

NGHIÊN CỨU, MÔ PHỎNG SỰ PHÂN BỐ ÁP SUẤT CỦA ĐỆM KHÍ TRỤY TRONG Ổ KHÍ QUAY CAO TỐC

RESEARCH, SIMULATION OF PRESSURE DISTRIBUTION ON CURVED AIR BEARING IN HIGH SPEED AIR BEARING

Trương Minh Đức

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 02/03/2021, chấp nhận đăng ngày 12/05/2021

Tóm tắt: Hiện nay ổ khí quay cao tốc là một trong những giải pháp rất hiệu quả thường được áp dụng cho những bộ truyền động chính xác và định tâm cao. Trong bài báo này, trên cơ sở ứng dụng phần mềm Ansys, mô phỏng và tính toán sự phân bố áp suất trên bề mặt đệm khí bằng phương pháp phần tử hữu hạn nhằm giảm thiểu khối lượng tính toán, tạo ra hình ảnh trực quan về sự phân bố áp suất trên bề mặt đệm khí và xác định lực nâng của đệm khí.

Từ khóa: Đệm khí, phần tử hữu hạn, áp suất phân bố.

Abstract: Currently, high speed air bearing is one of the most effective solutions that are often applied to precise actuators. In this paper, based on the application of ANSYS software to simulate and calculate the distribution of air pressure on the surface of the air bearing by the finite element method to reduce the volume of calculation, create a visual representation of the pressure distribution on the its surface and calculate the lift force.

Keywords: Air bearing, finite element method, air pressure distribution

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

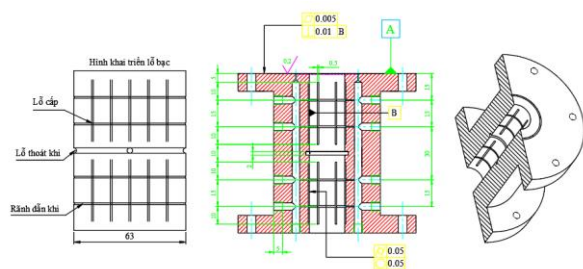
Việc gia công những lỗ bé có độ chính xác cao đòi hỏi trục chính phải có tốc độ nhanh và ổn định trong quá trình gia công. Khi khoan lỗ đường kính càng bé thì tốc độ cắt càng phải cao. Tuy nhiên, khi quay với tốc độ cao thì ổ bi sinh nhiệt do ma sát, dẫn đến giảm tuổi thọ của ổ bi. Bên cạnh đó là sự mài mòn sau thời gian dài hoạt động sẽ tạo ra các khe hở trong ổ trục dẫn đến sai lệch khi gia công. Do đó sẽ không đáp ứng được yêu cầu khi gia công các lỗ nhỏ có độ chính xác cao. Vì thế giải pháp đưa ra là cần thiết kể một loại ổ trục mới quay được ở tốc độ cao đáp ứng yêu cầu đặt ra và phương án lựa chọn ở đây là thiết kế ổ trục đệm khí cao tốc.

Công nghệ ổ trục đã ra đời từ lâu và được nghiên cứu phát triển tối ưu qua từng thời kì. Ổ trục đệm khí có đặc tính kỹ thuật hơn hẳn ổ trượt và ổ lăn về tốc độ cũng như độ chính xác. Một số ưu điểm nổi bật của ổ trục đệm khí như ma sát và mài mòn gần bằng không, tốc độ và độ chính xác cao, và không yêu cầu dầu bôi trơn là những lợi thế mạnh mẽ cho thiết kế máy hiện nay. Tuy nhiên cho đến nay, những lợi ích này vẫn chưa được sử dụng triệt để vì ổ trục đệm khí rất khó để sản xuất chính xác các chi tiết cấu thành cũng như lý thuyết ổ trục đệm khí còn khá mới mẻ. Vì vậy, sau khi tính toán thiết kế xong trước khi thực hiện gia công chế tạo, một trong những giải pháp hay được sử dụng là ứng dụng phần mềm chuyên dụng để mô phỏng và tính toán các đặc trưng

