



(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)



1-0036021

(51)^{2021.01} F16C 33/46; F16C 33/00

(13) B

(21) 1-2018-04769

(22) 25/10/2018

(45) 26/06/2023 423

(43) 25/10/2019 379A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân đội (VN)

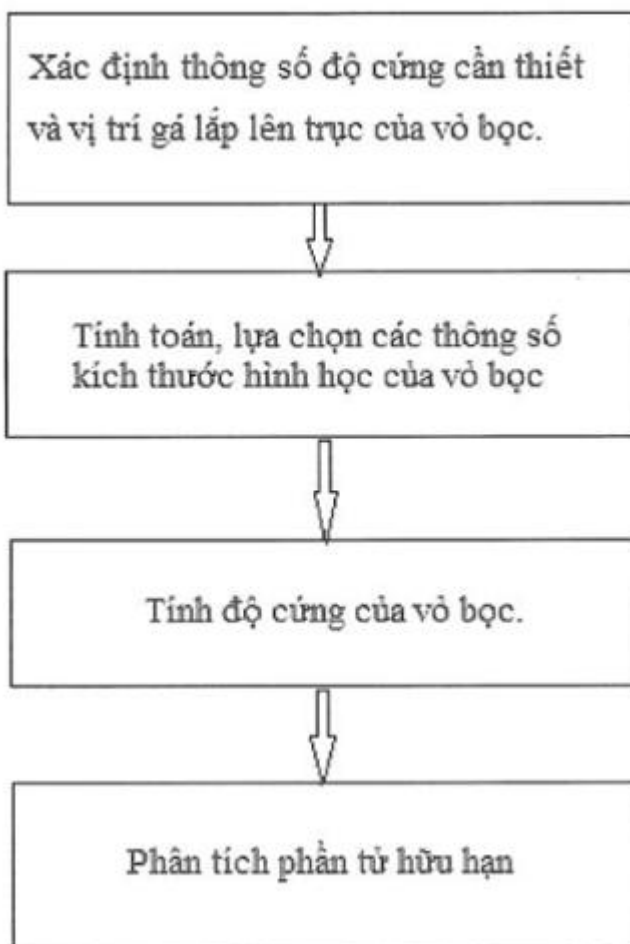
Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Văn Lợi (VN); Chu Duy Lành (VN); Nguyễn Minh Trí (VN); Hoàng Nhật Minh (VN); Đinh Xuân Bằng (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ VỎ BỌC VÒNG BI GIẢM CHẤN

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi sử dụng trên các trục quay có tốc độ vòng quay lớn. Sáng chế đưa ra cơ cấu và phương pháp thiết kế, hình dạng cấu trúc vỏ bọc vòng bi, nguyên lý hoạt động, nguyên lý giảm chấn của vỏ bọc và cách lắp ghép tương đối với phần tĩnh của thiết bị (stator) và vòng bi.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi giảm chấn sử dụng trên các trục quay có tốc độ vòng quay lớn ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như hàng không vũ trụ, công nghệ đóng tàu và đặc biệt là các ngành công nghiệp liên quan tới động cơ tuốc bin, máy phát năng lượng.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Hiện nay, trong các ngành hàng không, công nghiệp đóng tàu, công nghiệp máy phát năng lượng, ứng dụng rất nhiều các thiết bị, cơ cấu phức tạp, hoạt động với tốc độ vòng quay lớn điển hình như các loại động cơ tuốc bin khí, tuốc bin hơi ...

Đối với các thiết bị hoạt động có tốc độ vòng quay lớn như các loại động cơ tuốc bin thì việc đảm bảo cho chúng hoạt động tin cậy, ổn định là tối quan trọng. Rung động luôn là bài toán thách thức đối với các loại trục quay. Đặc biệt đối với các loại trục quay có tốc độ vòng quay lớn thì rung động và trạng thái cộng hưởng sẽ gây ra nhiều hậu quả nghiêm trọng như làm tăng nhanh biên độ dao động, gây mất cân bằng cho trục quay và thiết bị từ đó dẫn đến giảm hiệu suất làm việc, hỏng hóc và gây mất an toàn.

