



(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)



1-0037922

(51)^{2020.01} F01D 5/18

(13) B

(21) 1-2022-00318

(22) 18/01/2022

(45) 25/12/2023 429

(43) 25/03/2022 408

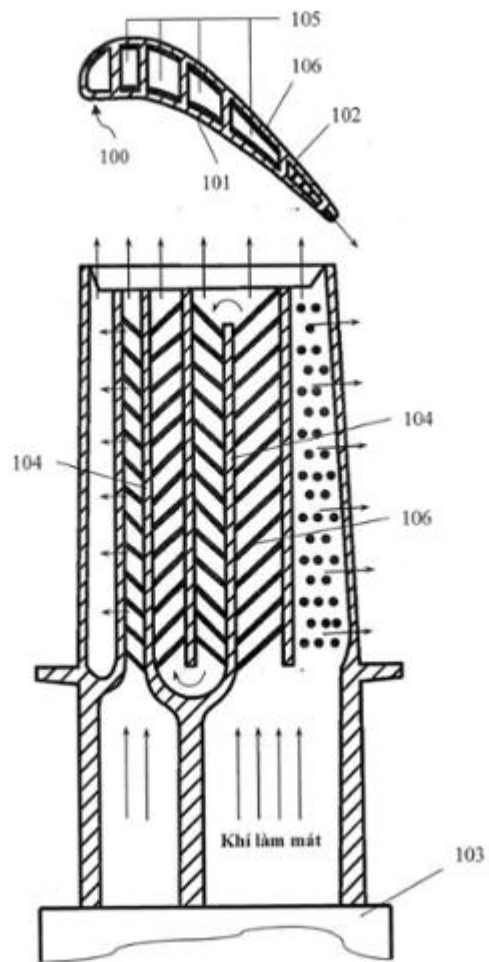
(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

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

(72) Đinh Công Trường (VN); Vũ Tài Duy (VN); Sung Goon Park (KR); Lê Xuân Trường (VN).

(54) CÁNH TUABIN KHÍ CÓ GÂN LÀM MÁT CẢI TIẾN

(57) Sáng chế đề cập đến cánh tuabin khí có gân làm mát cải tiến dùng trong động cơ tuabin khí, bao gồm: thành bên áp cao, thành bên áp thấp, và để tạo thành không gian bên trong cánh tuabin. Trong cánh tuabin có nhiều vách ngăn chia không gian bên trong cánh tuabin thành nhiều kênh làm mát, nhiều gân làm mát dạng thanh nổi giữa các vách ngăn liền kề cắt ngang kênh làm mát, trong đó: các gân làm mát cách với các mặt trong của thành bên áp cao và thành bên áp thấp một khoảng h_c và nghiêng một góc $\alpha < 90^\circ$ so với hướng di chuyển của khí làm mát. Chiều cao (e) của gân làm mát so với bề mặt trong của các thành bên bằng chiều rộng của gân làm mát và tỷ lệ h_c/e nằm trong khoảng 10% - 30%.



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 gân làm mát cải tiến 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. Các nhà nghiên cứu luôn cố gắng chế tạo động cơ tuabin khí mạnh hơn bằng nhiều cách khác nhau. Tăng nhiệt độ đầu vào tuabin là một trong những cách hiệu quả để tăng cường lực đẩy của tuabin khí. Tuy nhiên, cánh tuabin làm việc vượt quá nhiệt độ cho phép dẫn đến ăn mòn nhiệt và giảm tuổi thọ. Do đó, nhiều phương pháp làm mát bên trong cánh đã được nghiên cứu, sáng chế để hạ nhiệt độ của cánh tuabin, trong đó, phương pháp làm mát bên trong lá cánh được đánh giá là hiệu quả và đã được áp dụng trong các lá cánh tuabin của động cơ phản lực. Trong phương pháp này, các lá cánh tuabin được tạo các kênh làm mát bên trong (cooling channel), và khí làm mát (coolant) có nhiệt độ thấp hơn được trích từ bộ phận máy nén được dẫn vào các kênh làm mát này. Bên trong các kênh làm mát, các gân gồ ghề (rib turbulator) được tạo ra nhằm làm tăng sự rối của khí làm mát, qua đó làm tăng khả năng làm mát bằng trao đổi nhiệt đối lưu (convective heat transfer).