khí tĩnh của các chi tiết trong ổ trục đệm khí. Trên cơ sở các kết quả mô phỏng thì các điều kiện ổn định đã đưa ra trong phần tính toán thiết kế sẽ được kiểm nghiệm. Đồng thời có thể thay đổi các yếu tố đầu vào và điều kiện biên đặt ra để phân tích các phương án thiết kế, lựa chọn phương án thiết kế tối ưu, giảm thời gian chế tạo thử nghiệm nhằm nâng cao hiệu quả của quá trình thiết kế và chế tạo ổ trục. Chính vì vậy, trong bài báo này, tác giả sẽ nghiên cứu ứng dụng phần mềm ANSYS để mô phỏng sự phân bố áp suất trên bề mặt đệm khí trụ để xác định lực nâng của đệm khí ứng dụng trong ổ khí quay cao tốc để sử dụng trên máy khoan lỗ nhỏ [5].

2. MÔ HÌNH HÓA ĐỆM KHÍ DẠNG TRỤ

Đệm khí mặt trụ được mô phỏng tính toán như trong hình 1.

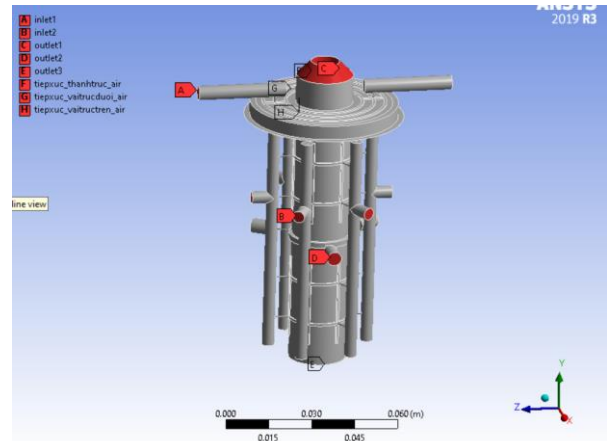


Hình 1. Kích thước thiết kế chi tiết bạc trong mô hình ổ khí quay [7]

Khí nén với áp suất không đổi được cấp qua 2 lỗ thổi đường kính $\Phi 5$, sau đó chảy qua lỗ tiết lưu $d_1 = 0.5$ mm đi vào các rãnh dẫn khí và đi ra bề mặt đệm khí.

Dựa trên đường đi khí như vậy, một mô hình toán học để mô phỏng đệm khí trụ đã được xây dựng trong Ansys như hình 2. Trong mô hình mô phỏng này, khí được cấp ra màng khí qua 6 đường cấp khí vào kích thước 5mm, qua 24 lỗ tiết lưu kích thước $\Phi 0,5$ mm phân bố đều trên 4 vành tròn dẫn khí từ đường cấp khí lớn vào các rãnh khí. Khe hở khí khảo sát đầu tiên là 5 μ m. Mô hình này sẽ tương ứng với

phần chất khí chiếm chỗ trong đệm khí. Đây là bài toán phân tích dòng khí sử dụng phần mềm Ansys CFX. Mục đích của bài toán là khảo sát phân bố áp suất trên bề mặt đệm khí.



Hình 2. Mô hình đệm khí trụ trong phần mềm ANSYS

2.1. Chia lưới

Việc chia lưới cho mô hình này được thực hiện trên cơ sở các điều kiện biên bằng cách ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Đặc biệt, để đảm bảo độ chính xác của kết quả tính toán thì việc chia lưới cần phải phù hợp với mô hình. Trong ANSYS hai chỉ số đánh giá chất lượng lưới Element quality càng tiệm cận 1 thì càng tốt. Element quality: 0-0.001 (unacceptable), 0.001-0.14 (bad), 0.15-0.20 (acceptable), 0.20-0.69 (good), 0.70-0.95 (very good), 0.95-1.00 (excellent). Skewness càng tiệm cận 0 thì càng tốt. Chỉ số này đánh giá độ cong vênh chuyển tiếp giữa các phần tử kế tiếp nhau. Skewness: 0-0.25 (excellent), 0.25-0.50 (very good), 0.50-0.80 (good), 0.80-0.94 (acceptable), 0.95-0.97 (bad), 0.98-1.00 (unacceptable). Việc chia lưới được chọn loại lưới ô hình tam giác Element quality không vượt quá 0.85.