Vỏ bọc vòng bi trong các thiết bị có trục quay với tốc độ vòng quay lớn như động cơ tuốc bin có tác dụng dẫn truyền tải trọng từ phần quay (rotor) đến phần tĩnh của thiết bị (stator). Vỏ bọc cùng lúc phải chịu đồng thời hai loại tải trọng là tải trọng động và tải trọng tĩnh. Nhưng nhiệm vụ quan trọng hơn của vỏ bọc đó là làm giảm độ rung của trục quay cũng như của thiết bị, tránh trạng thái cộng hưởng cho trục quay khi hoạt động, từ đó nâng cao hiệu suất làm việc, kéo dài tuổi thọ và nâng cao độ an toàn khi thiết bị hoạt động.

Vòng bi (hay ổ lăn) là một thành phần của vỏ bọc, có tác dụng làm gối đỡ của trục quay, truyền tải trọng giữa phần quay và phần tĩnh của thiết bị. Tuy nhiên, các loại vòng bi (hay ổ lăn) hiện tại lại không có tác dụng giảm chấn cho trục quay.

Xuất phát từ bài toán đó, nhóm tác giả đề xuất một phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi sử dụng trên các trục quay có tốc độ vòng quay lớn, ứng dụng trong các thiết bị

sử dụng trong các ngành cơ khí hàng không, đóng tàu, máy năng lượng và đặc biệt các ngành có liên quan đến động cơ tuốc bin. Cơ cấu vỏ bọc vòng bi này sẽ có tác dụng thực hiện chức năng giảm chấn cho trục quay và thiết bị.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp thiết kế cơ cấu vỏ bọc vòng bi giảm chấn đảm bảo hạn chế đến mức thấp nhất rung động và cộng hưởng cho các trục quay với tốc độ vòng quay lớn.

Để đạt được các mục đích nêu trên, sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế cơ cấu vỏ bọc vòng bi giảm chấn, phương pháp này bao gồm các bước: bước 1: xác định thông số độ cứng cần thiết và vị trí gá lắp lên trục của vỏ bọc; bước 2: tính toán, lựa chọn các thông số kích thước hình học của vỏ bọc; bước 3: tính độ cứng của vỏ bọc; bước 4: phân tích phần tử hữu hạn.

Mô tả tóm tắt các hình vẽ

Hình 1 là giản đồ các bước thiết kế vỏ bọc vòng bi;

Hình 2 là hình dạng và các kích thước đặc tính của vỏ bọc vòng bi;

Hình 3 là tương quan vị trí và cách gá lắp tương đối của vỏ bọc với phần quay (rotor) và phần tĩnh của thiết bị (stator);

Hình 4 là phối cảnh 3D tổng thể cơ cấu vỏ bọc vòng bi.

Mô tả chi tiết các phương án sáng chế

Phần tiếp theo sẽ mô tả chi tiết về các phương án thực hiện sáng chế có dựa vào các hình vẽ kèm theo.

Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất cơ cấu vỏ bọc vòng bi giảm chấn sử dụng trên các trục quay có tốc độ vòng quay lớn ứng dụng trong các loại trục quay của động cơ tuốc bin.

Tham chiếu Hình 4, vỏ bọc vòng bi giảm chấn được đề xuất bao gồm các bộ phận: một vỏ bọc dạng ống trụ được khoét các khoang tạo thành nhiều thanh rãnh có kích thước chiều dài, chiều rộng, độ dày nhất định, hai chốt cố định vòng bi và các bu lông để cố định vỏ bọc với phần tĩnh của thiết bị.

Vỏ bọc vòng bi có dạng ống hình trụ được khoét các khoang hình chữ nhật tạo thành các thanh có chức năng như các thanh rầm. Độ cứng của vỏ bọc xác định bởi số lượng cũng như các kích thước chiều dài, chiều rộng và độ dày của các thanh rầm. Chính việc khoét các khoang trên đã làm giảm độ cứng của vỏ bọc từ đó làm giảm độ cứng của vỏ bọc vòng bi.

Độ cứng của vỏ bọc được xác định theo công thức:

$$c = \frac{nEbh(b^2 + h^2)}{2l^3}, \quad (2)$$

Trong đó:

c- Độ cứng của vỏ bọc (N/m).

n- Số lượng các thanh rầm.