Tuy nhiên, sự tồn tại của các gân 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 gân làm mát trong các kênh thẳng. Chẳng hạn, Park và cộng sự đã nghiên cứu sự truyền nhiệt của kênh tỉ lệ chiều rộng/chiều cao (W/H) và thông số góc tấn công của sườn bằng thực nghiệm, kết quả cho thấy rằng kênh có tỷ lệ thấp ($W/H < 1$) thì hiệu suất trao đổi nhiệt thấp nhất. Đối với kênh vuông ($W/H = 1$), gân chéo góc $60^\circ/45^\circ$ mang lại khả năng truyền nhiệt tốt nhất. Đối với kênh có tỷ lệ thấp ($W/H < 1$), hiệu suất trao đổi

hiệt cao thu được ở gân với góc nghiêng $45^\circ/60^\circ$, trong khi gân với góc nghiêng $30^\circ/45^\circ$ cho thấy hiệu suất truyền nhiệt tốt hơn trong trường hợp kênh có tỷ lệ cao ($W/H > 1$). (Xem tài liệu: Park, J.S., Han, J.C., Huang, Y., Ou, S., and Boyle, R.J. 1992. “Heat Transfer Performance Comparisons of Five Different Rectangular Channels with Parallel Angled Ribs”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35(11), pp. 2891-2903). Chandra và cộng sự đã thử nghiệm ảnh hưởng của số lượng tường có gân trong kênh hình chữ nhật lên sự truyền nhiệt cục bộ. Kết quả chỉ ra rằng sự gia tăng số lượng tường có gân làm tăng cường độ trao đổi nhiệt nhưng cũng làm tăng tổn thất ma sát. Hơn nữa, sự tăng của tổn thất ma sát lớn hơn nhiều so với sự tăng khả năng truyền nhiệt. (Xem tài liệu: Chandra, P.R., Alexander, C.R., and Han, J.C. 2003. “Heat Transfer and Friction Behaviors in Rectangular Channels with Varying Number of Ribbed Walls”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, pp. 481-495). Lau và cộng sự đã nghiên cứu hiệu suất truyền nhiệt của các gân rời rạc bằng cách tiến hành thí nghiệm. Kết quả cho thấy rằng các gân nghiêng rời rạc 60° cung cấp khả năng tăng cường truyền nhiệt tốt hơn và các gân 30° cho thấy sự mất ma sát thấp nhất so với các gân ngang. (Xem tài liệu: Lau, S.C., McMillin, R.D., and Han, J.C. 1991. “Heat Transfer Characteristics of Turbulent Flow in a Square Channel with Angled Discrete Ribs”. *Journal of Turbomachinery*, 113(3), pp. 367-374).

Zheng và cộng sự thực hiện mô phỏng số để khảo sát ảnh hưởng của hình dạng gân đối với sự truyền nhiệt. Kết quả chỉ ra rằng vùng xoáy lớn được tìm thấy ở phía sau, kèm theo một xoáy nhỏ ở vùng lân cận của góc dưới cùng của gân. Vùng được bao phủ bởi các xoáy lớn này thường được coi là vùng truyền nhiệt kém. (Xem tài liệu: Zheng, S., Ji, T., Xie, G., and Sundén, B. 2014. “On the improvement of the poor heat transfer lee-side regions of square cross-section ribbed channels”. *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*, 66(9), pp. 963–989). Ảnh hưởng của gân nghiêng được nghiên cứu bởi Kaewchoothong và cộng sự mô phỏng số được thực hiện để nghiên cứu trong nghiên cứu này. Kết quả cho thấy sự tăng cường truyền nhiệt tối đa xuất hiện gần mép đầu của gân do dòng bám lại. Trong khi đó, vùng mép sau có sự phân bố truyền nhiệt thấp nhất do sự phát triển của lớp

biên. (Xem tài liệu: Kaewchoothong, N., Maliwan, K., Takeishi, K., and Nuntadusit, C. 2017. “Effect of inclined ribs on heat transfer coefficient in stationary square channel”. Theoretical and Applied Mechanics Letters, 7, pp. 344–350).

Tóm lại, vẫn có nhu cầu cải thiện hơn nữa khả năng trao đổi nhiệt đối với loại cánh tuabin có các gân làm mát ở bên trong, nhờ đó nâng cao hiệu suất trao đổi nhiệt của cánh tuabin khí.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là để nâng cao hiệu suất trao đổi nhiệt, khắc phục những nhược điểm nêu trên.

