

Phân tích và đánh giá cân bằng động rôto trên gối đỡ cứng và gối đỡ mềm

Analysis and evaluation of rotor dynamic balancing on hard-bearing and soft-bearing

Bùi Minh Hiền

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

Email: bui.mhien@gmail.com

Mobile: 0905.268.297

Tóm tắt

Từ khóa:

Chi tiết quay; Cân bằng rôto; Thiết bị cân bằng động; Gối đỡ cứng; Gối đỡ mềm.

Mất cân bằng của các chi tiết quay, sau đây gọi chung là rôto, là một trong những nguyên nhân chính gây nên rung động của máy. Rung động này không những làm giảm tuổi thọ của máy mà còn làm ảnh hưởng đến sự hoạt động của các máy bên cạnh. Do vậy, khi rôto xảy ra hiện tượng mất cân bằng cần phải được kiểm tra và xử lý sớm. Mất cân bằng rôto được định nghĩa là sự phân bố khối lượng không đều qua tâm quay của rôto. Có nhiều nguyên nhân làm rôto mất cân bằng như do chế tạo, lắp ráp, biến dạng hay mài mòn trong quá trình vận hành. Dựa trên tính chất chuyển động của rôto trong quá trình cân bằng có thể phân thiết bị cân bằng làm hai loại chính: thiết bị cân bằng tĩnh và thiết bị cân bằng động. Trong bài báo này tác giả sẽ phân tích và đánh giá kết quả khi cân bằng rôto trên thiết bị cân bằng động có gối đỡ cứng và gối đỡ mềm. Kết quả phân tích và đánh giá cho thấy rõ đặc điểm của hai loại gối đỡ cứng và gối đỡ mềm trên thiết bị cân bằng động.

Abstract

Keywords:

Rotating part; Rotor balancing; Balancing machine; Hard-bearing; Soft-bearing.

The unbalance of rotating parts, also called rotor, is one of the main causes of vibration in machines. Vibration not only reduces longevity of machine, but also affects the operation of nearby machines. Thus, rotor unbalance must be investigated and taken care of when it manifests. Rotor unbalance is defined as unequal distribution of the weight of rotor through its rotating centerline. There are many causes of rotor unbalance, such as manufacturing or assembly errors, deformation or wear during the operation. Based on the motion of rotors during balancing process, the balancing machines can be grouped in two general categories: static balancing machine and dynamic balancing machine. In this paper we focus on the analysis and evaluation of rotor balancing using dynamic balancing machine with two types of bearing: hard-bearing and soft-bearing. The results demonstrated the properties of the hard-bearing and soft-bearing used on the dynamic balancing machine.

Ngày nhận bài: 20/7/2018

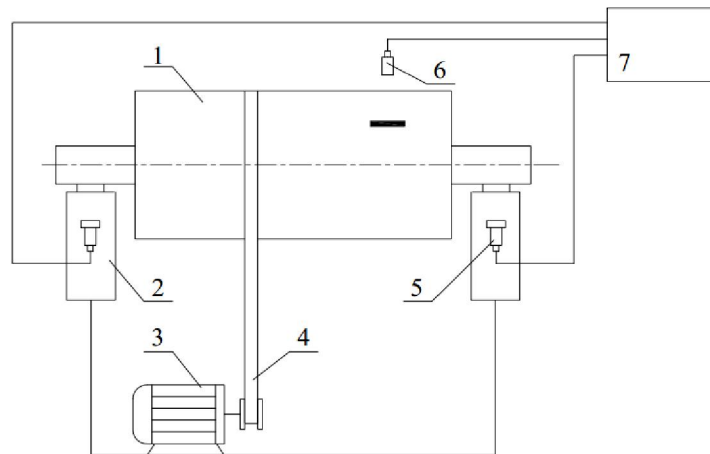
Ngày nhận bài sửa: 08/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Mất cân bằng chi tiết quay, sau đây gọi chung là rôto, không chỉ là nguồn gây rung động mà còn có thể gây hư hại cho các bộ phận của máy hay ảnh hưởng đến độ chính xác các máy bên cạnh. Mất cân bằng rôto có thể xem là dạng hỏng cần được phát hiện và khắc phục sớm để đảm bảo cho máy móc làm việc an toàn và hiệu quả, đặc biệt đối với các thiết bị có tốc độ cao yêu cầu về cân bằng rôto càng khắc khe hơn. Rôto được xác định mất cân bằng khi khối lượng của nó phân bố không đều đi qua tâm quay. Có nhiều nguyên nhân gây mất cân bằng đối với rôto, cụ thể: mất cân bằng do chế tạo, mất cân bằng do lắp ráp, mất cân bằng trong quá trình vận hành.