E- Mô đun đàn hồi của vật liệu làm lên vỏ bọc. (Pa hay N/m²).

b- Chiều rộng của thanh rầm (m).

h- Độ dày của thanh rầm (m).

l- Chiều dài của thanh rầm (m).

Từ công thức trên có thể thấy nếu cố định độ cứng c thì ta có thể thay đổi các thông số như n, E, b, h, l để đạt được các thông số thiết kế về hình dạng, kích thước, vật liệu cho vỏ bọc sao cho phù hợp với kích thước vòng bi và độ cứng mà trục quay yêu cầu.

Theo công thức tính tần số dao động riêng của trục quay dưới đây:

$$\omega = \sqrt{c/m} \quad (3)$$

Trong đó:

ω -tần số dao động tới hạn của trục quay.

c-độ cứng của vỏ bọc vòng bi áp dụng lên trục quay.

m-khối lượng của trục quay.

Ta có thể thấy, nếu giảm độ cứng của vỏ bọc (giảm giá trị c) thì ω giảm, nghĩa là tần số dao động tới hạn của trục quay giảm. Như vậy độ cứng mà trục quay yêu cầu đã làm giảm tần số dao động tới hạn của nó và loại tần số đó ra khỏi vùng hoạt động của trục quay giúp nó tránh trạng thái cộng hưởng khi hoạt động.

Nếu tần số dao động tới hạn của trục quay nằm trong vùng tần số hoạt động của nó thì khi thiết bị, động cơ hoạt động, có thể xảy ra trạng thái cộng hưởng. Trạng thái cộng hưởng làm tăng nhanh độ rung cũng như biên độ dao động của trục quay gây ra hỏng hóc, mất an toàn. Cơ cấu vỏ bọc vòng bi, được đề xuất, sử dụng vỏ bọc mà trong đó có thành phần thực hiện chức năng giảm chấn. Vỏ bọc giảm chấn sẽ loại bỏ các tần số tới hạn ra khỏi vùng tần số hoạt động của trục quay. Từ đó giúp trục quay tránh được trạng thái cộng hưởng khi hoạt động.

Theo đó, các yêu cầu kỹ thuật đối với vỏ bọc vòng bi như sau:

- Phải có độ cứng xuyên tâm tối ưu, được xác định từ quá trình tính toán động học của hệ thống thiết bị, động cơ. Mục đích của quá trình tính toán đó là tránh để xảy ra trạng thái cộng hưởng trong vùng hoạt động của thiết bị, động cơ.
- Có chức năng giảm chấn nhất định nhằm giảm biên độ giao động của các chi tiết, mối ghép của thiết bị, động cơ trong các chế độ hoạt động.
- Cho phép biến dạng xuyên tâm với giá trị nhất định theo công thức sau:

$$\delta_0 = \frac{mn}{k} g + k_d e, \quad (1)$$

Trong đó:

k- Độ cứng của vỏ bọc vòng bi.

m- Khối lượng phần quay (rotor) tác dụng lên vỏ bọc đang xét.

n- Tải trọng tĩnh theo phương trục tung xuất hiện khi thiết bị, động cơ hoạt động khi bay. ($n = 2 \dots 2,5$).

g- Gia tốc rơi tự do.

k_d - hệ số tải trọng của điểm gá vỏ bọc ($k_d = 4 \dots 6$).

e- Tâm sai của khối lượng gây mất cân bằng phần quay (rotor) xuất hiện khi thiết bị, động cơ hoạt động.

- Để tránh biến dạng quá lớn, vỏ bọc vòng bi phải được giới hạn biến dạng xuyên tâm bằng cách giới hạn khe hở Δ tại vòng ngoài của vỏ bọc.
- Để đảm bảo phần quay (rotor) đồng t âm với phần tĩnh của thiết bị (stator) cần tính đến trọng lượng của phần quay (rotor) tác dụng lên vỏ bọc.
- Để đảm bảo thiết bị hoạt động ổn định và việc lắp ghép căng hay lỏng theo đúng thiết kế vỏ bọc cần được gia công chế tạo với độ chính xác cao.

