{f1}/R lần lượt với giá trị là 1,25 và 2 của tường lồi tại $Re=21500$ theo các phương án của sáng chế.

Hình 6C đến 6F lần lượt là các đồ thị của hiệu suất trao đổi nhiệt với các trường hợp thay đổi của các tỷ số L_{f1}/R , L_{r1}/R , L_{f2}/R , và L_{r2}/R với tường lồi.

Hình 7A và 7B mô tả phân bố số Nusselt với tường lõm với trường hợp thay đổi tỷ số L_{f1}/R lần lượt với giá trị là 1,25 và 1,75 tại $Re=21500$.

Hình 7C đến 7F lần lượt là các đồ thị của hiệu suất trao đổi nhiệt với các trường hợp thay đổi của các tỷ số L_{f1}/R , L_{r1}/R , L_{f2}/R , và L_{r2}/R với tường lõm.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây sáng chế sẽ được mô tả chi tiết theo các phương án ưu tiên có tham khảo các hình vẽ từ Hình 1A đến Hình 5C. Tuy nhiên, cần phải hiểu rằng các phương án này chỉ nhằm làm rõ sáng chế mà không nhằm giới hạn phạm vi của sáng chế.

Theo đó, cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi 100 có ma trận các cột trụ làm mát để làm mát lá cánh tuabin với tường nhiệt được cải tiến bao gồm các chi tiết được mô tả dưới đây.

Hình 1A và Hình 1B là hình cắt theo chiều ngang và dọc của cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi 100. Cánh tuabin này là nơi tiếp nhận dòng khí nhiệt độ cao, đến 2000°K , từ buồng đốt của động cơ để tạo ra năng lượng cho động cơ phản lực. Cánh này gồm có thành áp cao 101, thành áp thấp 102, và đế 103 tiếp giáp với thành áp cao 101 và thành áp thấp 102 nêu trên tạo thành không gian rỗng bên trong cánh tuabin 100. Không gian rỗng này là nơi khí làm mát đi vào để làm mát bề mặt của các thành áp cao và thành áp thấp, tức là làm mát cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi 100.

Không gian rỗng bên trong cánh tuabin được ngăn cách bởi nhiều vách ngăn 104, các vách ngăn này liên kết thành áp cao 101 và thành áp thấp 102 để chia không gian bên trong cánh tuabin nêu trên thành nhiều kênh làm mát 105 và 107 xuất phát từ đế lá cánh 103 và kéo dài giữa thành áp cao 101 và thành áp thấp 102 thông ra ngoài từ đầu mút cánh. Khí làm mát sẽ lưu thông theo các kênh làm mát này để làm mát cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi 100.

Nhiều cột trụ làm mát 106 được bố trí bên trong kênh làm mát 107 và liên kết thành áp cao 101 với thành áp thấp 102 để làm mát cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi 100 trong vách ngăn gần mép ra của lá cánh 107. Các vết lõm và vết lõm 108 được bố trí trong phần vách ngăn này, dưới chân các cột trụ, bố trí trên các thành áp cao 101 và áp thấp 102.

Kênh làm mát 107 có các vết lõm và lõm hình thang 108 được tạo ra trên các thành áp cao 101 và thành áp thấp 102 tại các vị trí chân của các cột trụ làm mát 106.

Các vết lõm và vết lõm hình thang 108 này có chiều cao là h so với thành áp mà nó nằm trên đó, và tỷ lệ chiều cao h/H , trong đó H là chiều cao của kênh làm mát 107, nằm trong khoảng 0,01-0,25.

Hình 2A và 2B cũng thể hiện chiều cao của các vết lõm và lõm 108 so với bề mặt trong của các thành 101 và 102 bằng $h/H=0,05$.

Các tác giả sáng chế đã tiến hành thử nghiệm bằng mô hình trên máy tính sử dụng phần mềm chuyên dụng ANSYS với các phương án thiết kế tường nhiệt phẳng và các phương án thiết kế mới của vết lõm/lõm làm mát theo sáng chế. Các hình ảnh mô phỏng được thể hiện trên Hình 3A, 3B và 3C (hình chiếu bằng) là hình mô phỏng trên máy tính phân bố số Nusselt trên bề mặt kênh nhiệt. Các hình mô phỏng cho thấy các thiết kế mới của kênh nhiệt tác động tích cực như thế nào đến cấu trúc dòng chảy. Những vùng lõm và lõm tăng cường vận tốc dòng và các xoáy móng ngựa trước các cột trụ, đồng thời giảm các vùng trao đổi nhiệt kém sau các cột trụ. Hiệu suất truyền nhiệt vì thế được cải thiện đáng kể. Cụ thể như sau:

Ở phương án đã biết với tường nhiệt phẳng là các thành cánh tuabin, có thể thấy rõ ràng các xoáy móng ngựa ở ngay trước các cột trụ và sự trao đổi

nhiệt tăng dần khi càng về các hàng cột trụ sau. Hơn nữa, các vùng trao đổi nhiệt kém sau các cột trụ vẫn có kích thước lớn.

Ở phương án với tường lõm, các xoáy móng ngựa ở phía trước của cột trụ được mở rộng ra đến hết vùng lõm do bố cục thiết kế của tường lõm hướng dòng gần về tường nhiệt và tăng vận tốc dòng. Hơn nữa, phần dòng đuôi đã giảm đi rất mạnh ở tất cả các cột trụ đối với trường hợp tường lõm do phần xuất hiện dòng đuôi là vị trí bắt đầu đầu ra của tường lõm, các xoáy móng ngựa ở đây được tăng cường và giảm vùng ảnh hưởng của các dòng đuôi tại đây. Ngoài ra, phần mở rộng của kênh cũng góp phần giảm tổn thất của kênh và góp phần tăng khả năng trao đổi nhiệt trong kênh.

Ở phương án với tường lồi, các vùng xen kẽ của vùng lồi là các vết lõm to, có tác dụng giống với tường lõm đã đề cập ở trên và nó còn giúp hướng dòng để dòng phát triển mạnh hơn về các hàng cột sau.

Các thử nghiệm mô phỏng được thực hiện với các thiết kế tường nhiệt khác nhau như trên với các chỉ số Reynolds khác nhau (7400, 14000, 21500, 29000, 36000).

Hình 3D là đồ thị so sánh hiệu suất trao đổi nhiệt của 3 thiết kế kể trên (η – trục đứng) giữa kênh có tường nhiệt phẳng và hai thiết kế mới của tường nhiệt theo sáng chế. Có thể thấy rằng hiệu suất trao đổi nhiệt của tường nhiệt phẳng đã biết giảm với sự gia tăng của số Reynolds và đều thấp hơn so với các phương án của sáng chế, trong đó hiệu suất trao đổi nhiệt của phương án tường nhiệt lõm của sáng chế là cao nhất với mọi giá trị của Re .

Cụ thể là, cho tường nhiệt lõm ở các giá trị số Reynolds 7400, 14000, 21500, 29000, 36000, với các giá trị tham chiếu của chiều cao h là $h/H=0,05$ ta có giá trị η nằm trong khoảng 1,05-1,41, tương đương tăng khoảng 36-37% so với tường nhiệt phẳng đã biết là 0,77-1,02. Với tường nhiệt lồi với $h/H=0,05$ thì η có giá trị nằm trong khoảng 0,89-1,14, tăng khoảng 11-16% so với giá trị của kênh với tường phẳng (xem chi tiết trên Hình 3D).

Hình 4A và 4B là hình thể hiện phân bố số Nusselt trên bề mặt kênh nhiệt với kênh có tường lồi cho hai trường hợp với $h/H=0,05$ (trường hợp tham khảo) và $h/H=0,13$ (trường hợp có hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất).

Ở trường hợp với $h/H=0,13$, có thể thấy rằng những vùng trao đổi nhiệt tốt đã được mở rộng về mọi phương và áp đảo vùng dòng đuôi phía sau các cột trụ ở hàng 2 và 4. Hơn nữa khả năng trao đổi nhiệt ở các vùng này cũng được tăng cường hơn, bằng chứng là những vùng có số Nusselt cao nhất đã được mở rộng. Những điều này là do trường hợp có độ nhô cao hơn cho thấy vận tốc cao hơn ở vị trí của hàng 2 và hàng 4 và vận tốc cao hơn gần các hàng khác. Những hiện tượng này làm tăng khả năng truyền nhiệt của tất cả các hàng trong kênh bằng cách tăng cả số lượng Nusselt và mở rộng các vùng có số Nusselt cao. Tuy nhiên, tính đồng nhất của dòng chảy bị thay đổi, dòng chảy bị biến dạng do hình học hội tụ và phân kỳ sâu của kênh, dẫn đến tổn thất áp suất cao hơn và do đó, hệ số ma sát của kênh cao hơn.