Nhằm khắc phục sự mất cân bằng của rôto người ta sử dụng các thiết bị chuyên dùng để xác định vị trí khối mất cân bằng trên rôto, các đối trọng sau đó được thêm vào hoặc bớt đi để phân bố lại khối lượng của rôto. Quá trình xử lý sự mất cân bằng của rôto được gọi là quá trình cân bằng. Rôto có thể được cân bằng ở trạng thái tĩnh (không được truyền chuyển động quay) hay ở trạng thái động (được truyền chuyển động quay), ứng với trạng thái cân bằng của rôto mà chúng ta có phương pháp cân bằng tương ứng: cân bằng tĩnh và cân bằng động. Trong bài báo này, tác giả chỉ tập trung phân tích và xử lý sự mất cân bằng của rôto trên thiết bị cân bằng động.



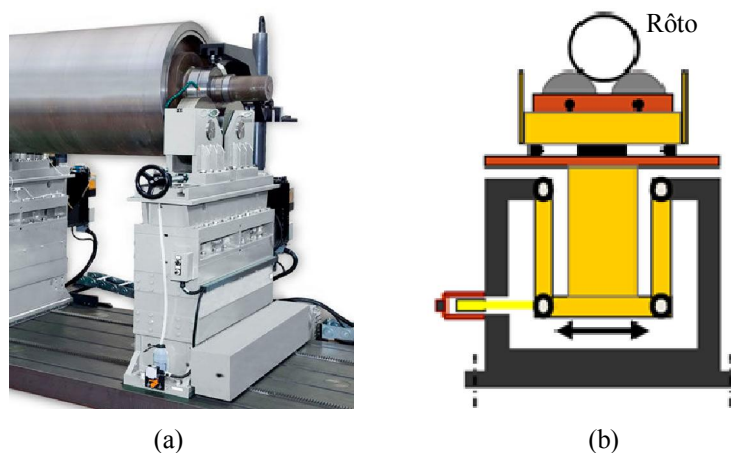
Hình 1. Cấu tạo chung của thiết bị cân bằng động rôto

Thiết bị cân bằng động cho phép phát hiện khối lượng và vị trí của khối mất cân bằng trên rôto thông qua phân tích rung động do lượng mất cân bằng của rôto gây ra. Cấu tạo chung của một thiết bị cân bằng động (Hình 1) bao gồm: (1) rôto cần cân bằng; (2) gối đỡ rôto; (3) động cơ truyền động cho rôto, có thể sử dụng các cơ cấu truyền động (4) như: bánh ma sát, khớp nối trực các đăng, dây đai dẹt ...; (5) cảm biến gắn trên gối đỡ để đo rung động do khối mất cân bằng của rôto gây ra, (6) cảm biến đo tốc độ rôto, (7) bộ xử lý tín hiệu và hiển thị kết quả đo.