Tham chiếu Hình 3, vỏ bọc vòng bi được cố định cứng một đầu với phần tĩnh của thiết bị (stator) đầu còn lại dùng để gá lắp vòng bi. Giữa vỏ ngoài của vỏ bọc và phần tĩnh của thiết bị (stator) phải có khe hở với kích thước Δ . Khe hở Δ có kích thước bằng độ biến dạng xuyên tâm lớn nhất của vỏ bọc và được tính theo công thức (1) đã nêu ở trên.

Trong quá trình hoạt động, dưới tác dụng của lực xuyên tâm từ phía vòng bi, tại các thanh rằm xuất hiện biến dạng và chuyển vị. Các thanh đó sẽ hoạt động như một thanh rằm được cố định một đầu và đầu kia có thể di chuyển dọc theo phương của trọng lực. Chuyển vị lớn nhất của các thanh rằm sẽ bị giới hạn bởi kích thước khe hở Δ . Việc các thanh rằm có thể chuyển vị đã làm giảm độ rung của trục quay từ đó giảm biên độ dao động của nó và các tải tác dụng lên các chi tiết, mối ghép trong thiết bị hoặc động cơ.

Để các thanh rằm có độ cứng giống nhau thì chúng phải có mặt cắt ngang là hình tròn. Nhưng vì giới hạn của công nghệ nên các thanh không được chế tạo với mặt cắt ngang hình tròn mà thay vào đó là các thanh có mặt cắt ngang là hình chữ nhật. Tuy nhiên cũng có thể chế tạo vỏ bọc với các thanh tròn bằng cách gia công các thanh riêng biệt rồi lắp ghép lại nhờ các loại mối ghép (ví dụ như mối ghép ren, mối hàn).

Cơ cấu vỏ bọc vòng bi được đề xuất thực hiện hai chức năng bao gồm: giảm độ cứng của vỏ bọc dẫn đến giảm tần số dao động tới hạn của trục quay khi quay với tốc

độ vòng quay lớn nhằm tránh trạng thái cộng hưởng của trục quay khi nó hoạt động ở các chế độ hoạt động khác nhau của thiết bị hay động cơ. Chuyển đổi năng lượng dao động của hệ thành nhiệt năng nhằm hạ thấp biên độ dao động, tải trọng động và ứng suất của các chi tiết, mối ghép trong thiết bị, động cơ.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi sử dụng trên các trục quay có tốc độ vòng quay lớn ứng dụng trong các loại trục quay của động cơ tuốc bin.

Tham chiếu Hình 1, phương pháp thiết kế vỏ bọc giảm chấn dựa trên kết quả của bài toán động học trục quay và bao gồm các bước sau:

Bước 1: xác định thông số độ cứng cần thiết và vị trí gá lắp lên trục của vỏ bọc.

Bước 2: tính toán, lựa chọn các thông số kích thước hình học của vỏ bọc.

Bước 3: tính độ cứng của vỏ bọc.

Bước 4: phân tích phần tử hữu hạn.

Phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi được thực hiện thông qua các chương trình, phần mềm tính toán được tích hợp từ trước vào máy tính như: phần mềm chuyên biệt tính toán độ cứng của vỏ bọc (Damper), phần mềm tính toán (Mathcad), phần mềm phân tích mô phỏng phần tử hữu hạn (Ansys). Để đạt được độ chính xác và chất lượng cấu hình vỏ bọc, phương pháp thiết kế được thực hiện kết hợp giữa các phương pháp tính toán giải tích và phân tích phần tử hữu hạn.

Các bước của phương pháp được trình bày dưới đây:

Bước 1: Xác định thông số độ cứng cần thiết và vị trí gá lắp lên trục của vỏ bọc.

Đối với mỗi trục quay đều có những đặc trưng về rung động và tần số dao động tới hạn. Trong những tham số đầu vào của bài toán động học trục quay có bao gồm độ cứng của vỏ bọc, khối lượng trục quay, tốc độ vòng quay của trục quay và sau khi giải bài toán đó nhờ các công cụ phần mềm tính toán (như phần mềm phân tích mô phỏng phần tử hữu hạn (Ansys) hoặc phần mềm phân tích động học phần quay (XL rotor), kết quả bài toán sẽ đưa ra các tần số tới hạn và biên độ dao động của trục quay tương ứng với từng giá trị độ cứng của vỏ bọc.