Đồ thị trên Hình 4C thể hiện sự so sánh hiệu suất truyền nhiệt (η – trục đứng thứ nhất) và hệ số ma sát (f – trục đứng thứ hai) khi tăng tỷ số chiều cao h/H tại $Re=29000$. Có thể thấy rằng ban đầu khi tăng h/H thì cả η và f đều tăng cho đến khi η đạt cực đại là 1,11 tại $h/H=0,13$ và η sau đó sẽ giảm một chút rồi dao động quanh vị trí cân bằng là $\eta \approx 1,08$ tại $h/H=0,17$. Trong khi đó, giá trị của f tăng theo dạng đồ thị hàm mũ.

Hình 5A và 5B là hình vẽ phân bố số Nusselt trên bề mặt kênh nhiệt với kênh có tường lõm cho hai trường hợp với $h/H=0,05$ (trường hợp tham khảo) và $h/H=0,21$ (trường hợp có hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất).

Ở trường hợp với $h/H=0,21$, có thể thấy rằng những vùng trao đổi nhiệt tốt đã được mở rộng về mọi phương và áp đảo vùng dòng đuôi phía sau các cột trụ ở các hàng có vết lõm (các hàng 1, 3 và 5). Hiệu ứng của tường lõm tương tự với hiệu ứng của các vết lõm đã giải thích ở phần tường lồi. Tuy nhiên, với tường lõm thì có vết lõm ở ngay hàng 1 nên các vùng trao đổi nhiệt tốt ở các hàng còn lại cũng không bị ép nhỏ đi như trường hợp trên mà vết lõm còn tăng động năng để phát triển dòng chảy ra các hàng sau. Dẫn đến khả năng trao đổi nhiệt tốt của các hàng sau của kênh và tăng trao đổi nhiệt của toàn bộ kênh. Tuy nhiên, các vết lõm được mở ra cũng làm giảm tổn thất của kênh do giảm sự chắn dòng nên giảm được hệ số ma sát của kênh với độ lõm nhỏ.

Đồ thị trên Hình 5C thể hiện sự so sánh hiệu suất truyền nhiệt (η – trục đứng thứ nhất) và hệ số ma sát (f – trục đứng thứ hai) khi tăng tỷ số chiều cao

h/H tại $Re=21500$. Có thể thấy rằng ban đầu khi tăng h/H thì η tăng và f bắt đầu giảm cho đến khi η đạt cực đại là 1,43 tại $h/H=0,21$ và η sau đó sẽ giảm đều khi tiếp tục tăng chiều cao vết lõm. Đồ thị của η có dạng parabol. Trong khi đó, giá trị của f giảm dần cho đến khi đạt cực tiểu tại $h/H=0,07$ và sau đó f sẽ tiếp tục tăng lũy tiến. Xem chi tiết trên Hình 5C.

Hình 6A và 6B là phân bố số Nusselt trên tường nhiệt với trường hợp thay đổi tỷ số L_{f1}/R lần lượt với giá trị là 1,25 (giá trị mặc định) và 2 (giá trị có hiệu suất trao đổi nhiệt tăng cao nhất) của tường lõm tại $Re=21500$. Ta thấy rằng sự tăng khả năng truyền nhiệt của trường hợp $L_{f1}/R = 2$ là nó có diện tích của vùng tường lõm lớn hơn để xoáy móng ngựa phát triển trong các hàng lẻ. Do đó, mặc dù các vùng truyền nhiệt cao ở các hàng chẵn có giảm đi một chút nhưng sự tăng khả năng truyền nhiệt của các hàng lẻ lấn át sự giảm này làm tăng khả năng truyền nhiệt của kênh.

Hình 6C đến 6F lần lượt là các đồ thị của hiệu suất trao đổi nhiệt với các trường hợp thay đổi của các tỷ số L_{f1}/R , L_{r1}/R , L_{f2}/R , và L_{r2}/R với tường lõm. Quan sát Hình 6C ta thấy tỷ số $L_{f1}/R = 2$ cho hiệu suất trao đổi nhiệt là tốt nhất cho toàn bộ dải số Reynolds. Nhìn chung, khi tăng tỷ lệ L_{f1}/R từ 1,25 lên 2, số Nusselt và hiệu suất truyền nhiệt tăng tương ứng. Hiệu suất truyền nhiệt cao nhất được ghi nhận tại $Re = 21500$ và $L_{f1}/R = 2$ là 1,06, cao hơn 31,8% so với tường phẳng tại số Reynolds tương ứng.

Khi thay đổi tỷ lệ L_{r1}/R , số Nusselt cao nhất và hiệu suất truyền nhiệt được ghi nhận tại $L_{r1}/R = 1,75$, trường hợp này có số Nusselt cao nhất nhưng hệ số ma sát tương đối thấp so với các trường hợp khác. Hiệu suất truyền nhiệt cao hơn khoảng 23,6% so với tường phẳng. Xem chi tiết trong Hình 6D.

Sự thay đổi của η với tỷ lệ thay đổi L_{f2}/R được thể hiện trong Hình 6E. Quan sát thấy rằng khi tăng tỷ số L_{f2}/R , hiệu suất truyền nhiệt giảm đối với tất cả các số Reynolds. Do đó, η cao nhất được ghi nhận là $L_{f2}/R = 1,25$ và $Re = 21500$ là 1,00, cao hơn 23,8% so với trường hợp tường phẳng. Các tác giả nhận thấy rằng tỷ lệ $L_{f2}/R = 1,25$ tạo ra nhiều dòng thứ cấp hơn trong kênh gần tường nhiệt, tương tự như tác dụng của các gân trong việc làm mát lá cánh.

Với thay đổi tỷ số L_{r2}/R , hiệu suất truyền nhiệt được thể hiện trong Hình 6F. Thống kê cho thấy η cao nhất thuộc về trường hợp $L_{r2}/R = 1,5$. Trường hợp

này có η là 0,96 cao hơn 19,2% so với trường hợp tường phẳng tại $Re = 21500$. Các tác giả phát hiện ra rằng trường hợp này có tác động tích cực đến dòng chảy bằng cách tăng vận tốc dòng chảy đối với sự phát triển của dòng chảy trong khi giảm sự xuất hiện của các xoáy cục bộ ở sau cột, do đó, làm giảm hệ số ma sát nhiều hơn các trường hợp khác.

Hình 7A và 7B mô tả phân bố số Nusselt với các trường hợp tường lõm với trường hợp thay đổi tỷ số L_{fl}/R lần lượt với giá trị là 1,25 (giá trị mặc định) và 1,75 (giá trị có hiệu suất trao đổi nhiệt tăng cao nhất) tại $Re=21500$. Các tác giả thấy rằng các khu vực truyền nhiệt cao phía trước các cột trụ ở hàng 1 và gần các thành bên của $L_{fl}/R = 1,75$ hơi rộng hơn $L_{fl}/R = 1,25$. Mặc dù mô hình dòng chảy của hai trường hợp là giống nhau, các xoáy móng ngựa được tăng cường vùng hoạt động ở phía trước các cột trụ với trường hợp $L_{fl}/R = 1,75$.

Hình 7C là đồ thị mô tả sự thay đổi của hiệu suất trao đổi nhiệt với sự thay đổi của L_{fl}/R . Nói chung, hiệu suất truyền nhiệt của kênh với tường lõm tăng khi giá trị L_{fl}/R ngày càng tăng. Tuy nhiên, quan sát thấy rằng tham số $L_{fl}/R = 2$ là một ngoại lệ trong khi nó cho cả số Nusselt thấp và hiệu suất truyền nhiệt cho tất cả các số Reynolds, tạo nên xu hướng. Những hiện tượng này được giải thích là do L_{fl}/R ngày càng lớn, làm cho vết lõm rộng ra, tạo ra một chỗ lõm gần như thẳng đứng ở phía trước vây chân, kéo dài xoáy xung quanh vây pin về phía trước. Nhưng khi các cạnh của vết lõm mở rộng đến thẳng đứng, phần lõm xuống của vết lõm sẽ tạo ra các xoáy cục bộ trong vùng này. Các xoáy cục bộ này hoạt động giống như dòng đuôi của cột trụ, là các xoáy cục bộ và ức chế sự phát triển của xoáy móng ngựa xung quanh cột trụ. Hiệu suất truyền nhiệt là 1,17 cao hơn 45,6% so với tường phẳng ở số Reynolds là 21500 và $L_{fl}/R = 1,75$.

Hình 7D là đồ thị thay đổi của hiệu suất trao đổi nhiệt với sự thay đổi của L_{r1}/R . Giống với tham số L_{fl}/R , ta có trường hợp 2 cho hiệu suất truyền nhiệt cao nhất cho toàn bộ dải số Reynolds. Điều này cũng được giải thích là do khu vực chứa các xoáy xung quanh cột trụ và đặc biệt là ở phía sau được mở rộng để giúp tăng các vùng truyền nhiệt cao. Ngoài ra, vùng lõm thẳng đứng ở phía sau cột trụ cũng tạo ra sự truyền nhiệt tốt ở những vùng này vì các xoáy cục bộ giúp tạo ra sự nhiễu loạn. Nói chung, hiệu suất truyền nhiệt đều tăng khi tăng tỷ lệ

L_{r1}/R . Ngoài ra, sự gia tăng hiệu suất truyền nhiệt đạt đỉnh tại $Re = 21500$ và $L_{r1}/R = 2$, là 1,20, cao hơn 47,5% so với trường hợp tường phẳng.