Có thể phân thiết bị cân bằng động làm hai loại chính dựa trên cấu tạo của gối đỡ rôto, gồm: thiết bị cân bằng động sử dụng gối đỡ cứng và thiết bị cân bằng động sử dụng gối đỡ mềm. Sự khác nhau cơ bản của hai loại gối đỡ chính là độ cứng của nó. Gối đỡ mềm (Hình 2b) là gối đỡ có thể di chuyển tự do theo ít nhất một phương, thường là theo phương vuông góc với trục của rôto. Nguyên lý của loại gối đỡ này là rôto được đỡ trên các con lăn và xem như được treo trên giá đỡ có thể dao động, dao động đó được đo lại bằng cảm biến gia tốc để xác định lượng mất cân bằng của rôto. Nhờ sự dao động của giá đỡ mà lực mất cân bằng của chi tiết không truyền lên khung và đế của thiết bị. Đối với thiết bị cân bằng động sử dụng gối đỡ mềm thông thường không cần phải cố định đế trên nền xương, do vậy tính linh hoạt của thiết bị rất cao, có

thể di chuyển dễ dàng. Trong khi đó, gối đỡ cứng (Hình 2a) đỡ rôto trên các con lăn được gắn cố định trên khung máy, do vậy toàn bộ lực do lượng mất cân bằng của rôto sẽ gây ra rung động truyền lên gối đỡ, khung và đế của thiết bị. Rung động trên gối đỡ cũng được đo bằng cảm biến gia tốc để xác định lượng mất cân bằng của rôto. Đối với loại thiết bị cân bằng động sử dụng gối đỡ cứng thì cấu tạo của khung và đế thiết bị phải chắc chắn, và phải được cố định trên nền xưởng bằng bulông nền. Chính vì vậy tính linh hoạt của thiết bị cân bằng động sử dụng gối đỡ cứng không cao. Một ưu điểm khác nữa của thiết bị có gối đỡ mềm là cho phép đo được dao động do mất cân bằng nhạy hơn so với thiết bị sử dụng gối đỡ cứng ở tốc độ thấp.

Đến nay, một số nhà sản xuất thiết bị giới thiệu về đặc điểm của hai loại gối đỡ cứng và gối đỡ mềm [1, 2], tuy nhiên chưa có các nghiên cứu về phân tích và đánh giá các ưu điểm, nhược điểm của hai loại gối đỡ này. Do vậy, tác giả đã tiến hành phân tích và đánh giá cân bằng động rôto trên thiết bị hỗ trợ cân bằng động trong hai trường hợp gối đỡ cứng và gối đỡ mềm.



Hình 2. (a) Gối đỡ cứng được sử dụng trong máy cân bằng cố định CEMB, (b) Kết cấu gối đỡ mềm [3]

Trong thiết bị có gối đỡ mềm, cộng hưởng của rôto hay hệ thống gối đỡ sẽ xảy ra ở tốc độ thấp hơn tốc độ cân bằng hay khi có tốc độ bằng một nửa tốc độ cân bằng. Quá trình cân bằng được thực hiện ở tần số cao hơn so với tần số cộng hưởng của hệ thống gối đỡ [1]. Cảm biến đo dao động/rung động được gắn trên giá đỡ treo rôto. Trong khi đó thiết bị cân bằng có gối đỡ cứng vì phải đo rung động do lực mất cân bằng truyền lên gối cố định nên cần phải đo ở tốc độ cao hơn so với gối đỡ mềm; quá trình cân bằng được thực hiện ở tốc độ thấp hơn tần số cộng hưởng của gối đỡ [1]. Ưu điểm chính của thiết bị có gối đỡ cứng là khả năng chịu lực của thiết bị tốt và có thể cho kết quả mất cân bằng nhanh, phù hợp cho cân bằng động trong sản xuất rôto hàng loạt lớn.

Theo tiêu chuẩn ISO mỗi loại thiết bị, máy móc có mức độ rung động cho phép khác nhau, vì vậy khi cân bằng ta phải dựa trên tiêu chuẩn này để chọn giá trị phù hợp cho loại thiết bị hay rôto cần cân bằng. Đối với rôto cứng tiêu chuẩn ISO 1940-1:2003(E) “Mechanical vibration - Balance quality requirements for rotors in constant (rigid) state” [4] được sử dụng để đánh giá mức cân bằng cho phép.