Để đạt được mục đích đó, sáng chế đề xuất cánh tuabin khí có gân làm mát cải tiến có hiệu suất trao đổi nhiệt cao hơn đáng kể so với cánh tuabin có gân làm mát đã biết. Cụ thể hơn, sáng chế hướng tới việc cải tiến cánh tuabin khí có gân 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:

$$\eta = \left(\frac{N_u}{N_{u0}} \right) / \left(\frac{f}{f_0} \right)^{1/3}$$

trong đó:

N_u (chỉ số Nussels) đặc trưng cho khả năng trao đổi nhiệt đối lưu trong trường hợp ống có gân làm mát, là tỉ số giữa trao đổi nhiệt đối lưu và dẫn nhiệt

N_{u0} là hệ số Nusselts với trường hợp ống trơn

f là hệ số ma sát trong trường hợp ống có gân làm mát

f_0 là hệ số ma sát trong trường hợp ống 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 giải pháp đã biết. Các tác giả sáng chế đã

nghiên cứu và đề xuất cánh tuabin khí có gân làm mát được cải tiến thỏa mãn yêu cầu nêu trên.

Theo đó, cánh tuabin theo sáng chế có cấu tạo bao gồm thành bên áp cao, thành bên áp thấp, và để tiếp giáp với thành bên áp cao và thành bên áp thấp nêu trên tạo thành không gian rỗng bên trong cánh tuabin. Không gian rỗng này là nơi khí làm mát đi vào để làm mát bề mặt của các thành bên áp cao và thành bên áp thấp, tức là làm mát cánh tuabin.

Không gian rỗng bên trong cánh tuabin được ngăn cách bởi nhiều vách ngăn, các vách ngăn này liên kết thành bên áp cao và thành bên 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 bên áp cao và thành bên áp thấp. Khí làm mát sẽ lưu thông theo các kênh làm mát này để làm mát cánh tuabin.

Khác biệt ở chỗ, nhiều gân làm mát để làm mát cánh tuabin khí dạng thanh nối giữa các vách ngăn liền kề cắt kênh làm mát tại các vị trí mà cách với các mặt trong của thành bên áp cao và thành bên áp thấp một khoảng trống có độ cao h_c .

Tốt hơn là các gân làm mát nghiêng một góc $\alpha < 90^\circ$ so với hướng di chuyển của dòng khí làm mát.

Tốt nhất là góc nghiêng của các gân làm mát $\alpha = 45^\circ$ để đạt được hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất giữa thành cánh tuabin và khí làm mát.

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 h_c/e khác nhau của gân làm mát theo sáng chế, trong đó e là chiều rộng của gân làm mát cũng là chiều cao của gân so với bề mặt trong của thành cánh tuabin. Các hình mô phỏng cho thấy các thông số về khe hở h_c của gân tác động tích cực đến cấu trúc dòng chảy. Nếu h_c/e nằm trong khoảng 10% - 30%, hiệu suất truyền nhiệt η được chứng minh là được cải thiện đáng kể đối với mọi giá trị của chỉ số Reynolds, ví dụ 10095, 21462, 37392, 53697 và nằm trong khoảng 1,54 – 1,64, cao hơn đáng kể so với phương án đã biết khi $h_c = 0$ với chỉ số η nằm trong khoảng 1,15 – 1,34.

Tốt hơn là tỷ lệ h_c/e nằm trong khoảng 15%-25%, khi đó η thu được sẽ nằm trong khoảng 1,54 – 1,60.

Tốt hơn nữa là tỷ lệ h_c/e là 20%, khi đó η thu được sẽ nằm trong khoảng 1,60 – 1,64.

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 gân làm mát cải tiến theo sáng chế.

Hình 1C là hình vẽ thể hiện cách bố trí các gân làm mát của cánh tuabin theo sáng chế.

Hình 2 là hình vẽ mặt cắt của gân làm mát của cánh tuabin cải tiến theo sáng chế thể hiện khe hở h_c được tạo ra giữa gân làm mát và mặt trong của thành bên của cánh tuabin.

Hình 3A là hình mô phỏng bằng máy tính, thể hiện hình chiếu bằng của phân bố đường dòng số Nusselt trên bề mặt kênh làm mát theo các phương án của sáng chế.

Hình 3B là hình mô phỏng bằng máy tính, thể hiện sự phân bố dòng chảy rối xảy ra khi dòng khí làm mát đi qua các kênh làm mát theo các phương án của sáng chế trên mặt phẳng cách tường phía bên trái theo hướng dòng chảy là 5% (nơi có phân bố số Nuselt lớn nhất) so với độ rộng của kênh.

Hình 4 là đồ thị so sánh hiệu suất trao đổi nhiệt giữa các phương án theo sáng chế và với giải pháp đã biết.

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 4. 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 (100) có gân làm mát để làm mát 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 100. Cánh tuabin này là nơi tiếp nhận dòng khí nhiệt độ cao, đến 1100°C , từ buồng đốt của động cơ để tạo ra năng lượng cho động cơ phản lực. Cánh này gồm có thành bên áp cao (101), thành bên áp thấp (102), và đế (103) tiếp giáp với thành bên áp cao (101) và thành bên 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 bên áp cao và thành bên áp thấp, tức là làm mát cánh tuabin 100.