Hình 7E là đồ thị thay đổi của hiệu suất trao đổi nhiệt với sự thay đổi của L_{r2}/R . Quan sát thấy trường hợp 1,25 là trường hợp có hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất. Điều này là do trường hợp này tạo ra một chỗ trũng chứa nhiều xoáy cục bộ gần các chân cột, giúp làm rối loạn dòng chảy và tăng khả năng truyền nhiệt. Tuy nhiên, chỗ lõm này rất gần với các chân cột, làm giảm diện tích truyền nhiệt so với trường hợp thay đổi thông số L_{f1}/R . Kết quả là hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất ở $Re = 21500$ và $L_{r2}/R = 1,25$ là 1,15, cao hơn 42,9% so với trường hợp tường phẳng, mức tăng này là 45,6% của thông số L_{f1}/R .

Hình 7F là đồ thị thay đổi của hiệu suất trao đổi nhiệt với sự thay đổi của L_{r2}/R . Nói chung, sự thay đổi khi tham số L_{r2}/R tăng lên cũng giống như sự thay đổi khi số L_{r2}/R tăng lên. Trường hợp $L_{r2}/R = 1,25$ có hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất. Điều này được giải thích là vùng lõm hoàn toàn thẳng đứng ở phía sau cũng tạo ra các vùng truyền nhiệt tốt do xoáy cục bộ xung quanh các chân cột, theo cách tương tự với tham số L_{r1}/R . Tuy nhiên, hiệu suất của tham số L_{r2}/R nhỏ hơn của tham số L_{r1}/R cũng do các khu vực truyền nhiệt tốt bị hạn chế gần các chân cột. Hiệu suất trao đổi nhiệt đạt đỉnh tại $Re = 21500$ và $L_{r2}/R = 1,25$ là 1,18 cao hơn 46,8% so với tường phẳng.

Theo một phương án ưu tiên, cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi 100 theo sáng chế có đáy nhỏ của vết lồi/lõm hình thang 108 có giá trị tham chiếu 10mm, chia đều về hai phía với $L_{f1}=L_{r1}=5mm$, đáy lớn của hình thang có giá trị tham chiếu 16mm, chia đều về hai phía với $L_{f2}=L_{r2}=8mm$.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi với ma trận cột có tường nhiệt lồi có tăng hiệu quả trao đổi nhiệt so với cánh tuabin với tường nhiệt phẳng đã biết. Tốt hơn là ma trận cột có tường nhiệt lõm có khả năng tăng đáng kể hiệu suất trao đổi nhiệt ở tất cả các giá trị số Reynolds. Vùng làm mát hiệu quả ở đây là phần mép ra của lá cánh, nhờ đó cánh được làm mát hiệu quả, tăng hiệu suất của động cơ và làm tăng tuổi thọ của cánh tuabin, đặc biệt là ở vùng mép ra mà vẫn giữ được kết cấu của lá cánh.

Yêu cầu bảo hộ

1. Cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi (100) bao gồm:

thành áp cao (101), thành áp thấp (102), và đế của lá cánh (103) tiếp giáp với thành áp cao (101) và thành áp thấp (102) nêu trên tạo thành không gian bên trong cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi (100);

các vách ngăn (104) liên kết thành áp cao (101) và thành áp thấp (102) để chia không gian bên trong cánh tuabin nêu trên thành các kênh làm mát (105) và (107) xuất phát từ đế (103) và kéo dài giữa thành áp cao (101) và thành áp thấp (102);

các cột trụ làm mát (106) được bố trí bên trong kênh làm mát (107) và liên kết thành áp cao (101) với thành áp thấp (102) để làm mát và giữ kết cấu cho lá cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi (100) giữa các vách ngăn ở phần mép ra (104) của kênh làm mát (107), liền kề các kênh làm mát (105),

khác biệt ở chỗ:

kênh làm mát (107) có các vết lõm và lõm hình thang (108) được tạo ra trên các thành áp cao (101) và thành áp thấp (102) tại các vị trí chân của các cột trụ làm mát (106);

các vết lõm và vết lõm hình thang (108) có chiều cao là h so với thành áp mà nó nằm trên đó, và tỷ lệ chiều cao h/H , trong đó H là chiều cao của kênh làm mát (107), nằm trong khoảng 0,01-0,25;

các tỷ lệ L_{f1}/R và L_{r1}/R nằm trong khoảng 1,25-2 với bước nhảy là 0,25; và

các tỷ lệ L_{f2}/R và L_{r2}/R nằm trong khoảng 1,25-2 với bước nhảy là 0,25;

trong đó:

L_{f1} , L_{r1} lần lượt là $\frac{1}{2}$ chiều dài đáy nhỏ của vết lõm và vết lõm hình thang (108) ở phía trước và phía sau cột trụ (106),

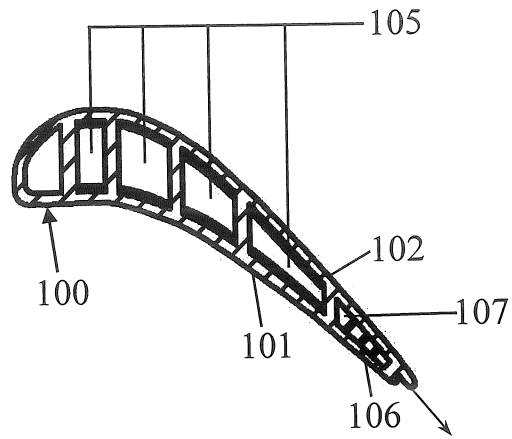
L_{f2} , L_{r2} lần lượt là $\frac{1}{2}$ chiều dài đáy lớn của vết lõm và vết lõm hình thang (108) ở phía trước và phía sau cột trụ (106), và

R là bán kính của cột trụ (106).

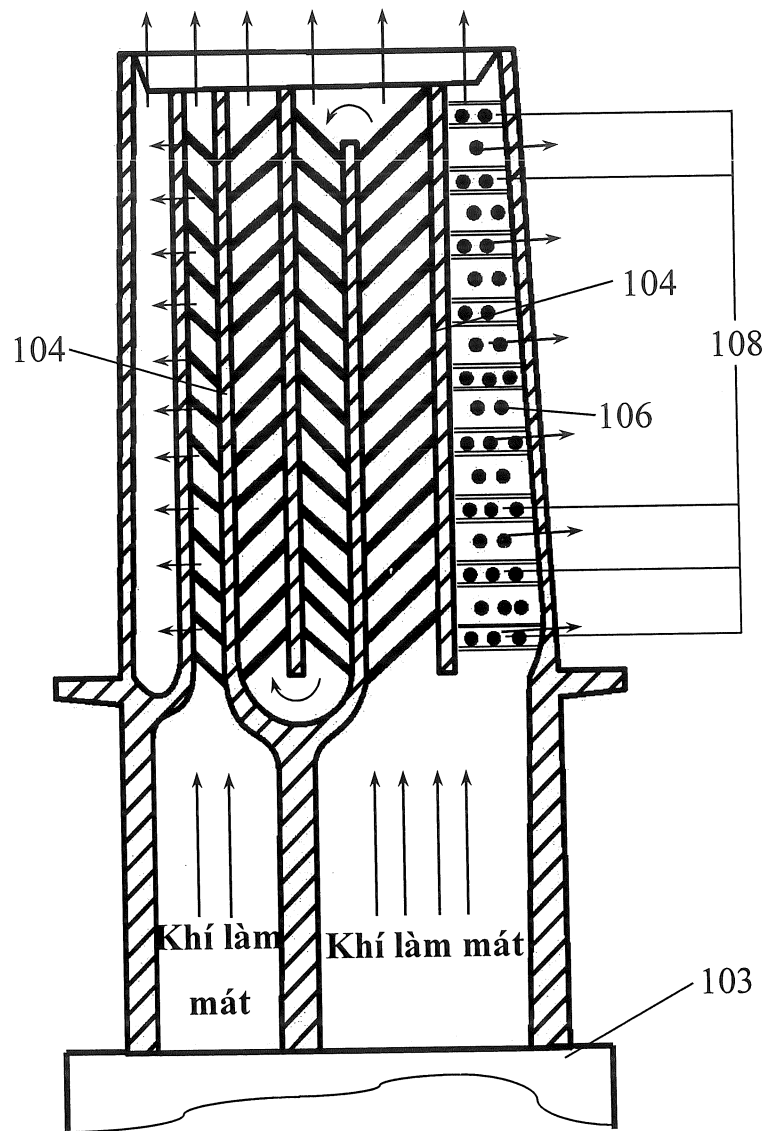
2. Cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi (100) theo điểm 1, trong đó trong trường hợp vết lồi, tốt hơn là tỷ lệ $h/H=0,13$ để thu được hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất.

3. Cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi (100) theo điểm 1, trong đó trong trường hợp vết lõm, tốt hơn là tỷ lệ $h/H=0,21$ để thu được hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất.

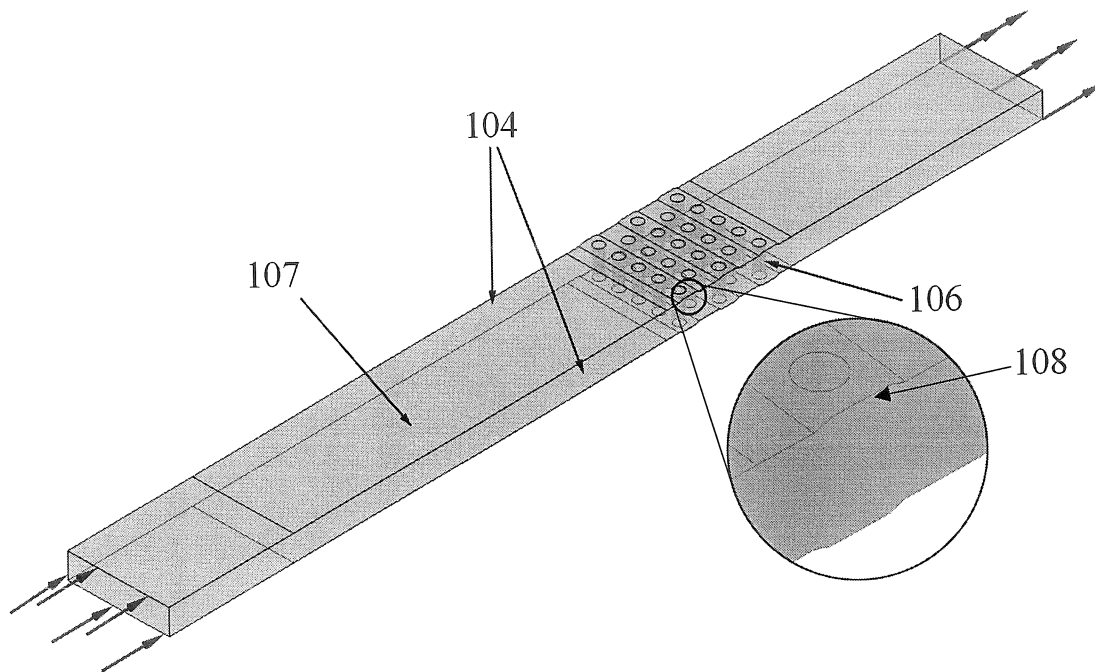
4. Cánh tuabin khí có dạng tường nhiệt thay đổi (100) theo điểm 1, trong đó đáy nhỏ của vết lồi/lõm hình thang (108) có giá trị tham chiếu 10mm, chia đều về hai phía với $L_{f1}=L_{r1}=5\text{mm}$, đáy lớn của hình thang có giá trị tham chiếu 16mm, chia đều về hai phía với $L_{f2}=L_{r2}=8\text{mm}$.



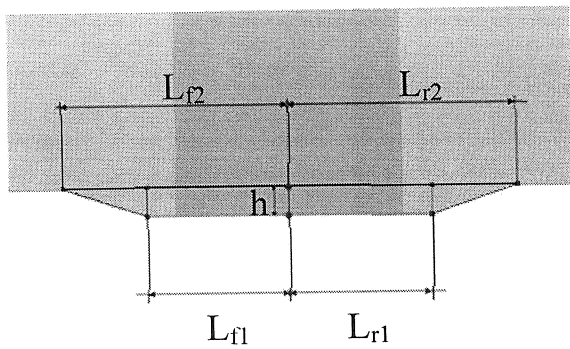
Hình 1A



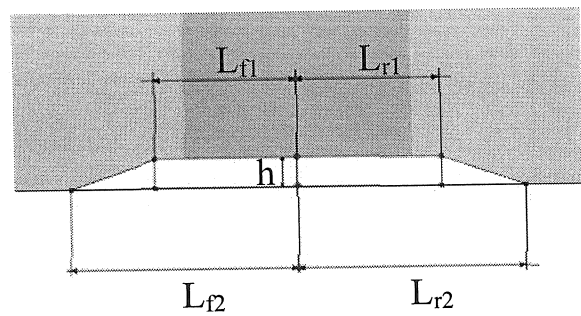
Hình 1B



Khí làm mát →

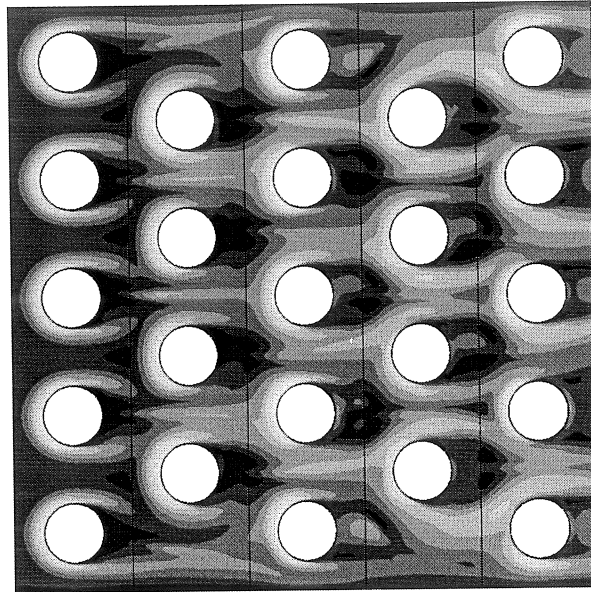
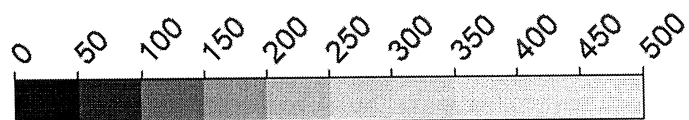
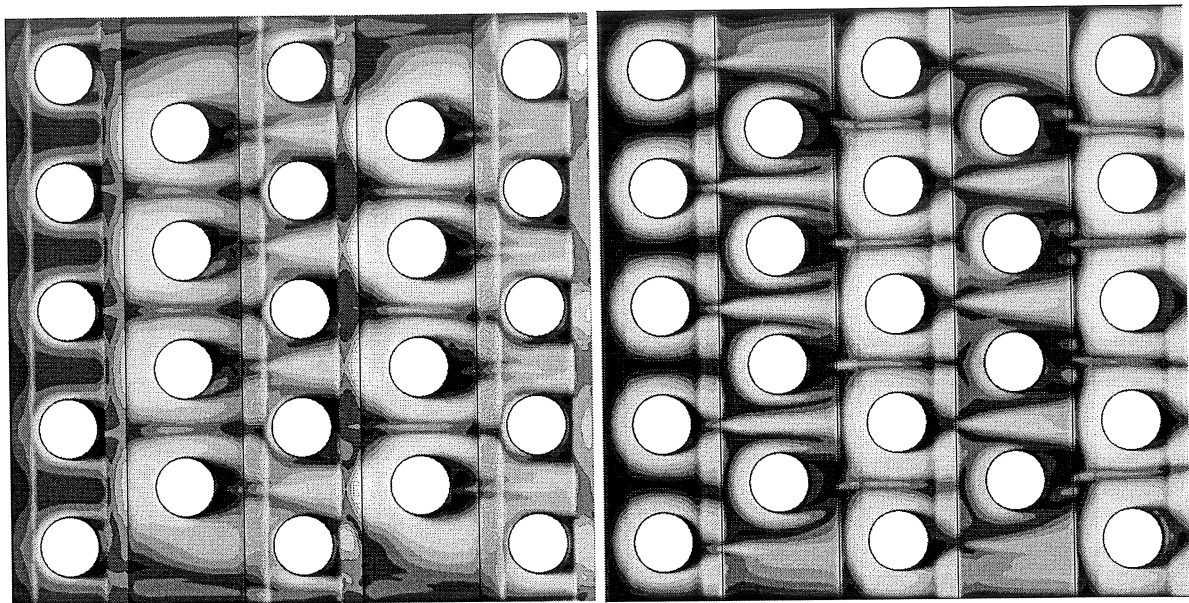