2. THIẾT BỊ VÀ QUY TRÌNH CÂN BẰNG ĐỘNG RÔTO

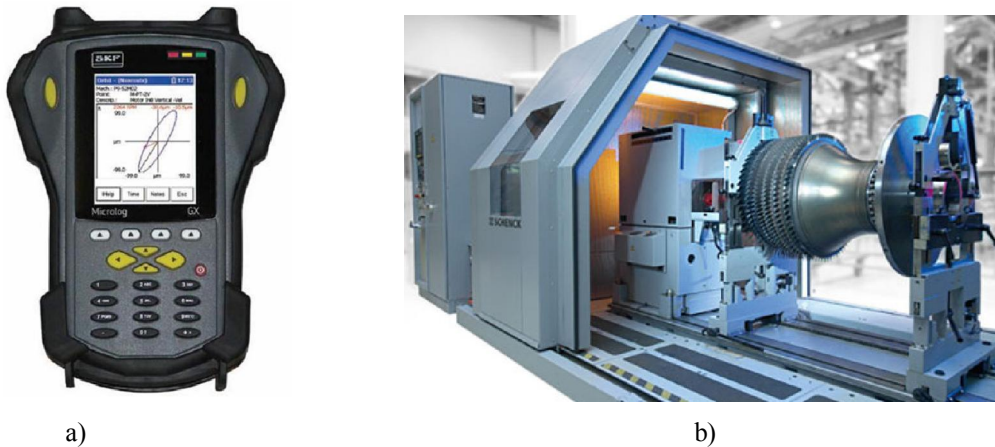
2.1. Thiết bị cân bằng động

Hiện nay các thiết bị cân bằng động có độ chính xác cao được các nhà sản xuất như Bruel & Kjaer của Đan Mạch, IRD của Hoa Kỳ, SKF của Thụy Điển, SCHENCK của Đức chế tạo và

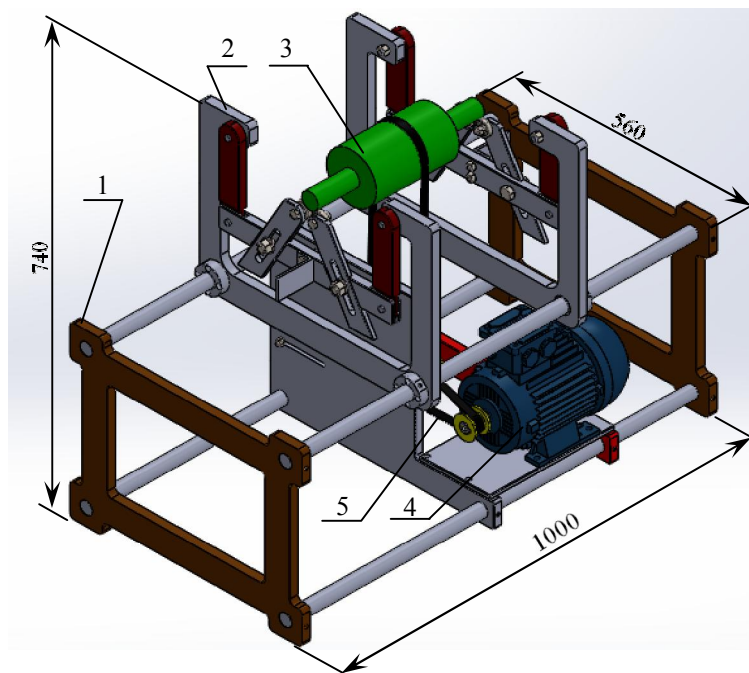
bán rộng rãi trên thị trường, tuy nhiên các thiết bị này có giá thành khá cao. Khi cân bằng rôto có thể ở trạng thái dễ rời (sau chế tạo hay được tháo ra để sửa chữa) hoặc cũng có thể đang được lắp đặt trên máy. Tùy theo trạng thái của rôto, dễ rời hay đã được lắp đặt, mà thiết bị cân bằng động có thể phân thành hai loại chính như sau:

Hình 3a thiết bị cân bằng di động (cân bằng tại hiện trường): thiết bị này được sử dụng để đo các dao động/rung động ngay trên máy móc được lắp rôto cân bằng mà không cần phải tháo rời rôto, thực hiện việc cân bằng rôto tại nơi đặt máy.