Người thiết kế sẽ phải lọc thủ công ra những giá trị độ cứng mà tại đó biên độ dao động của trục quay là nhỏ nhất và không lớn hơn giá trị khe hở Δ cùng các giá trị tần số tới hạn không nằm trong vùng hoạt động của trục quay. Những giá trị độ cứng đó gọi là những giá trị độ cứng thiết kế.

Độ cứng và đặc trưng giảm chấn của vỏ bọc chính là độ cứng và độ giảm chấn của vỏ bọc vòng bi. Những thông số về độ cứng và độ giảm chấn của vỏ bọc sẽ ảnh hưởng trực tiếp lên trạng thái dao động, biên độ dao động của trục quay cũng như của thiết bị.

Tiếp theo là lên phương án gá lắp vỏ bọc lên phần tĩnh của thiết bị (stator), có thể dùng mối ghép ren hoặc mối hàn hoặc bằng đinh tán nếu có thể. Vòng bi được cố định vào vỏ bọc nhờ hai chốt dạng vòng. Chú ý cách lắp căng, lắp hở với kích thước khe hở Δ được tính theo công thức (1) đã nêu ở trên.

Bước 2: Tính toán, lựa chọn các thông số kích thước hình học của vỏ bọc.

Sau khi đã có những giá trị độ cứng thiết kế cần dùng phần mềm tính toán (ví dụ Mathcad) để tính toán và lựa chọn các kích thước như đường kính trong và ngoài của vỏ bọc, chiều dài, chiều rộng và độ dày của các thanh rầm.

Từ công thức (2):

$$c = \frac{nEbh(b^2 + h^2)}{2l^3},$$

Trong đó:

c- Độ cứng của vỏ bọc (N/m).

n- Số lượng các thanh rầm.

E- Mô đun đàn hồi của vật liệu làm lên vỏ bọc. (Pa hay N/m²).

b- Chiều rộng của thanh rầm (m).

h- Độ dày của thanh rầm (m).

l- Chiều dài của thanh rầm (m).

Có thể thấy với mỗi giá trị độ cứng C thì có rất nhiều khả năng với các kích thước vỏ bọc n, b, h, l tương ứng:

C_1	n_1	b_1	h_1	l_1
	...	...	...	...
	n_n	b_n	h_n	l_n

Nhưng người thiết kế có thể giới hạn số lượng các tham số trên dựa vào các tiêu chí như độ dài cho phép của vỏ bọc phải phù hợp với thiết bị, đường kính trong của vỏ bọc phải ăn khớp với đường kính vòng bi đã thiết kế, số lượng các thanh rằm phải là số tự nhiên, các kích thước không được là những giá trị quá lẻ gây khó khăn cho việc gia công chính xác.

Sau khi đã tính toán xong cần lựa chọn ra một số phương án thỏa mãn yêu cầu thiết kế. Việc lựa chọn này sẽ giúp có thêm những phương án dự phòng nếu các khả năng về gia công chế tạo khó khăn hoặc không thể đáp ứng.

Bước 3: Tính độ cứng của vỏ bọc.

Trong bước này có thể dùng phần mềm tính toán giải tích (ví dụ Damper) để tính toán. Đầu vào của phần mềm là các kích thước dài, rộng, độ dày, mô đun đàn hồi của vật liệu chế tạo nên vỏ bọc và kích thước khe hở Δ . Phần mềm sẽ tính ra cho chúng ta độ cứng của vỏ bọc, ứng suất trên các thanh rằm.

Hoặc có thể dùng cách khác là tự tính toán bằng các công thức như:

Công thức tính độ cứng - công thức (2)

Công thức tính ứng suất trên các thanh rằm của vỏ bọc:

$$\sigma_d = \frac{3E\delta}{l^2} \left(h \cos \varphi + b \sin \varphi \right)$$

với

$$\varphi = \arctan \frac{b}{h} + \pi$$

Trong đó:

σ_d - ứng suất trên các thanh rầm.

E- Mô đun đàn hồi của vật liệu chế tạo vỏ bọc.

δ - kích thước khe hở Δ .

l- chiều dài thanh rầm.

h- độ dày các thanh rầm.

b- chiều rộng các thanh rầm.

Bước 4: Phân tích phần tử hữu hạn.