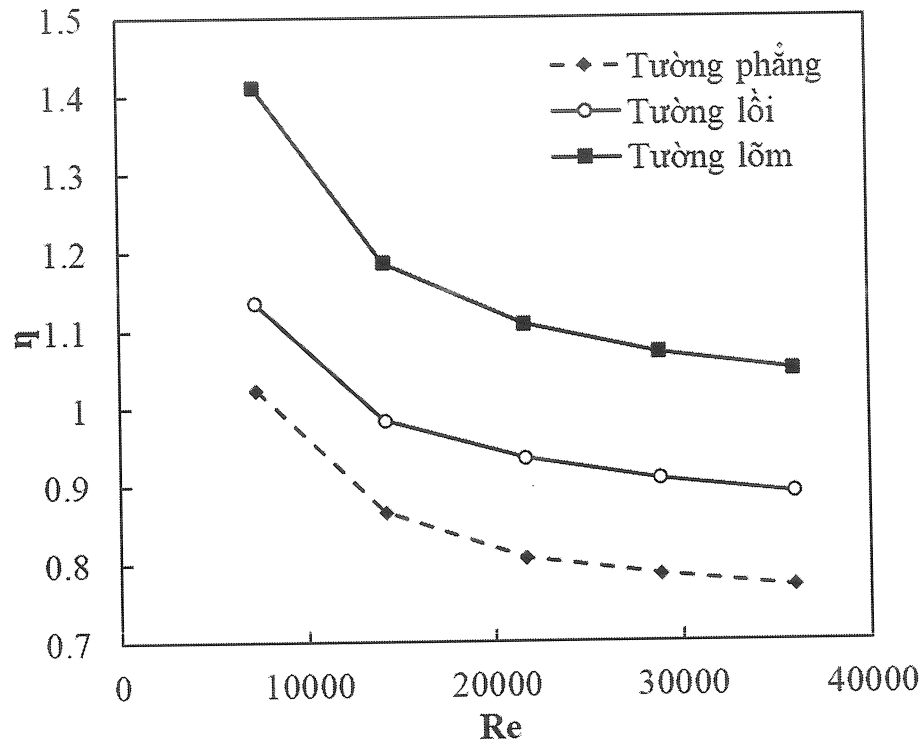
Hình 2A



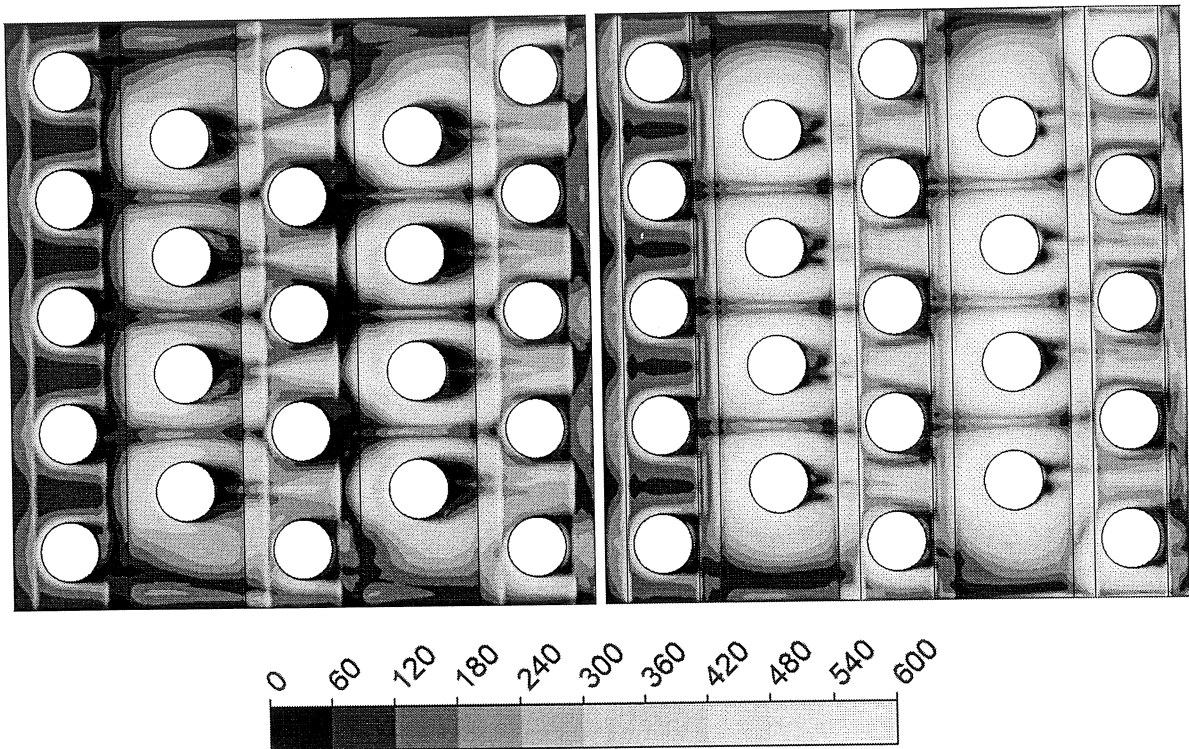
Hình 2B

Hình 1C

**Hình 3A****Hình 3B****Hình 3C**

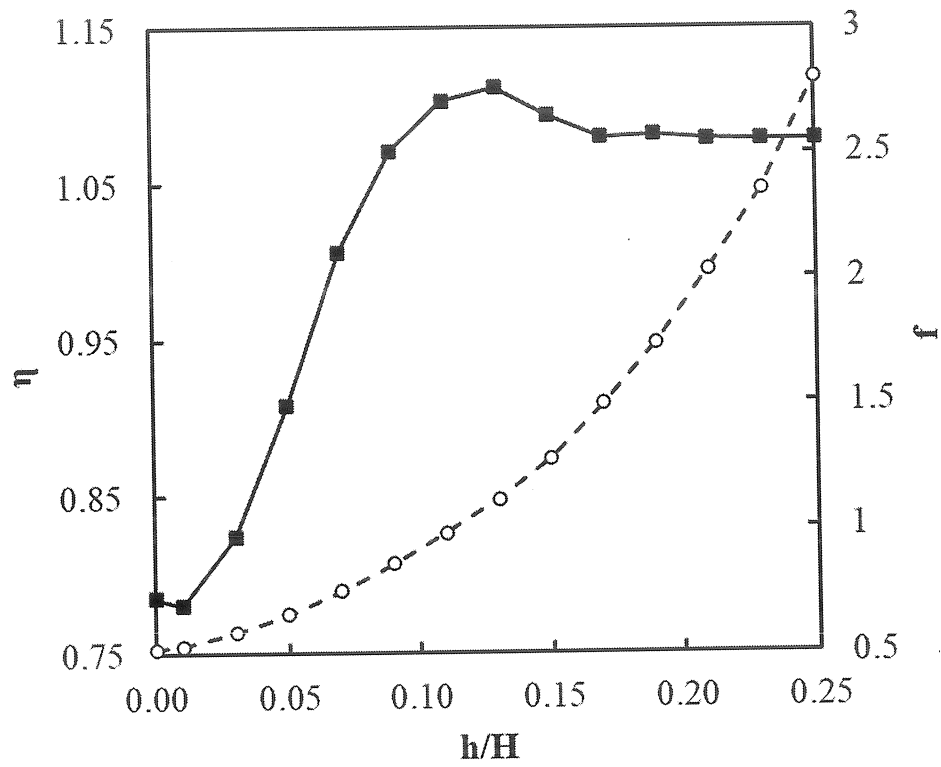


Hình 3D