Hình 3b thiết bị cân bằng cố định (đặt cố định tại xưởng): dùng để cân bằng rôto đã được tháo rời, thực hiện việc cân bằng rôto tại nơi đặt thiết bị cân bằng.



Hình 3. (a) Thiết bị cân bằng động di động Microlog GX của hãng SKF, (b) Thiết bị cân bằng cố định của hãng SCHENCK

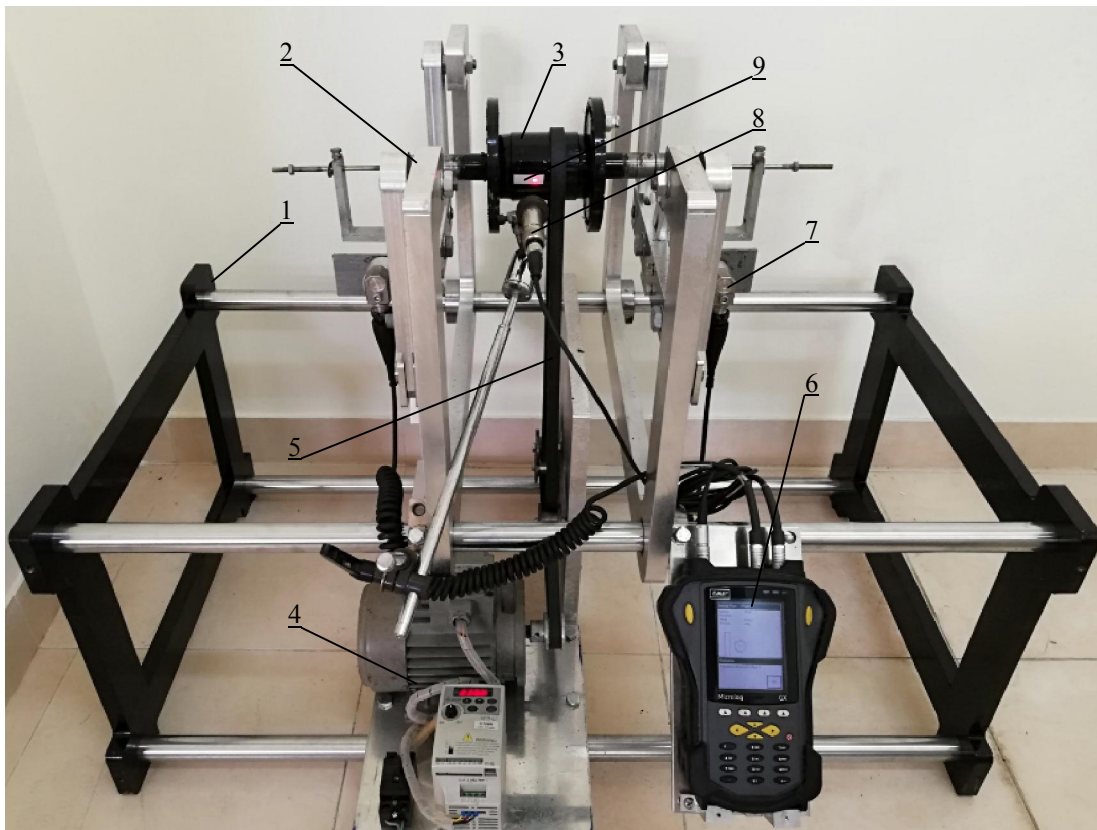


Hình 4. Mô hình 3D của thiết bị hỗ trợ cân bằng động rôto

Như vậy mỗi một thiết bị có hạn chế riêng, để có thể cân bằng cho rôto được tháo rời hay đang lắp đặt trên máy cần phải đầu tư cả hai loại thiết bị nói trên, điều này đòi hỏi khoản đầu tư kinh phí lớn. Nhằm khai thác triệt để khả năng của thiết bị cân bằng di động hiện có (Hình 3a), tác giả đã nghiên cứu chế tạo thiết bị hỗ trợ cân bằng rôto (Hình 4) để có thể cân bằng cho rôto ở trạng thái tháo rời.

Hình 4 biểu diễn mô hình của thiết bị hỗ trợ cân bằng động rôto, Hình 5 thể hiện sự kết nối giữa hai thiết bị, trong đó:

- Thiết bị hỗ trợ cân bằng động rôto (Hình 4 và 5) gồm các phần chính: (1) khung máy có 4 trụ trượt cho phép gối đỡ (2) di chuyển theo chiều dọc trục nhằm đáp ứng chiều dài khác nhau của rôto cần cân bằng (3) đặt trên các gối đỡ này, (4) động cơ và bộ biến tần được dùng để thay đổi tốc độ và truyền chuyển động quay cho rôto thông qua dây đai mềm (5).
- Thiết bị cân bằng di động SKF Microlog GX gồm có: (6) phần máy chính được dùng để phân tích và hiển thị kết quả trong quá trình cân bằng động, kết nối với máy có cảm biến đo rung động (7) của rôto được gắn trên phần di động của gối đỡ mềm, cảm biến laser (8) dùng để đo số vòng quay của rôto trong quá trình thực hiện cân bằng động thông qua miêng phản quang (9) dán trên rôto. Vị trí của miêng phản quang trên rôto cũng được xem là vị trí góc 0° để xác định khối mất cân bằng của rôto.