Không gian rỗng bên trong cánh tuabin được ngăn cách bởi nhiều vách ngăn (104), các vách ngăn này liên kết thành bên áp cao (101) và thành bên áp thấp (102) để chia không gian bên trong cánh tuabin nêu trên thành nhiều kênh làm mát (105) xuất phát từ đế (103) và kéo dài giữa thành bên áp cao (101) và thành bên 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 (100).

Nhiều gân làm mát (106) để làm mát cánh tuabin khí (100) dạng thanh nổi giữa các vách ngăn (104) liền kề cắt kênh làm mát (105) tại các vị trí mà cách với các mặt trong của thành bên áp cao (101) và thành bên áp thấp (102) một khoảng trống có độ cao được ký hiệu là h_c , như thể hiện trên Hình 2.

Tốt hơn là các gân làm mát (106) nghiêng một góc $\alpha < 90^{\circ}$ so với hướng di chuyển của dòng khí làm mát.

Tốt nhất là góc nghiêng của các gân làm mát $\alpha = 45^{\circ}$ để đạt được hiệu suất trao đổi nhiệt cao nhất giữa thành cánh tuabin và khí làm mát, như thể hiện trên Hình 1C.

Hình 2 cũng thể hiện chiều cao của gân làm mát (106) so với bề mặt trong của các thành bên (101) và (102) bằng với chiều rộng của gân làm mát (106) và cùng được ký hiệu là e .

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 về tỷ lệ h_c/e

khác nhau của gân làm mát theo sáng chế. Các hình ảnh mô phỏng được thể hiện trên Hình 3A (hình chiếu bằng) là hình mô phỏng trên máy tính phân bố đường dòng số Nusselt trên bề mặt kênh làm mát và Hình 3B (mặt cắt dọc) là hình mô phỏng trên máy tính cấu trúc dòng chảy của khí làm mát khi đi qua gân làm mát, có tiết diện hình vuông đã biết và các phương án có khe hở theo sáng chế. Các hình mô phỏng cho thấy các thông số về khe hở h_c của gân tác động tích cực như thế nào đến cấu trúc dòng chảy. Nếu h_c/e nằm trong khoảng 10% - 30%, các vùng có màu sẫm ở phía sau gân làm mát (thể hiện sự phân bố dòng rối) trải rộng hơn so với phương án đã biết trong tình trạng kỹ thuật. Hiệu suất truyền nhiệt vì thế được cải thiện đáng kể. Cụ thể như sau:

Ở phương án đã biết với gân làm mát được gắn liền với thành cánh tuabin, có thể thấy các dòng rối khí làm mát phía sau gân bị treo lơ lửng, không tiếp xúc với thành bên của cánh nên không có sự trao đổi nhiệt giữa khí làm mát và thành cánh tuabin. Hiệu suất trao đổi nhiệt giữa thành bên và dòng khí làm mát vì thế là thấp.

Ở phương án tỷ lệ $h_c/e = 10\%$, khe hở h_c hẹp, phần lớn dòng rối khí làm mát phía sau gân vẫn bị treo lơ lửng, ít tiếp xúc với thành bên của cánh, nên hiệu suất trao đổi nhiệt vẫn còn thấp.

Ở phương án tỷ lệ $h_c/e = 15\%$, khe hở h_c tăng so với phương án trên, nhưng vẫn còn hẹp, phần lớn dòng rối khí làm mát phía sau gân vẫn bị treo lơ lửng, ít tiếp xúc với thành bên của cánh, nên hiệu suất trao đổi nhiệt tuy có tăng so với phương án trên, nhưng vẫn còn thấp.

Ở phương án tỷ lệ $h_c/e = 20\%$, khe hở h_c tăng so với phương án trên, phần lớn dòng rối khí làm mát phía sau gân không còn bị treo lơ lửng, tiếp xúc nhiều với thành bên của cánh, nên hiệu suất trao đổi nhiệt tăng đáng kể so với các phương án trên.

Ở các phương án tỷ lệ $h_c/e = 25\%$ và 30% , khe hở h_c tăng lên so với các phương án trên, luồng khí làm mát đi qua khe hở h_c tăng lên, dòng rối khí làm mát phía sau gân bị treo lơ lửng dần lên, sự tiếp xúc nhiều với thành bên của cánh lại giảm dần, nên hiệu suất trao đổi nhiệt giảm dần so với phương án $h_c/e = 20\%$.