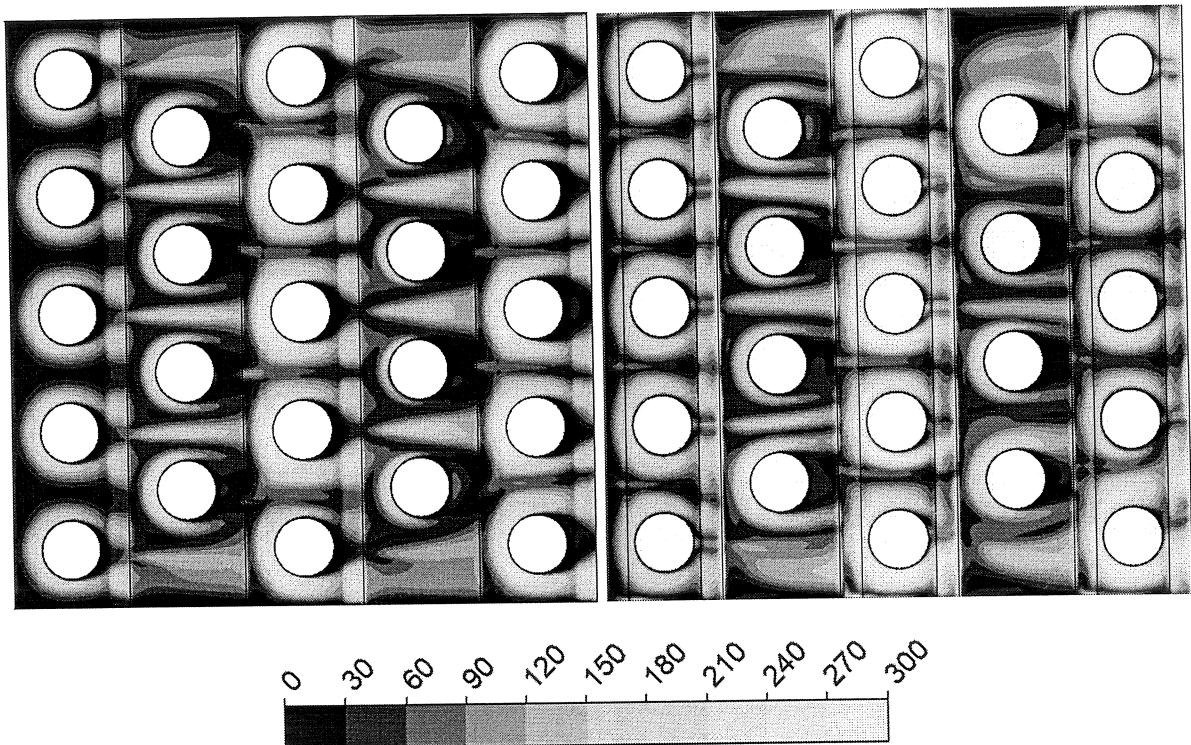


Hình 4A

Hình 4B

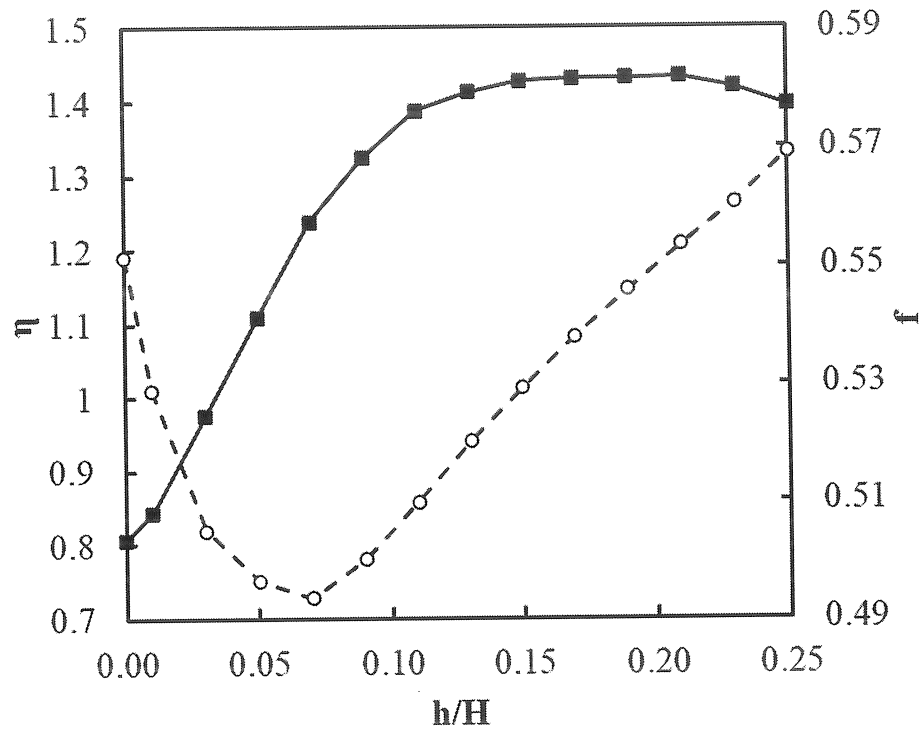


Hình 4C

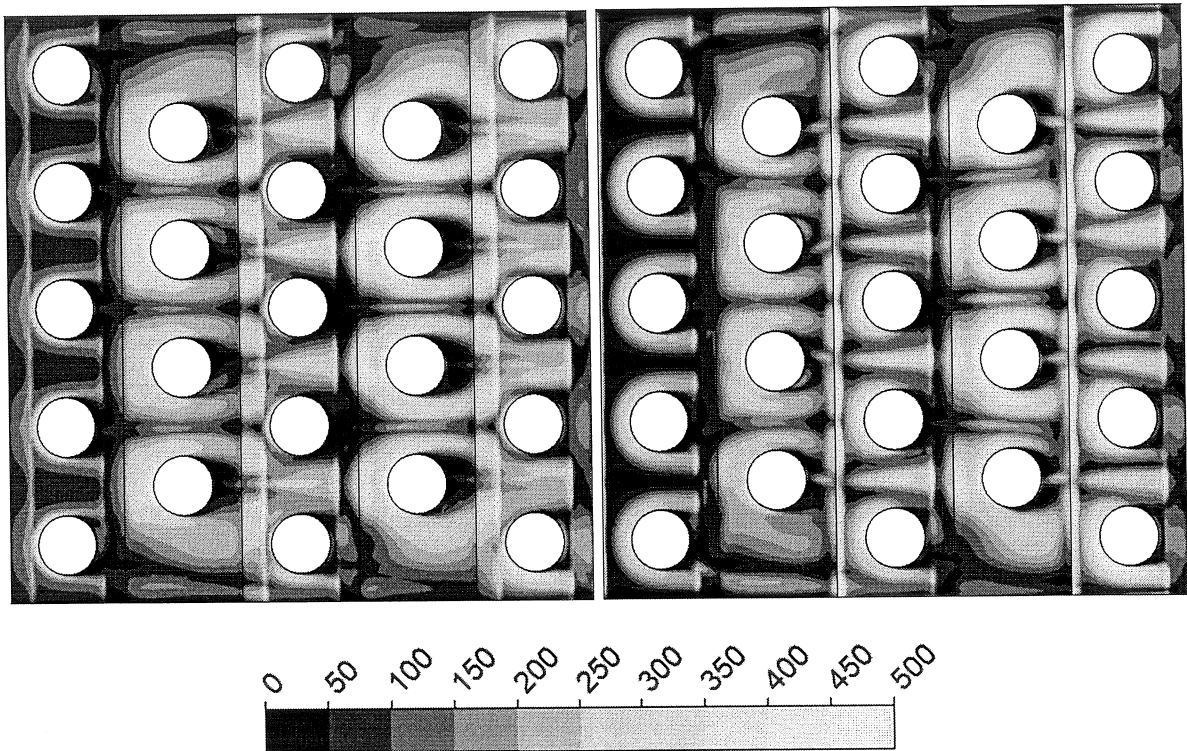


Hình 5A

Hình 5B

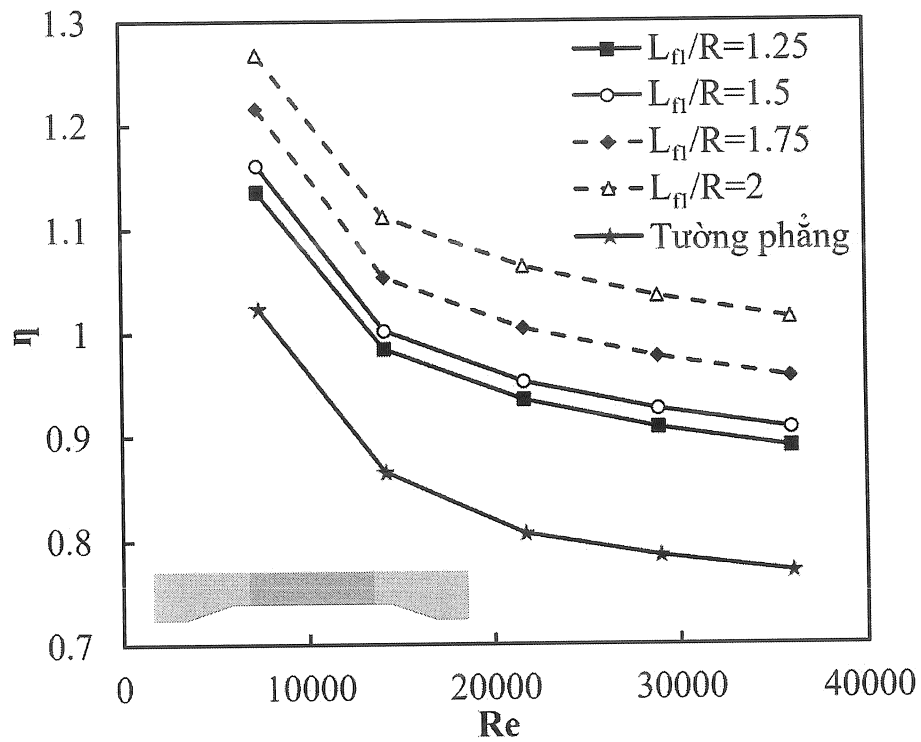


Hình 5C