Hình 5. Kết nối thiết bị hỗ trợ cân bằng động và thiết bị cân bằng động di động SKF Microlog GX

Thông số kỹ thuật của thiết bị hỗ trợ cân bằng động rôto:

- Cân bằng rôto có: khối lượng đến 20kg, đường kính đến 500mm, chiều dài theo hướng trục đến 1000mm.

- Truyền động: Động cơ xoay chiều 0,375 kW 2 pha, số vòng quay 2000 v/ph có sử dụng bộ biến tần để thay đổi số vòng quay của rôto, bộ truyền đai dẹt được sử dụng để truyền động cho rôto.
- Gối đỡ có chế độ chuyển đổi thành gối đỡ mềm hoặc gối đỡ cứng.

2.2. Quy trình cân bằng động rôto

Trình tự các bước thực hiện cân bằng động rôto trên thiết bị như sau:

Bước 1: Lắp đặt cảm biến gia tốc, cảm biến quang của thiết bị cân bằng động di động trên thiết bị hỗ trợ nhằm thu nhận tín hiệu rung động của và số vòng quay của rôto cần cân bằng.

Bước 2: Gá đặt rôto cần cân bằng trên gối đỡ và dán băng keo phản quang để xác định vị trí góc 0, cũng như đếm số vòng quay của rôto.

Bước 3: Thiết lập biến tần của thiết bị hỗ trợ cân bằng động để có số vòng quay rôto như mong muốn.

Bước 4: Khởi động thiết bị cân bằng di động SKF và lựa chọn chương trình cân bằng động một mặt phẳng hoặc hai mặt phẳng, cũng như cài đặt các thông số khác.

Bước 5: Thực hiện bước chạy ban đầu để xem giá trị mất cân bằng của rôto, dựa trên đặc tính của thiết bị trong tiêu chuẩn ISO 1940-1:2003(E) để xem xét lượng mất cân bằng cho phép của rôto.

Bước 6: Dừng máy, gắn khối lượng thử.