- Kết quả chia lưới được đánh giá theo 2 chỉ số:

Element quality: 0.82815;

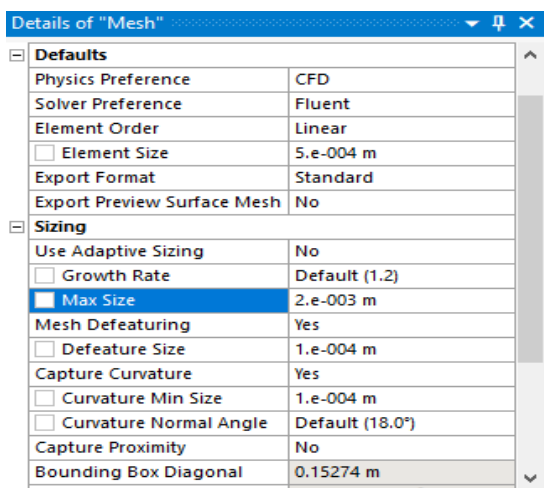
Skewness: 0.23378.

▪ Vì trong mô hình tồn tại các tiếp xúc giữa mặt cong và mặt phẳng, những điểm này khiến cho việc lựa chọn phần tử bậc 2 (quadratic element) sẽ trở nên phức tạp. Sau khi cân nhắc các mặt lợi và hại, phần tử bậc 1 (linear element) được chọn để sử dụng trong mô hình chia lưới.

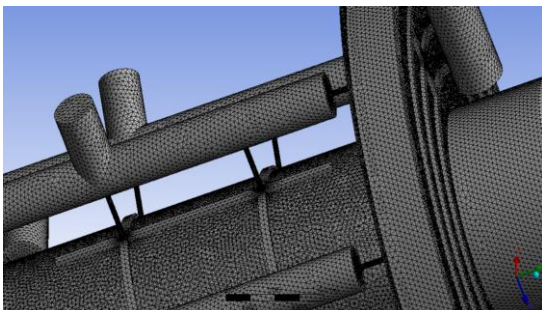
▪ Mô hình được chia lưới được chú trọng hơn tại các mặt khảo sát và các khe hở với kích cỡ nhỏ (từ 1-23 μm , ở những khe nhỏ này kích cỡ phần tử được đặt giá trị tối đa có thể đạt đến 1 μm .

(Các mặt cần được chú trọng chia lưới - hình 4).

▪ Các giá trị chi tiết của chia lưới chọn theo hình số 3 với các chú ý element size, max size, defeature size, curvature min size. [3].



Hình 3. Thiết lập tham số chia lưới



Hình 4. Kết quả cận cảnh chia lưới

2.2. Điều kiện biên

▪ Áp suất đầu vào 4 bar, áp suất đầu ra 0 bar

+ Dòng chảy liên tục.

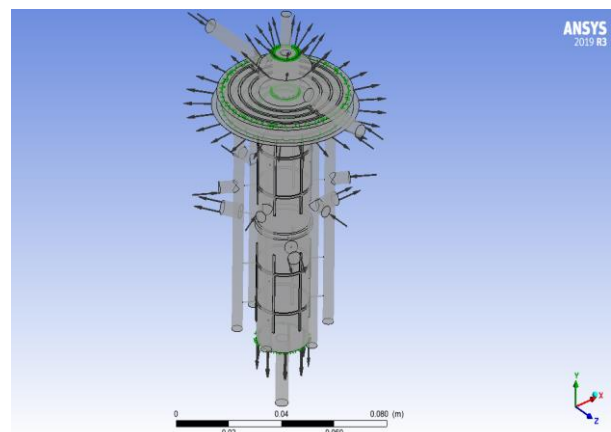
▪ Bề mặt: Sau khi gia công, hầu hết các chi tiết đều tồn tại những mấp mô, dựa theo trình độ gia công tại các cơ sở sản xuất và yêu cầu chế tạo trong thực nghiệm, độ nhám bề mặt trong mô phỏng được đặt theo giá trị trung bình phù hợp nhất: 0.32 micron.