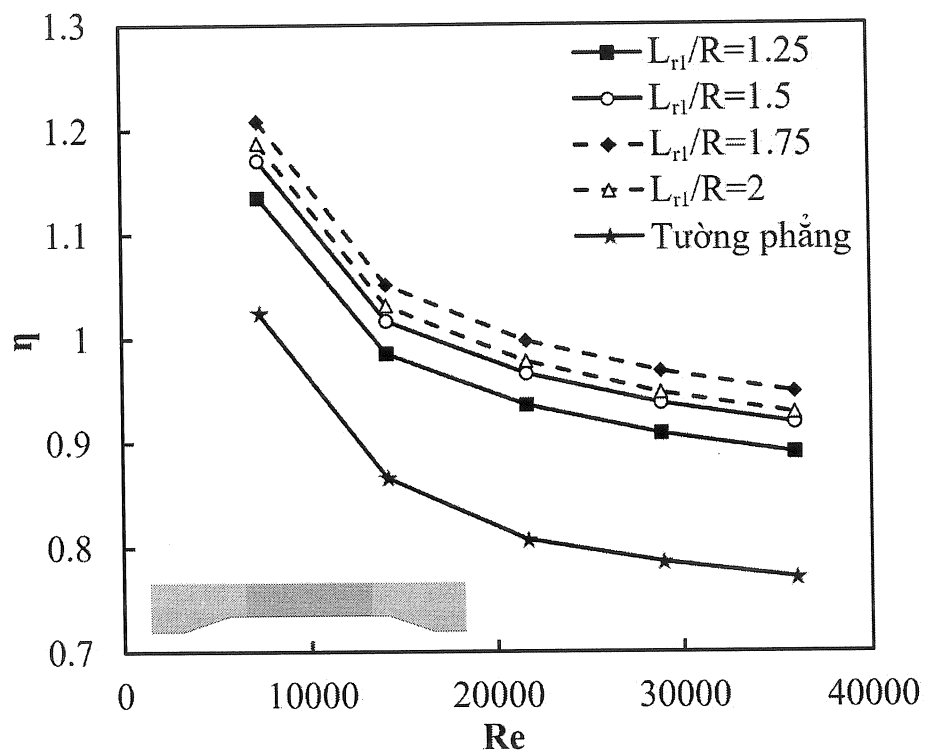


Hình 6A

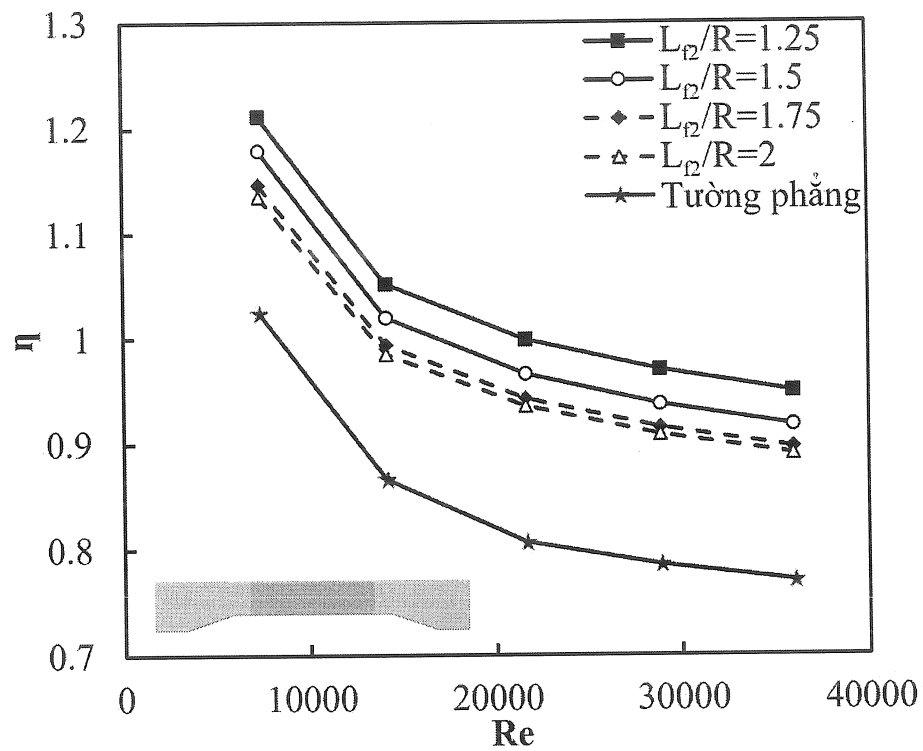
Hình 6B



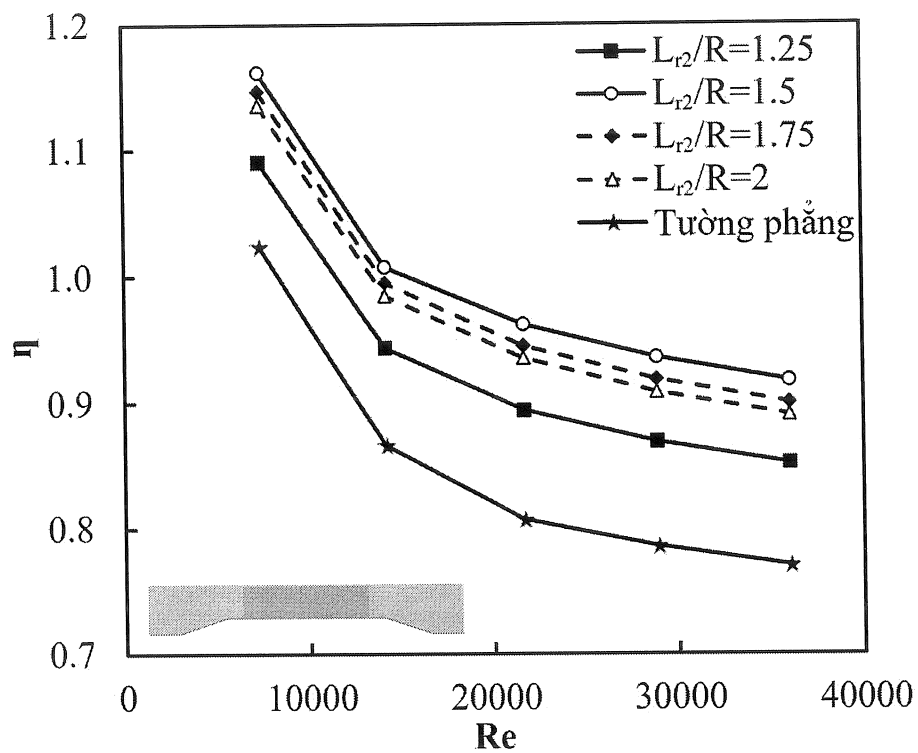
Hình 6C



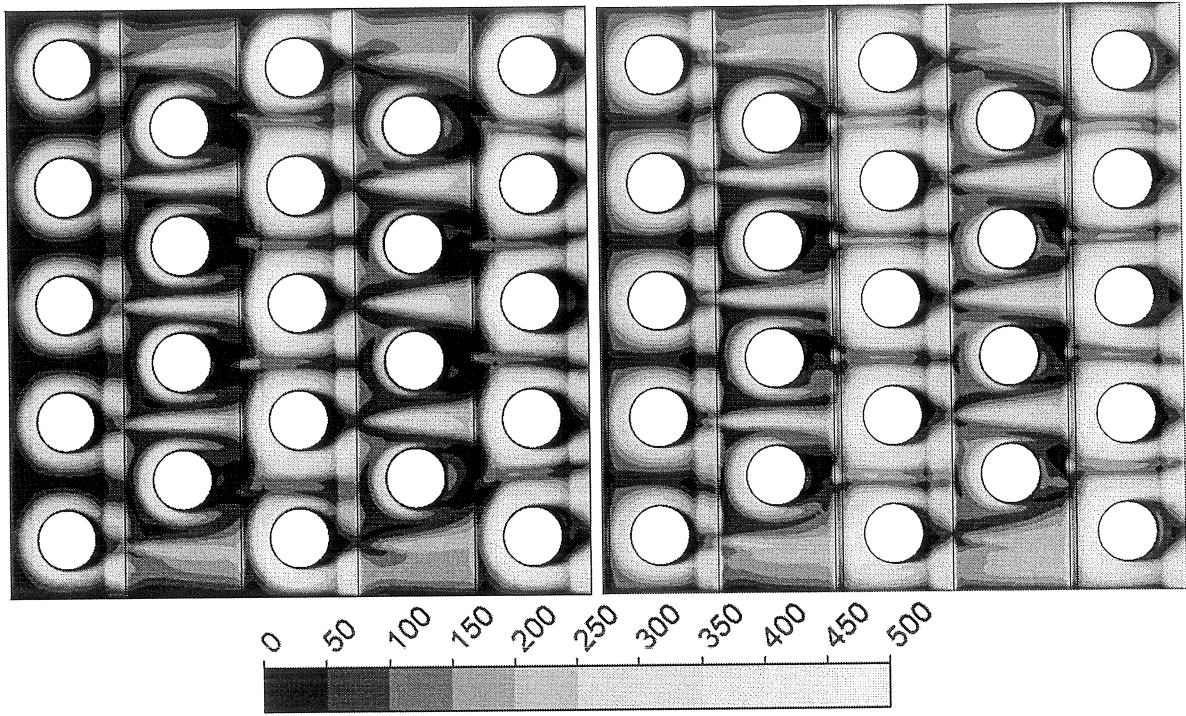
Hình 6D



Hình 6E