Bước 7: Thực hiện bước chạy thử. Trong bước chạy này kết quả phải tuân theo nguyên tắc 30/30 [5]: có nghĩa là kết quả của bước chạy thử so với bước tham khảo phải thay đổi 30% về biên độ rung động hay thay đổi pha 30% hoặc thay đổi 30% cho cả biên độ rung động và pha.

Bước 8: Gắn đối trọng cần cân bằng và xem kết quả, nếu mức độ rung động nằm trong khoảng cho phép thì dừng việc cân bằng, nếu mức rung động chưa nằm trong khoảng cho phép thì tiếp tục gắn đối trọng tinh để giảm mức rung động.

3. THỰC NGHIỆM CÂN BẰNG RÔTO TRÊN GỐI ĐỠ CỨNG VÀ GỐI ĐỠ MỀM

3.1. Chi tiết thực nghiệm

Tiến hành cân bằng động cho rôto động cơ điện có đường kính 130mm, chiều dài 300mm, khối lượng 4kg (Hình 5) trong hai trường hợp: sử dụng gối đỡ cứng và gối đỡ mềm. Trong quá trình thực nghiệm lượng mất cân bằng của rôto được giả định bằng cách gắn một khối lượng ở một vị trí bất kỳ nào đó trên rôto.

3.2. Nội dung

Thực hiện đo rung động của rôto trong hai trường hợp gối đỡ cứng, gối đỡ mềm ở hai tốc độ khác nhau và nhận được kết quả như bảng 1.

Bảng 1. Kết quả đo rung động cho hai loại gối đỡ ở hai cấp tốc độ khác nhau

Số vòng quay của rôto (v/ph)	Gối đỡ cứng		Gối đỡ mềm	
	Rung động (mm/s)	Pha (°)	Rung động (mm/s)	Pha (°)
$n_1 = 624$	0,2	183	4,6	86
$n_2 = 1482$	4,6	257	14,8	357

Kết quả ở Bảng 1 cho thấy:

- Ở cùng số vòng quay n_1 ở gối đỡ cứng có mức rung động không đáng kể, trên thực tế rô to đã bị mất cân bằng và đã được phát hiện trên gối đỡ mềm. Qua đây có thể thấy rằng gối đỡ mềm rất nhạy ở tốc độ thấp.
- Để đo được cùng giá trị rung động đã đo được trên gối đỡ mềm ở tốc độ n_1 thì trên gối đỡ cứng tốc độ phải tăng lên gấp 2,375 lần. Điều này khẳng định để cân bằng rô to trên gối đỡ cứng thì rô to cần phải có tốc độ lớn hơn so với gối đỡ mềm.

Tiến hành cân bằng cho rô to ở hai trường hợp: gối đỡ cứng ở tốc độ n_2 và gối đỡ mềm ở tốc độ n_1 và nhận được kết quả như bảng 2.

Bảng 2. Kết quả cân bằng động trên một mặt phẳng cho rô to trên gối đỡ cứng và gối đỡ mềm

Nội dung	Gối đỡ cứng $n_2 = 1482$ (v/ph)			Gối đỡ mềm $n_1 = 624$ (v/ph)		
	Độ lớn	Bán kính (mm)	Pha (°)	Độ lớn	Bán kính (mm)	Pha (°)
Rung động trước cân bằng	4,6 (mm/s)		174	4,6 (mm/s)		81
<i>Đối trọng thử</i>	<i>11,6 (g)</i>	<i>55</i>	<i>180</i>	<i>11,6 (g)</i>	<i>55</i>	<i>180</i>
Rung động khi đặt đối trọng thử	4,6 (mm/s)		257	5,3 (mm/s)		155
<i>Đối trọng cân bằng</i>	<i>8,8(g)</i>	<i>55</i>	<i>228</i>	<i>8,8(g)</i>	<i>55</i>	<i>238</i>
Rung động sau khi đặt đối trọng cân bằng	0,31 (mm/s)		282	0,29 (mm/s)		29