Các bề mặt tiếp xúc với trục quay được cho quay quanh 1 trục đối xứng với tốc độ 20000 rpm để mô phỏng chuyển động quay của trục trong ổ khí.

▪ Chất khí: Trong điều kiện tĩnh, lớp khí giữa các khe hở không có sự xáo trộn giữa các lớp, nhưng khi trục quay hoạt động ở tốc độ quay lớn, lớp khí xuất hiện sự xáo trộn, vì vậy chọn điều kiện biên: dòng chảy rối - mô hình k-epsilon.

Lựa chọn đặc điểm của chất khí trong mô phỏng phổ thông nhất: khối lượng riêng: 1.185 kg/m^3 và có nhiệt độ đẳng nhiệt: 25°C.

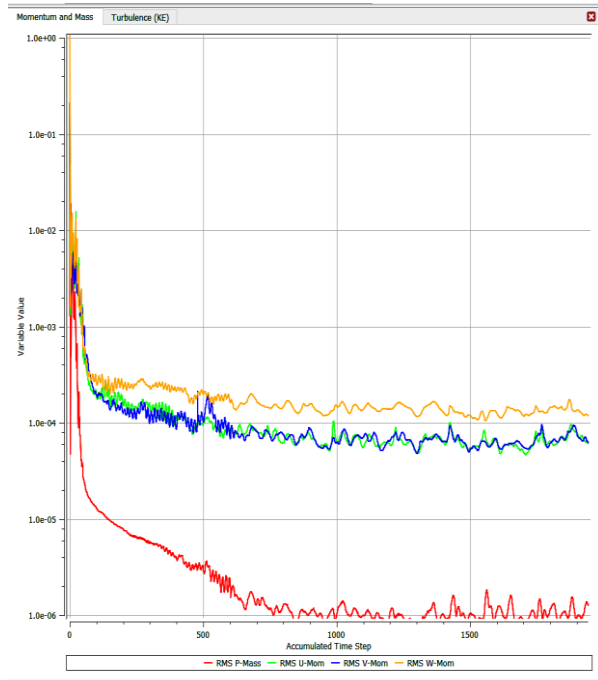
▪ Thiết lập độ chính xác giữa các bước lặp (mặc định) và số bước lặp: 3000-5000.



Hình 5. Mô tả đường khí vào và ra sau khi nhập điều kiện biên

Sau khi đã thiết lập chia lưới và nhập các thông số điều kiện biên dựa vào lý thuyết và kinh nghiệm trong quá trình mô phỏng. Công đoạn này rất quan trọng nó quyết định đến việc tính toán có chính xác của kết quả mô phỏng.

2.3. Tính toán mô phỏng

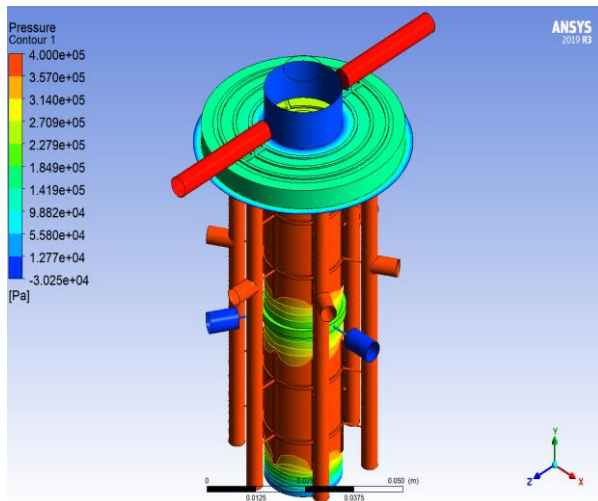


Hình 6. Phần mềm Ansys thực hiện tính toán trên phương pháp phân tử hữu hạn

Từ hình ảnh kết quả tính toán trên hình 6 ta thấy từ vòng lặp 600 đồ thị tương đối ổn định và đạt được độ tụ.