Các thử nghiệm mô phỏng được thực hiện với các tỷ lệ h_c/e khác nhau như trên với các chỉ số Reynolds khác nhau (10095, 21462, 37392, 53697).

Đồ thị trên Hình 4 thể hiện sự so sánh hiệu suất truyền nhiệt (η – trực đứng) giữa gân vuông đã biết trong tình trạng kỹ thuật và tất cả các phương án của gân theo sáng chế. Có thể thấy rằng hiệu suất trao đổi nhiệt của gân vuông 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 $h_c/e=20\%$ của sáng chế là cao nhất với mọi giá trị của Re.

Cụ thể, nếu h_c/e nằm trong khoảng 10% - 30%, hiệu suất truyền nhiệt η được chứng minh là được cải thiện đáng kể đối với mọi giá trị của chỉ số Reynolds, ví dụ 10095, 21462, 37392, 53697 và nằm trong khoảng 1,54 – 1,64, cao hơn đáng kể so với phương án đã biết khi $h_c = 0$ với chỉ số η nằm trong khoảng 1,15 – 1,34.

Với phương án tỷ lệ h_c/e nằm trong khoảng 15%-25%, η thu được nằm trong khoảng 1,54 – 1,60.

Với phương án tỷ lệ h_c/e là 20%, η thu được có giá trị cao nhất và nằm trong khoảng 1,60 – 1,64, tương ứng với cánh tuabin có hiệu quả trao đổi nhiệt tốt nhất với mọi giá trị Re (xem trên Hình 4).

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Cánh tuabin có gân làm mát cải tiến theo sáng chế có hiệu quả trao đổi nhiệt cao hơn đáng kể so với cánh tuabin có gân đã biết trong tình trạng kỹ thuật ở tất cả các giá trị của chỉ số Reynolds, nhờ đó cánh được làm mát hiệu quả, tăng hiệu suất của động cơ và làm tăng tuổi thọ của cánh tuabin.

Yêu cầu bảo hộ

1. Cánh tuabin khí (100) bao gồm:

thành bên áp cao (101), thành bên áp thấp (102), và đế (103) tiếp giáp với thành bên áp cao (101) và thành bên áp thấp (102) nêu trên tạo thành không gian bên trong cánh tuabin (100);

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

các gân làm mát (106) để làm mát cánh tuabin khí (100) dạng thanh nối giữa các vách ngăn (104) liên kết cắt ngang kênh làm mát (105),

trong đó:

các gân làm mát (106) cách với các mặt trong của thành bên áp cao (101) và thành bên áp thấp (102) một khoảng (h_c) và nghiêng một góc $\alpha < 90^\circ$ so với hướng di chuyển của khí làm mát;

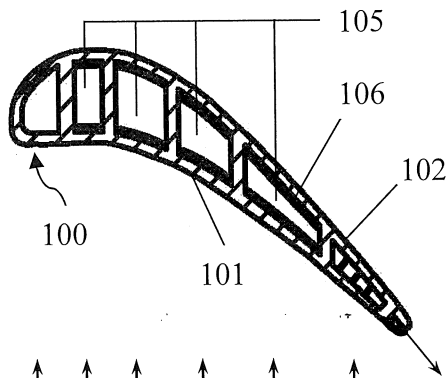
chiều cao (e) của gân làm mát (106) so với bề mặt trong của các thành bên (101 và 102) bằng chiều rộng của gân làm mát (106), và

tỷ lệ h_c/e nằm trong khoảng 10% - 30%.