Cuối cùng là dùng phương pháp phần tử hữu hạn (sử dụng gói phần mềm Ansys) để mô phỏng lại các thông số hoạt động của vỏ bọc tương ứng với các chế độ hoạt động của trục quay. Cụ thể đây là một phương pháp mô phỏng số, phần mềm sẽ cho phép cài đặt vật liệu, cố định vật thể, đặt các tải trọng tác động lên vật thể, chia lưới, tính toán và xem kết quả.

Từ các kết quả của bài toán, phần mềm sẽ xuất ra kết quả như ứng suất, chuyển vị của vỏ bọc. Khi xem kết quả cần so sánh lại giá trị chuyển vị của vỏ bọc với kích thước khe hở Δ . Chuyển vị của vỏ bọc phải nhỏ hơn giá trị khe hở Δ . Ứng suất trên các thanh rầm phải nhỏ hơn giới hạn đàn hồi của vật liệu.

Trong các bước tính toán trên cần sử dụng hệ thống máy tính đã được tích hợp sẵn các phần mềm cần thiết (Mathcad, Damper, Ansys).

Các lợi ích mà sáng chế đạt được

Sáng chế này cung cấp một cơ cấu vỏ bọc vòng bi và phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi sử dụng cho các trục quay có tốc độ vòng quay lớn đặc biệt là các loại trục quay ứng dụng trong các ngành như động cơ tuốc bin khí, tuốc bin hơi, máy năng lượng (dùng trong công nghiệp hàng không vũ trụ, công nghiệp máy phát năng lượng, đóng tàu). Giúp các loại trục quay cũng như thiết bị chứa trục quay đó hoạt động ổn định, tin cậy, đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu suất làm việc.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi giảm chấn, phương pháp này bao gồm các bước:

bước 1: xác định thông số độ cứng cần thiết và vị trí gá lắp lên trục của vỏ bọc, kết quả bài toán sẽ đưa ra các tần số tới hạn và biên độ dao động của trục quay tương ứng với từng giá trị độ cứng của vỏ bọc;

bước 2: tính toán, lựa chọn các thông số kích thước hình học của vỏ bọc; cụ thể tính toán và lựa chọn các kích thước như đường kính trong và ngoài của vỏ bọc, chiều dài, chiều rộng và độ dày của các thanh rãnh; tiếp đó, lựa chọn ra một số phương án thỏa mãn yêu cầu thiết kế;

bước 3: tính độ cứng của vỏ bọc, cụ thể bao gồm độ cứng của vỏ bọc, ứng suất trên các thanh rãnh bằng cách sử dụng thông số đầu vào là các kích thước dài, rộng, độ dày, mô đun đàn hồi của vật liệu chế tạo nên vỏ bọc và kích thước khe hở Δ ;

bước 4: phân tích phần tử hữu hạn, cụ thể: mô phỏng lại các thông số hoạt động của vỏ bọc tương ứng với các chế độ hoạt động của trục quay để xác định ứng suất, chuyển vị của vỏ bọc và tiến hành so sánh lại giá trị chuyển vị của vỏ bọc với kích thước khe hở Δ ;

trong đó:

vỏ bọc vòng bi giảm chấn là một vỏ bọc dạng ống trụ với nhiều thanh rãnh, chức năng giảm chấn chủ yếu do các thanh rãnh đảm nhiệm, hai chốt cố định vòng bi, các bu lông để cố định vỏ bọc vòng bi với phần tĩnh của thiết bị (stator).

2. Phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi giảm chấn theo điểm 1, tại bước xác định thông số độ cứng cần thiết và vị trí gá lắp lên trục của vỏ bọc:

sử dụng tham số đầu vào của bài toán động học trục quay có bao gồm độ cứng của vỏ bọc, khối lượng trục quay, tốc độ vòng quay của trục quay;

