

Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của thông số động lực học tới độ bền trục các đăng

Experiment to determine effects of dynamic parameters to propeller shaft strength

Trần Hữu Danh^{1,*}, Nguyễn Thanh Quang², Đào Duy Trung³

¹Trường đại học Sư phạm Kỹ Thuật Vĩnh Long

²Trường đại học Công nghiệp Hà Nội Nội

³Viện Nghiên cứu Cơ khí

*Email: nguyenthanhquang@hau.edu.vn

Mobile: 0903 404 601

Tóm tắt

Từ khóa:

Biến dạng; Cơ cấu gây tải MP100S; Bộ thử dòng công suất hồ; Trục các đăng ô tô; Ứng suất.

Trục các đăng trên ô tô là bộ phận truyền mô men từ hộp số đến cầu chủ động. Trong khi xe di chuyển trên những mặt đường không bằng phẳng sẽ gây ra dao động hệ thống treo làm cho góc nghiêng trục các đăng luôn thay đổi trong mặt phẳng đứng dẫn đến các thông số động lực học trục các đăng và tải trọng trong hệ thống cũng thay đổi. Tải trọng lớn nhất khi xảy ra cộng hưởng có thể làm hỏng trục các đăng, vì vậy trong thiết kế, lắp đặt và vận hành cần tránh hiện tượng cộng hưởng này.

Bài báo trình bày thí nghiệm xác định các mối quan hệ giữa các thông số động lực học với thông số độ bền trục các đăng. Thí nghiệm sử dụng bộ thử kiểu dòng công suất hồ có động cơ dẫn động loại diesel IVECO 81kW và cơ cấu gây tải MP100S. Các trường hợp thí nghiệm gồm thay đổi các thông số góc nghiêng trục, chiều dài trục và số vòng quay trục tại các chế độ tải tương ứng với chế độ tải khi xe hoạt động thực tế trên đường. Kết quả thí nghiệm đã xác định được giá trị ứng suất, biến dạng trên trục ở những trường hợp trên. Trên cơ sở kết quả thí nghiệm có thể làm số liệu tham khảo trong tính toán thiết kế và chế tạo đảm bảo đủ bền trục các đăng trên ô tô.

Abstract

Keywords:

MP100S; Power flow test stand; Cardan shaft; Stress.

Propeller shafts on automobile are used to transmit the torque from the gearbox to rear axle drive. While vehicles moves on uneven ground, oscillation will be generated on the suspension system, making the propeller shaft's incline angle always change in the vertical plane, leading to the propeller shaft's dynamic parameters and loads in the system also changes. The largest load manifesting when resonance occurs can damage the propeller shaft, thus in the design, installation and operation this phenomenon should be avoided.

This article presents the experiment to determine the relationships between dynamic parameters and propeller shaft strength parameters. The experiment used open-power testing stand with IVECO 81kW diesel drive motor and the MP100S load generation mechanism. Experimental cases include changes in tilt angle, axle length, and turn round speed at load modes corresponding to the actual vehicle load mode. The results of the experiments have determined the value of stress and strain on the shaft in the above cases. The experiment results can be used as reference material for the calculations of designing and manufacturing to ensure the adequate reliability of propeller shafts.

Ngày nhận bài: 30/06/2018

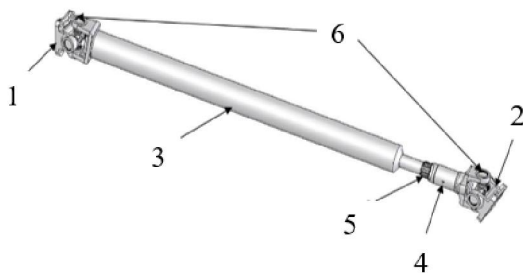
Ngày nhận bài sửa: 07/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

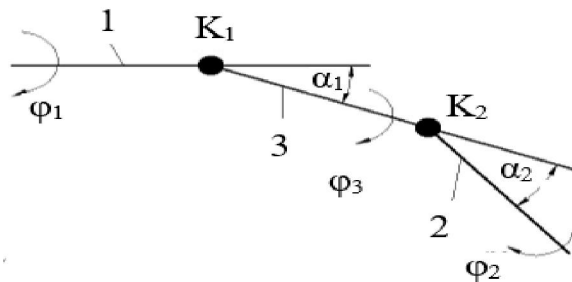
1. GIỚI THIỆU

Trục các đăng xe tải, Hình 1, chuyển động liên tục và chịu tác động của mô men xoắn trong suốt quá trình làm việc khi xe chuyển động. Các khớp các đăng thường phải chịu lực tác động rất lớn nên rất dễ bị mòn hoặc hư hỏng, ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình chuyển động cũng như độ bền của trục các đăng. Cấu tạo trục các đăng cơ bản gồm có các nặng các đăng 1 và 2, thân lớn các đăng 3, thân nhỏ 4, mối ghép then hoa 5 và khớp chữ thập 6.