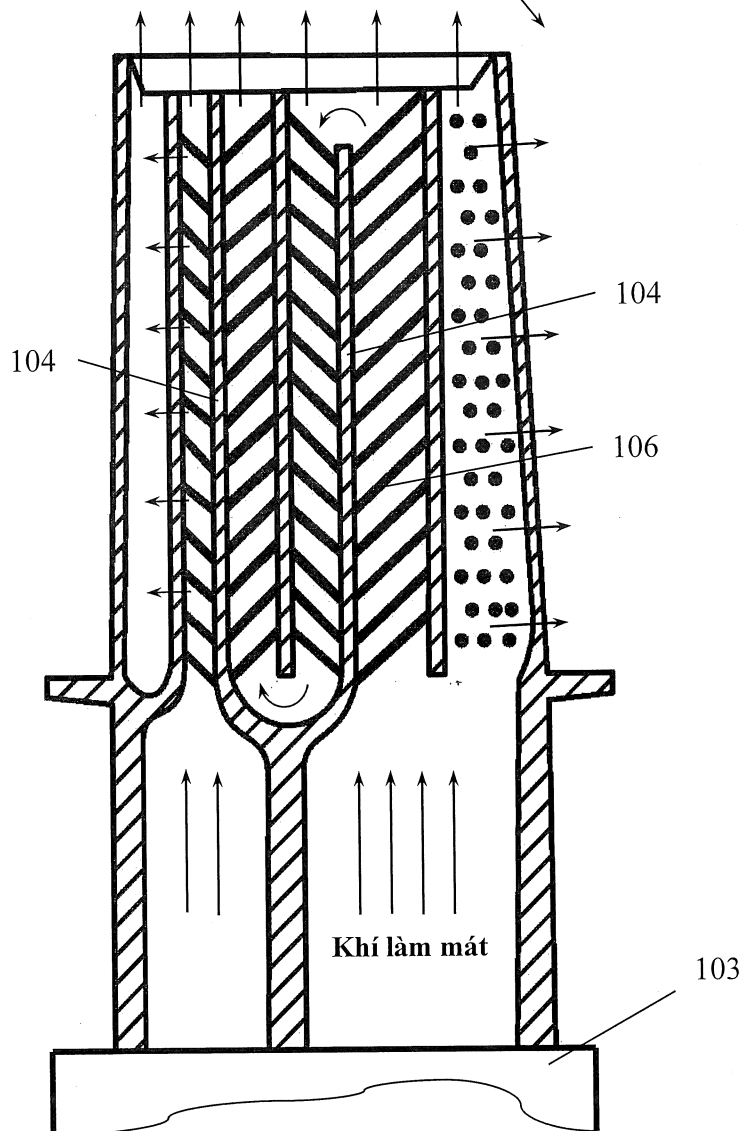
2. Cánh tuabin khí (100) theo điểm 1, trong đó góc $\alpha = 45^\circ$.

3. Cánh tuabin khí (100) theo điểm 1 hoặc 2, trong đó tỷ lệ h_c/e nằm trong khoảng 15% - 25%.

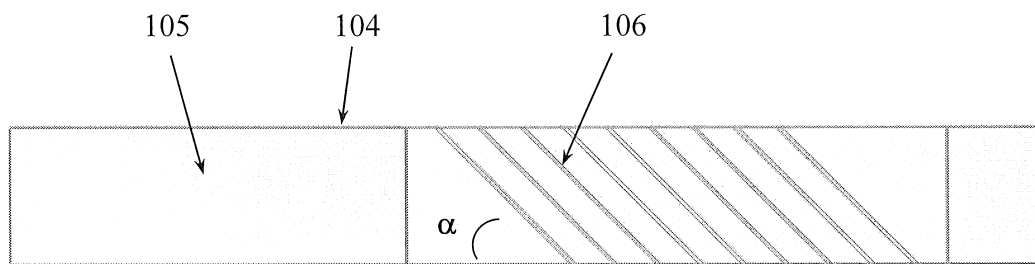
4. Cánh tuabin khí (100) theo điểm bất kỳ trong số các điểm nêu trên, trong đó tốt hơn nữa là tỷ lệ h_c/e bằng 20%.