Mức rung động của rô to sau cân bằng đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn ISO 1940-1:2003(E)

Kết quả cân bằng rô to trên hai gối đỡ cứng và gối đỡ mềm cho thấy:

- Thời gian thực hiện quá trình cân bằng trên hai loại gối đỡ là như nhau.
- Khi gắn khối lượng thử có cùng khối lượng và vị trí lên rô to thì giá trị rung động, cũng như pha đo được có sự khác nhau đáng kể. Tuy nhiên, khối lượng của đối trọng cần gắn lên để cân bằng rô to là như nhau, giá trị của pha lệch không đáng kể. Kết quả rung động sau khi gắn đối trọng cân bằng khác nhau không đáng kể và đều đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn ISO 1940-1:2003(E).

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích và đánh giá đặc điểm của gối đỡ cứng và gối đỡ mềm thông qua các lần đo thực nghiệm. Kết quả cho thấy để cảm biến của thiết bị cân bằng nhận được cùng một giá trị (4,6 mm/s) trong cả hai trường hợp thì tốc độ rô to trên gối đỡ cứng có giá trị cao hơn gần 2,4 lần so với tốc độ của rô to trên gối đỡ mềm. Điều này có nghĩa là trong trường hợp gối đỡ cứng rô to cần phải có tốc độ đủ lớn để tạo ra lực rung động tác dụng lên cảm biến. Trong khi đó, rô to trên gối đỡ mềm chỉ cần tốc độ thấp để tạo ra cùng lực rung động lên cảm biến. Nói cách khác gối đỡ mềm có độ nhạy cao hơn so với gối đỡ cứng.

Mặt khác, trong quá trình cân bằng động trên gối đỡ cứng toàn bộ lực rung động tác dụng lên khung của thiết bị nên cần có biện pháp cố định thiết bị lên nền xưởng trong trường hợp cân bằng đối với các chi tiết có khối lượng lớn hay có mức độ mất cân bằng cao. Ngược lại, khi cân bằng rô to trên gối đỡ mềm toàn bộ lực mất cân bằng của rô to chỉ làm dao động phần đỡ gối đỡ mà không truyền lên khung của thiết bị. Như vậy có thể khẳng định thiết bị cân bằng động sử dụng gối đỡ mềm có tính linh hoạt cao: dễ dàng di chuyển mà không cần phải cố định thiết bị lên nền xưởng.

Ngoài ra, bài báo cũng giới thiệu về thiết bị hỗ trợ cân bằng rôto đã được nghiên cứu và chế tạo nhằm giúp tiết kiệm kinh phí khi cần đầu tư cho thiết bị cân bằng cố định. Thiết bị hỗ trợ này cho phép kết nối với thiết bị cân bằng di động hiện có để thực hiện cân bằng động cho các rôto đề rì, đáp ứng được nhu cầu cân bằng rôto trong các xưởng chế tạo, sửa chữa rôto.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng trong đề tài mã số B2016-ĐN02-07.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. <http://www.irdbalancing.com/phone/dynamic-balancing-machines%2c-soft-bearing-vs.-hard-bearing.html>, <http://www.irdbalancing.com/balancing-machines---types%2c-classification%2C-and-methods.html>, truy cập ngày 15/6/2018.

[2]. <http://www.elettrorava.com/en/soft-bearing-horizontal.html>, <http://www.elettrorava.com/en/hard-bearing-horizontal.html>, truy cập ngày 05/9/2018.

[3]. http://www.diamech-2000.com/balancing_machines.html, truy cập ngày 05/9/2018.

[4]. ISO 1940-1:2003(E), Mechanical vibration - Balance quality requirements for rotors in constant (rigid) state. *International Organization for Standardization*.

[5]. SKF Microlog[®] GX Series, User manual - Part No. 32298500-EN, Revision E. *Copyright © 2016 by SKF USA*.