Mô men xoắn M1 truyền từ hộp số qua trục các đăng đến cầu chủ động phía sau, Hình 2. Khi trục chủ động (lắp từ trục thứ cấp hộp số với mặt bích của nặng các đăng số 1) quay qua khớp nối K1 (nặng các đăng số 1) sẽ truyền động cho trục 3 quay (thân số 3, then hoa số 5 và thân nhỏ số 4), hình 2. Nặng các đăng số 2 lắp với trục ra và bánh răng chủ động của truyền lực chính (dạng bánh răng hypoid). Góc nghiêng thân so với trục chủ động là α_1 , góc nghiêng trục ra là α_2 . Do góc α_1 và α_2 khác nhau nên sẽ có sự quay không đều của trục 1 và trục 2 xảy ra rất nhanh và gia tốc góc lớn gây ra lực quán tính lớn, xuất hiện tải trọng động, gây ra rung, ồn, độ mòn trên các khớp các đăng tăng, hiệu suất truyền lực giảm.



Hình 1. Trục các đăng trên ô tô LF3070G1



Hình 2. Mô hình trục các đăng khi làm việc

Quan hệ giữa mô men xoắn M1 với các góc nghiêng α_1 , α_2 và mô men quán tính của các trục theo công thức (1), trong đó $J-1$ là mô men quán tính các phần tử quay của động cơ tới trục thứ cấp hộp số, J_2 là mô men quán tính tương đương với động năng của ô tô đang chuyển động tịnh tiến [1].

$$M_1 = j_2 \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \times \frac{2 \cdot \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 \cos \alpha \sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha \cos^2 \varphi_1 + \sin^2 \varphi_1} \times \frac{1}{\frac{J_2}{J_1} - \cos \alpha - \cos^2 \alpha \cos^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_2} \quad (1)$$

Trong nghiên cứu lý thuyết, mục tiêu nghiên cứu của bài toán là tìm được mối liên hệ giữa giá trị mô men xoắn trên trục các đăng M1 và các thông số động lực học (ĐLH) cũng như các yếu tố hình học của trục các đăng. Thông thường có hai bài toán trong nghiên cứu lý thuyết:

- Bài toán xuôi: cho mô men xoắn đầu vào M1, tìm các thông số ĐLH;
- Bài toán ngược: cho ràng buộc của một (vài) thông số ĐLH, tìm mô men xoắn đầu vào

M1.

Phương pháp sử dụng phương trình Newton-Euler sẽ yêu cầu ta viết một hệ năm phương trình vi phân dưới dạng véc tơ (hệ gồm 5 vật gắn). Giải được hệ này sẽ cho ta biết được cả mối quan hệ của các thông số ĐLH với lực đầu vào và với các lực ràng buộc. Trong những chuyển động phức tạp để xác định được phương và chiều của các véc tơ là rất khó khăn. Một phương pháp khác hay được sử dụng là sử dụng phương trình Lagrange-Dalembert để viết phương trình chuyển động. Mặc dù phương pháp này không cho ta xác định trực tiếp được các lực ràng buộc, nhưng lại tránh được các phương trình véc tơ phức tạp. Hơn nữa, mặc dù phương pháp này yêu cầu tính nhiều lần đạo hàm của các hàm (vô hướng) phức tạp nhưng với sự phát triển mạnh mẽ của các công cụ tính toán trên máy tính, việc này có thể thực hiện mà không gây khó khăn, nên sử dụng phương trình Lagrange để viết phương trình chuyển động của cụm trục các đăng sẽ thuận lợi hơn.

Trong nghiên cứu thực nghiệm, mô men xoắn M_1 được xác định trước trên động cơ dẫn động, ta cần xác định mô men trên trục các đăng M_{cd} và các thông số động lực học khi hệ thống đang hoạt động bằng cách đo trực tiếp các thông số đó bằng những dụng cụ chuyên dùng trên thiết bị đo hiện đại và phần mềm phân tích linh hoạt đảm bảo độ chính xác cao.