3. KẾT QUẢ

3.1. Phân bố áp suất

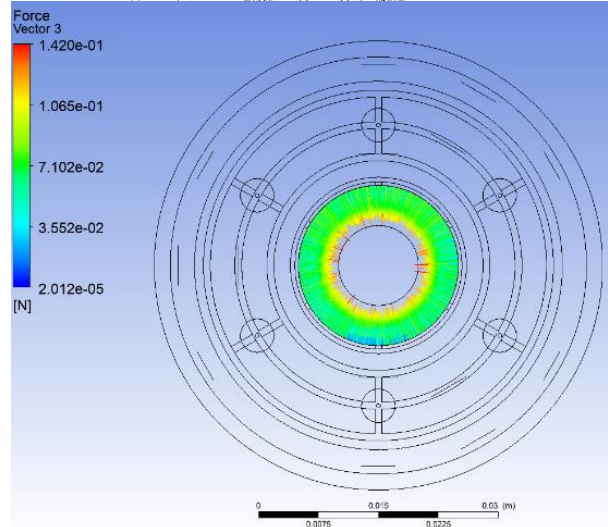
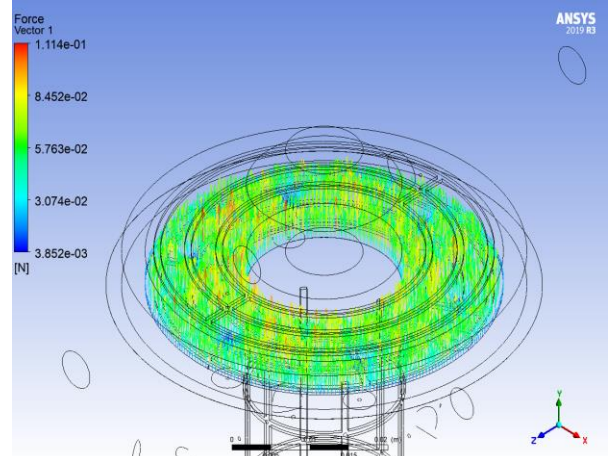
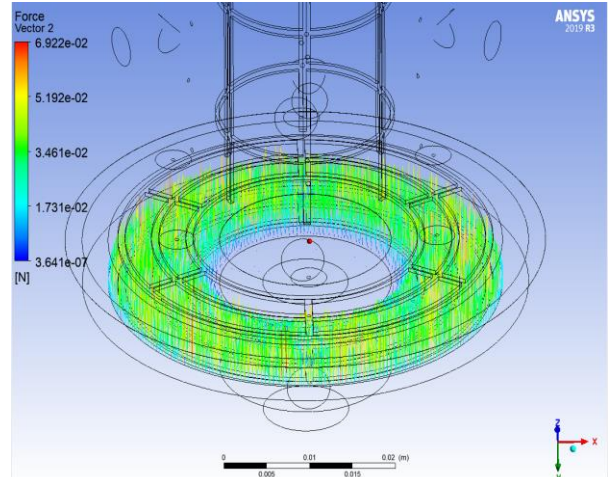


Hình 7. Kết quả mô phỏng phân bố áp suất

Có thể thấy áp suất phân bố trong mô hình 7 phân bố đều trên bề mặt và trên vai trục có giá

trị áp suất trung bình trên các bề mặt bằng 339499 Pa. Giá trị áp suất trung bình trên vai trục bằng 127923Pa (theo kết quả trích xuất từ mô phỏng).

3.2. Phân bố lực đẩy tại vai và trục



Hình 8. Phân bố lực ở vai trên, vai dưới và trục

Kết quả:

Lực trên thân trục khi cân bằng: 115.238 N;

Lực vai trục trên: 314.262 N;

Lực vai trục dưới: 179.841 N;

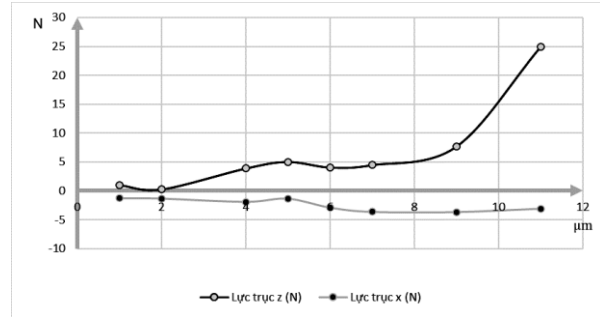
Nhận xét: Lực tác động vai trục dưới thấp hơn là hoàn toàn hợp lý vì khi có tải gia công sẽ có lực tác động của dao để cân bằng với lực vai trục trên. Lực trên thân trục nhìn chung được phân bố đều do đó các lực sẽ triệt tiêu nhau và cân bằng trục trong quá trình quay.