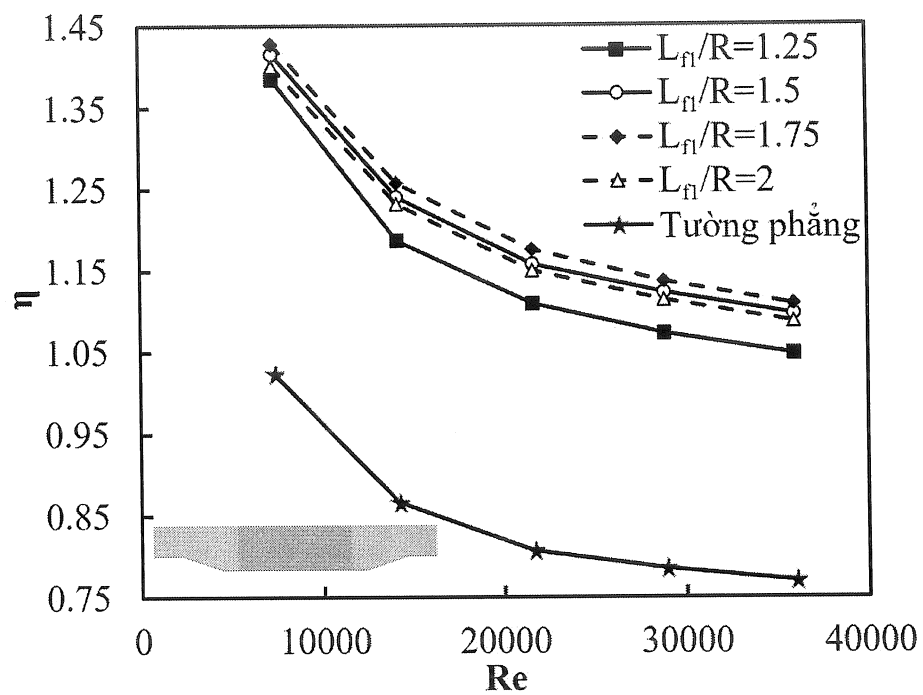


Hình 6F

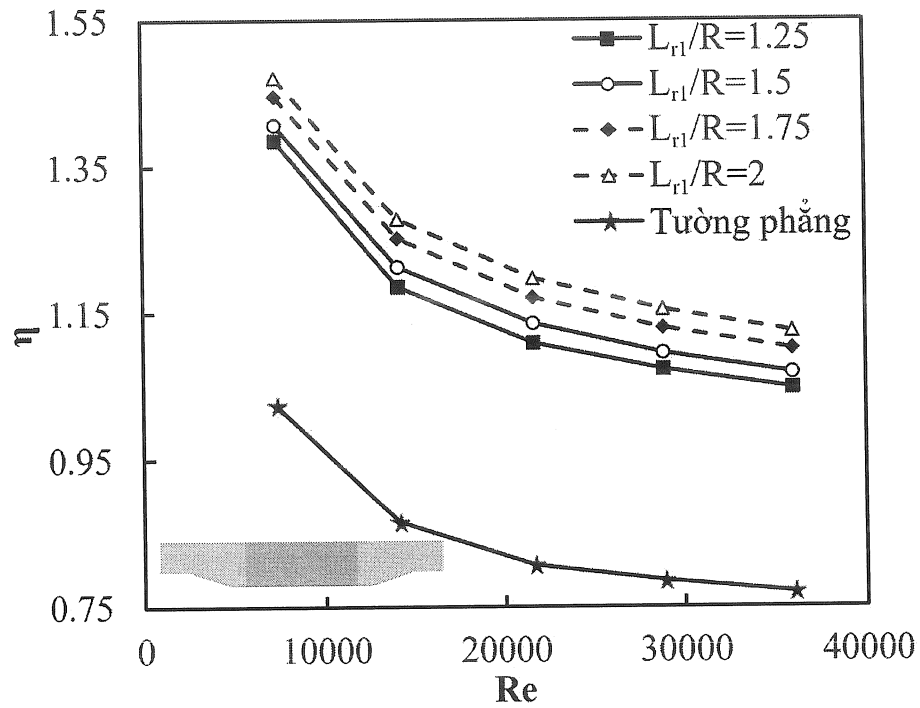


Hình 7A

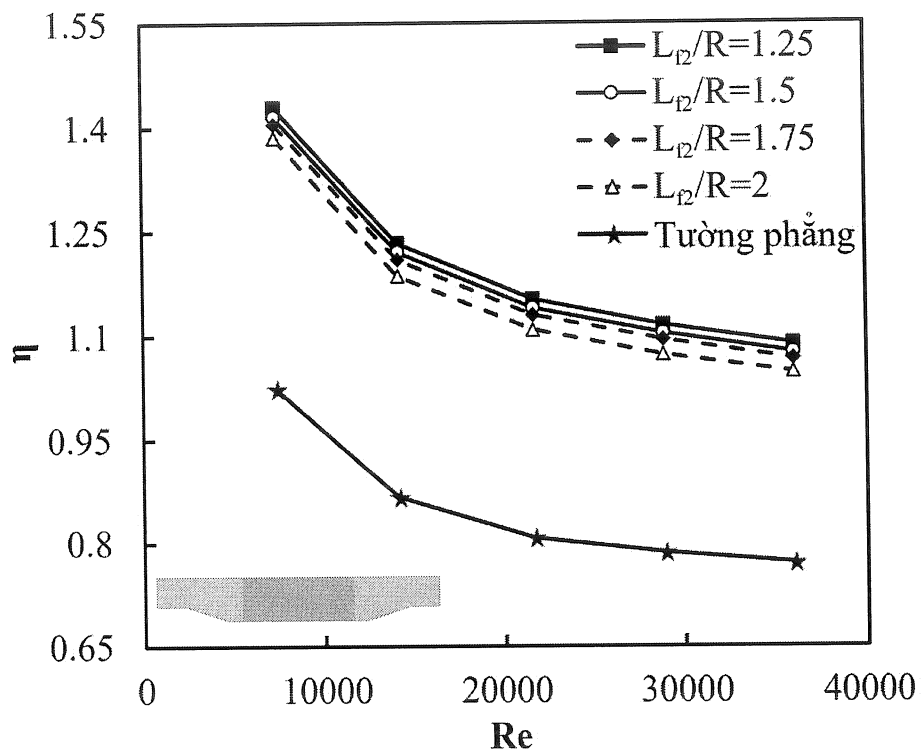
Hình 7B



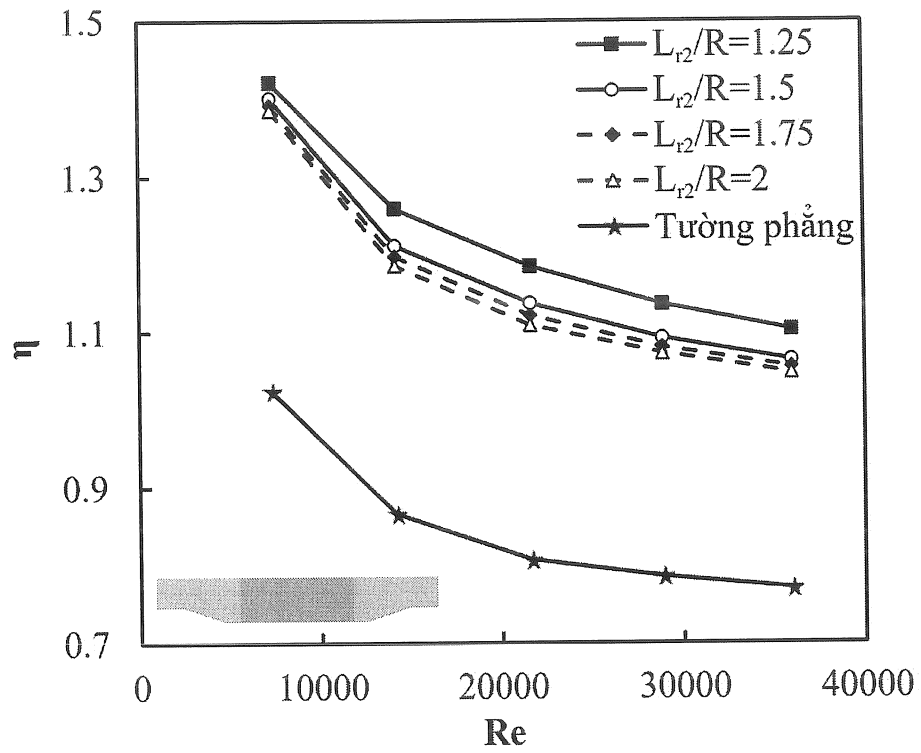
Hình 7C



Hình 7D



Hình 7E



Hình 7F