Trong nghiên cứu này trình bày thí nghiệm xác định các mối quan hệ giữa các thông số động lực học với thông số độ bền trục các đăng thông qua mô men M_{cd} và các giá trị ứng suất, biến dạng trên trục các đăng.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Cơ sở xác định các thông số thí nghiệm

Khi ô tô chạy trên mặt đường không bằng phẳng, sự dịch chuyển giữa hai thân trục nhờ ống then hoa và xác định bởi góc nghiêng và chiều dài cụm trục các đăng. Mô men trên trục các đăng M_{cd} được tính theo công thức (2), [2].

$$M_{cd} = K_{cd} \int (\omega_l - \omega_{qd}) dt + B_{cd} (\omega_l - \omega_{qd}) \quad (2)$$

K_{cd} và B_{cd} (N.m.s) là hệ số độ cứng xoắn và hệ số giảm chấn của trục các đăng.

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30} \quad (rad / s)$$

ω_l, ω_{qd} : Vận tốc góc trục vào và trục ra của cụm trục các đăng (rad/s).

n : Số vòng quay của trục (v/ph).

Hệ số độ cứng xoắn trục được tính như sau:

$$K_{cd} = \frac{M_{cd}}{\varphi_{cd}} \quad (N.m) \quad (3)$$

Hệ số giảm chấn của trục các đăng:

$$B_{cd} = \frac{G_{cd} \cdot I_{cd}}{L_{cd}} \quad (N.m.s) \quad (4)$$

G_{cd} : Mô đun đàn hồi mặt cắt ngang của trục chế tạo bằng thép, $G_{cd} = 8 \cdot 10^{10}$ (N/m²)

I_{cdx} : Mô men quán tính trục các đăng (kg/m²).

$$I_{cdx} = \frac{\pi D^4}{32} \times \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right) \quad (kg / m^2) \quad (5)$$

L_{cd} : Chiều dài cụm trục (mm)

Quan hệ giữa biến dạng và ứng suất theo trục x trong bài toán một chiều theo định luật Hooke:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{G} \sigma_x + \alpha T \quad (6)$$

Điều kiện cứng của trục các đăng được xác định bởi góc xoắn φ_{cd} của trục. Góc xoắn trục các đăng (rad) tại mặt cắt i được tính bởi công thức (7).

$$\varphi_{cd} = \sum_{i=1}^n \frac{M_{zi} \cdot l_i}{G_i \cdot J_{xi}} \quad (rad) \quad (7)$$

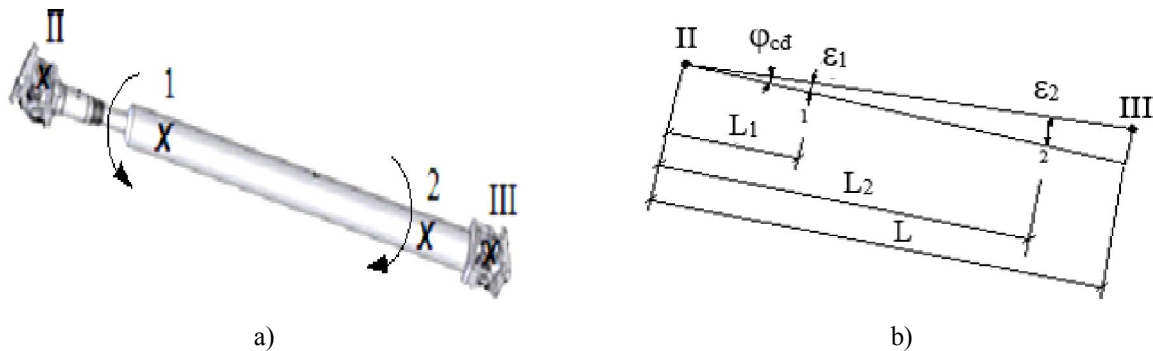
Thông thường khi tính độ bền trục tĩnh người ta chia thành từng đoạn theo chiều dài trục. Đối với trục động đang quay, việc chia đoạn ra sẽ rất khó chính xác. Thí nghiệm này thực hiện trên trục các đăng đang quay, Hình 3. Hai đầu nạng trên được đánh số II lắp về phía động cơ dẫn động (tương ứng với hộp số) và nạng dưới đánh số III lắp về phía cơ cấu gây tải (tương ứng với phía cầu chủ động trên xe). Chiều dài trục L là khoảng cách từ đầu II và đầu III. Tại đầu II, tương ứng với mô men xoắn M_{z1} dẫn động từ động cơ và mô men cản từ cơ cấu gây tải M_{z2} , Hình 3a. Xét hai vị trí biến dạng đồng thời tại điểm 1 và 2 có hai giá trị biến dạng tương ứng $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ trên sơ đồ hình học, Hình 3b, do biến dạng và góc xoắn trên trục rất nhỏ nên ta có gần đúng (8) và từ đó xác định được độ bền trục theo điều kiện cứng bằng cách kiểm tra với góc xoắn cho phép.

$$tg \varphi_{cd} \approx \varphi_{cd} = \frac{\varepsilon_1}{L_1} = \frac{\varepsilon_2}{L_2} \quad (rad) \quad (8)$$

Trong thí nghiệm việc lấy tín hiệu trục tiếp trên trục đang quay bằng cách sử dụng các dụng cụ truyền dẫn tín hiệu sóng điện từ. Các thông số trong thí nghiệm gồm:

Thông số đã xác định trước: Số vòng quay của trục n (v/ph); Chiều dài trục L_{cd} (mm); Góc nghiêng trục α (độ).