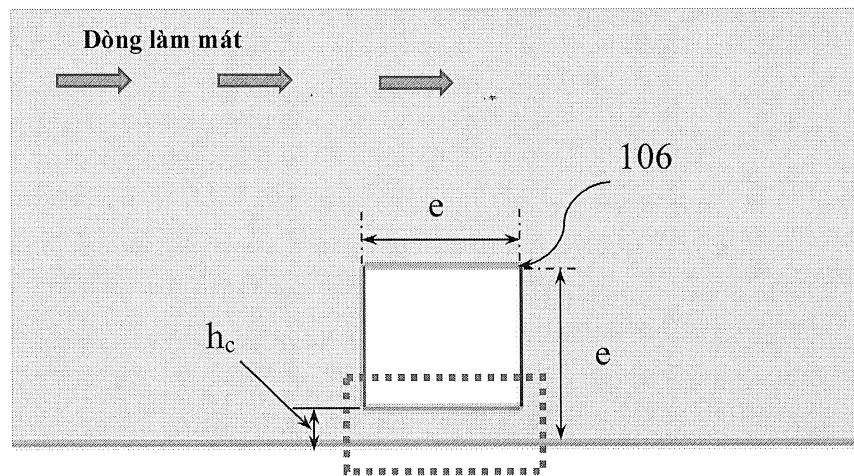
Hình 1A



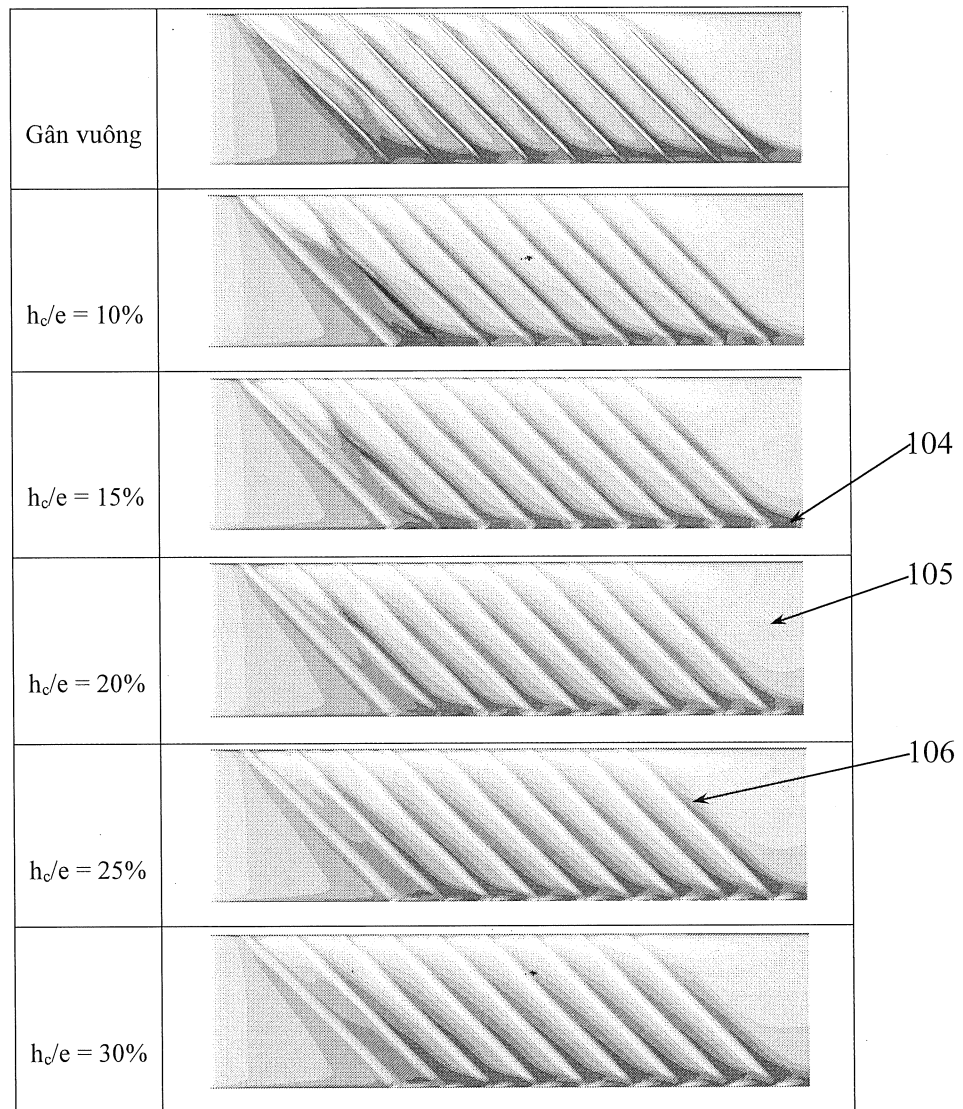
Hình 1B