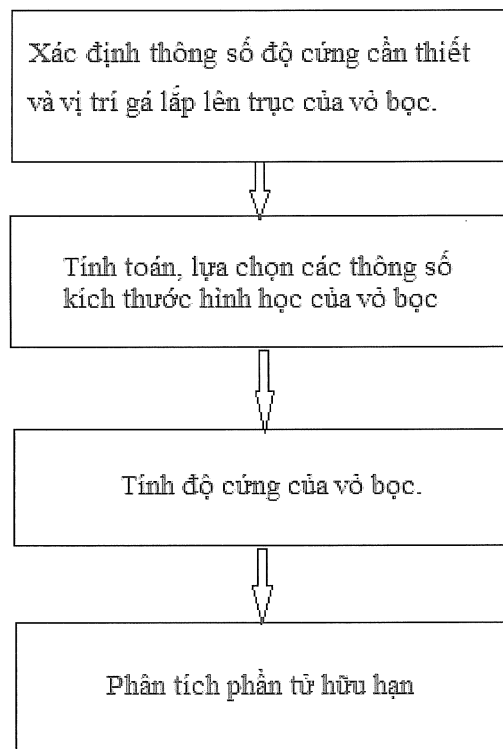
giải bài toán động học trục quay nhờ các công cụ phần mềm tính toán thích hợp.

3. Phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi giảm chấn theo điểm 1, tại bước tính toán, lựa chọn các thông số kích thước hình học của vỏ bọc:

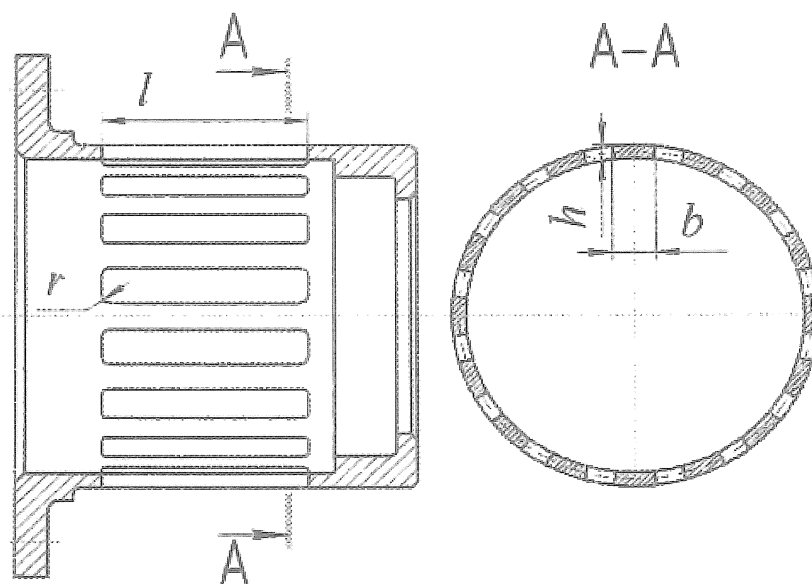
có thể giới hạn số lượng các tham số trên dựa vào các tiêu chí như độ dài cho phép của vỏ bọc phải phù hợp với thiết bị, đường kính trong của vỏ bọc phải ăn khớp với đường kính vòng bi đã thiết kế, số lượng các thanh rãnh phải là số tự nhiên, các kích thước không được là những giá trị quá lẻ gây khó khăn cho việc gia công chính xác.