3.3. Lực lệch trục khỏi vị trí cân bằng

Kết quả khảo sát lực hướng tâm lên trục quay (trục y) khi bị lệch khỏi vị trí cân bằng (theo chiều âm của trục z) ở các trường hợp khe hở khác nhau.

Bảng 1. Kết quả khảo sát theo trục z

Độ lệch (µm)	Lực trục z (N)	Lực trục x (N)
1	1.00048	-1.26065
2	0.235899	-1.33247
4	3.86705	-1.8891
5	5.0159	-1.33818
6	4.04914	-2.89903
7	4.4536	-3.64427
9	7.63698	-3.68028
11	24.939	-3.09046



Hình 9. Đồ thị quan hệ giữa khe hở và lực hướng tâm

Nhận xét: Từ bảng 1 và đồ thị hình 9 ta nhận thấy kết quả khảo sát các trường hợp khe hở khác nhau 1 µm, 2 µm 4 µm, 5 µm, 6 µm, 7 µm, 9 µm, 11 µm lực theo trục x tương đối ổn định, lực tác dụng theo trục y tăng khi khe hở từ 9 µm. Do đó khi thiết kế trục khe hở tốt nhất là 1 µm đến 9 µm độ định tâm trục sẽ cao và sẽ ổn định trong gia công.

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu nhận thấy việc ứng dụng phần mềm Ansys trong mô phỏng đệm khí sẽ giúp nâng cao được hiệu quả kinh tế kỹ thuật của quá trình thiết kế chế tạo đệm khí trụ nói riêng và ổ khí quay cao tốc nói chung. Vì trên cơ sở việc mô phỏng này sẽ giúp xác định được sự phân bố áp suất trên bề mặt đệm khí trụ và lực nâng của đệm khí. Do đó, bằng cách thay đổi các thông số kết cấu của đệm và điều kiện biên, thì qua việc tính toán mô phỏng có thể xác định được các thông số kỹ thuật tối ưu của đệm khí với lực nâng và độ cứng vững lớn nhất. Vì vậy, việc mô phỏng này sẽ giúp giảm bớt được chi phí và thời gian trong khâu chế tạo thử nghiệm sản phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] PGS.TS Nguyễn Doãn Ý, “*Giáo trình ma sát mòn bôi trơn*”, NXB Xây dựng (2005).
 [2] Vũ Duy Quang, Phạm Đức Nhuận, “*Giáo trình kỹ thuật thủy khí*”, NXB Khoa học và Kỹ thuật (2009).
 [3] Đinh Bá Trụ, Hoàng Văn Lợi, “*Hướng dẫn sử dụng Ansys*”, Học viện Kỹ thuật quân sự (2003).
 [4] Nguyễn Xuân Toàn, “*Công nghệ bôi trơn*”, NXB Bách khoa (2007).
 [5] J.W. Powell, “*Design of Aerostatic Bearings*”, The Machinery Publishing Co, Ltd (1970).

- [6] Mohammad Akhondzadeh; Mehrdad Vahdati, “*Experimental investigation on effect of number and size of rectangular air pockets on air spindle vibrations in nanomachining*”, Journal of Engineering Manufacture, Vol 227, Issue 2, (2013) 227(2) 281-285.
- [7] Vu Toan Thang; Truong Minh Duc; Nguyen Trong Dat; Nguyen Thanh Trung; Vu Thanh Tung “*Simulation in design air spindle with orifice and distribution grooves*”, International Journal of Modern Physic B Int. Jour. Mod. Phy. (2020) Vol. 34, Nos. 22-24 2040132.

Thông tin liên hệ: **Truong Minh Đức**

Điện thoại: 0912370199 - Email: tmduc@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.