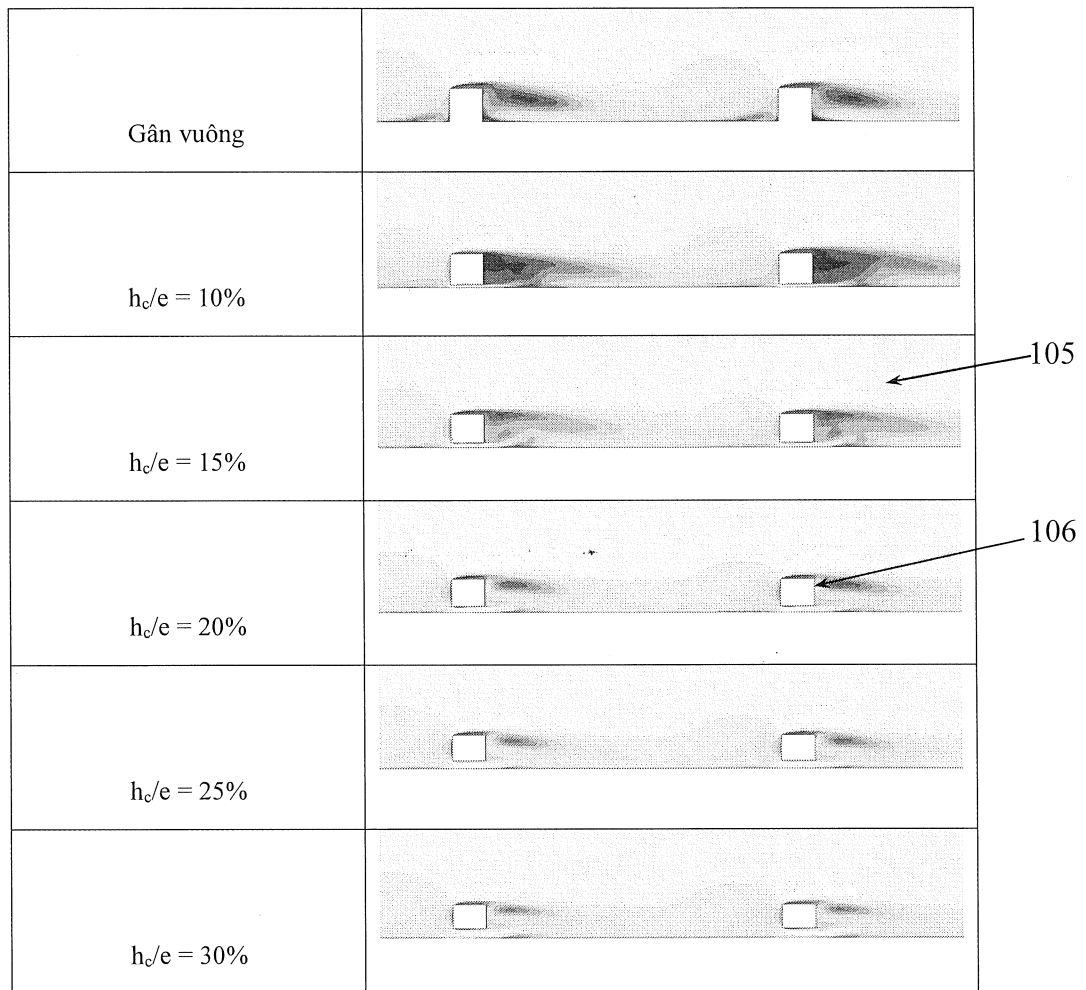
Hình 1C



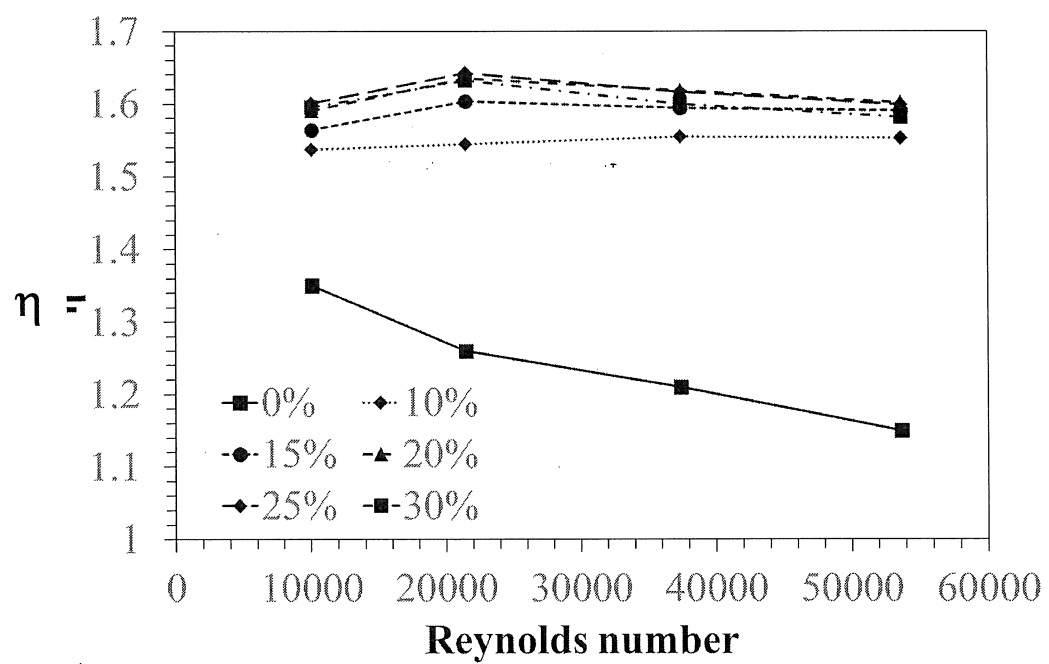
Hình 2



Hình 3A



Hình 3B



Hình 4