4. Phương pháp thiết kế vỏ bọc vòng bi giảm chấn theo điểm 1, tại bước phân tích phần tử hữu hạn:

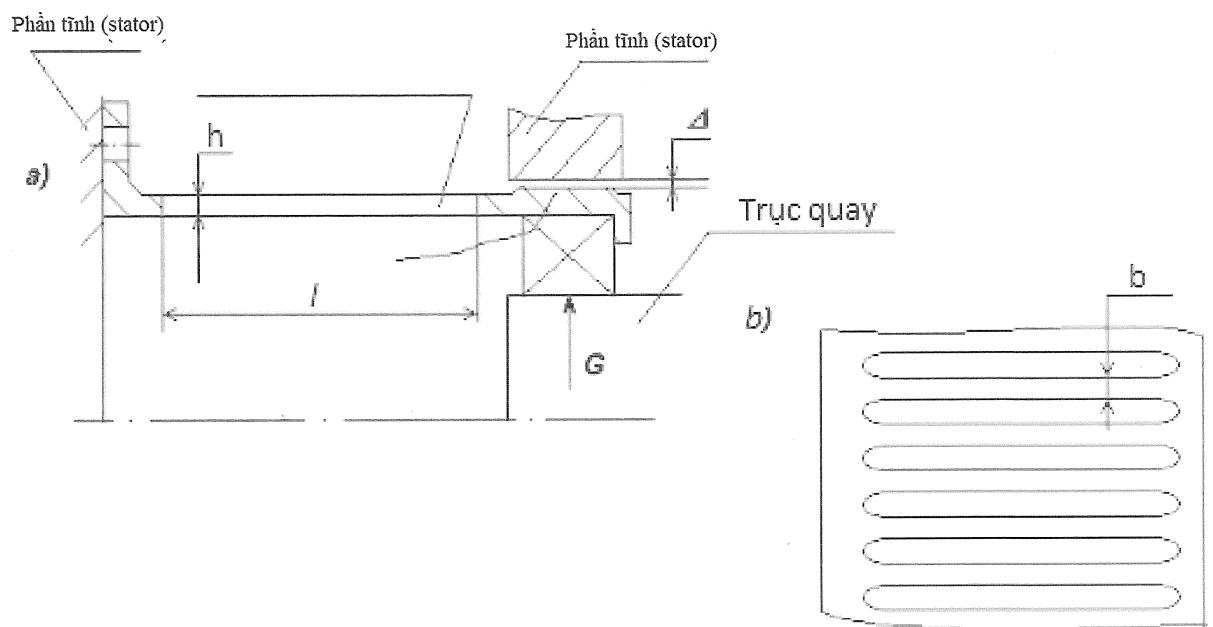
so sánh lại giá trị chuyển vị của vỏ bọc với kích thước khe hở Δ , sao cho chuyển vị của vỏ bọc phải nhỏ hơn giá trị khe hở Δ và ứng suất trên các thanh rãnh phải nhỏ hơn giới hạn đàn hồi của vật liệu.



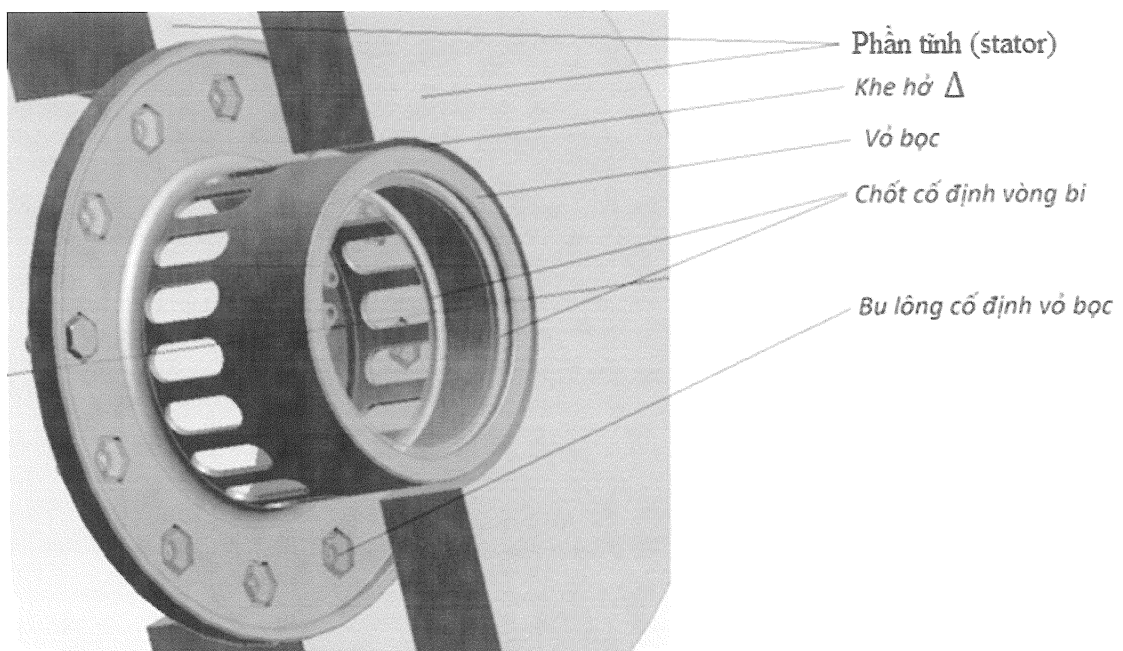
Hình 1



Hình 2



Hình 3



Hình 4