Thông số cần đo trong thí nghiệm: Mô men xoắn trên trục các đăng M_{cd} (Nm); Ứng suất theo phương X tại vị trí đo σ_x (N/m²); Biến dạng theo phương X trên bề mặt trục tại vị trí đo ε_x (mm)



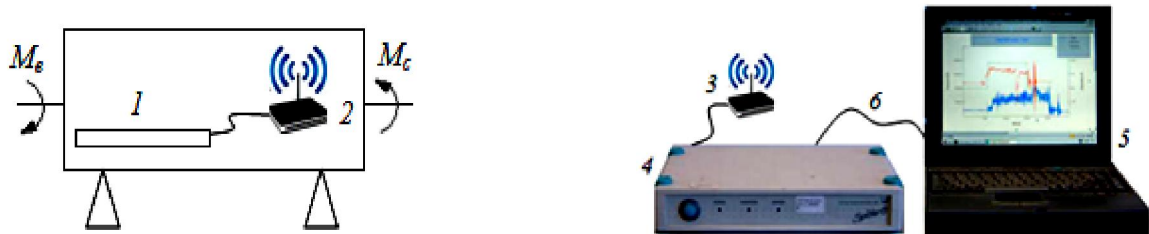
Hình 3. Mô hình thí nghiệm xác định góc xoắn trên trục các đăng

2.2. Nội dung thí nghiệm

2.2.1. Xây dựng sơ đồ thí nghiệm

Trên Hình 4 để đo các thông số khi trục các đăng số 1 đang quay nhờ mô men dẫn động M_e được chính xác ứng với kết cấu, kích thước và khả năng chịu tải M_c tương đương với trạng thái làm việc của xe thực cần đo xác định các thông số nhằm xây dựng quan hệ tuyến tính giữa mô men và biến dạng ở các chế độ vòng quay và tải tương ứng. Tín hiệu w thu được trung gian là điện áp Δe truyền qua bộ phát và thu tín hiệu không dây số 2 và 3. Trục các đăng và bộ thu phát này nằm trong thiết bị bệ thử thí nghiệm. Máy đo Spider8 số 4 và máy tính số 5 của hãng

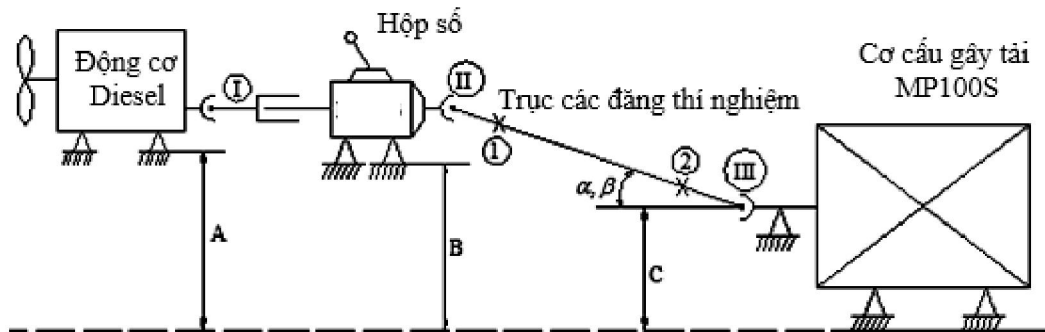
HBM, CHLB Đức [3]. Tín hiệu điện áp Δe nhận từ tenzo có điện áp thấp $<10\text{mV}$ truyền tới máy tính qua dây cáp số 6, sau khi khuếch đại được chuyển đổi A/D (Analog/Digital) để bộ vi điều khiển thực hiện các xử lý, hiển thị quá trình đo và ghi kết quả đo thành file lưu trữ được trên máy tính.



Hình 4. Sơ đồ lựa chọn thiết bị thí nghiệm và hiệu chuẩn số liệu đo
1. Trục các đăng, 2. Bộ phát tín hiệu, 3. Bộ thu tín hiệu, 4. Máy đo Spider8,
5. Máy tính, 6. Dây cáp nối, w. Sóng tín hiệu

2.2.2. Bộ thử thí nghiệm

Bộ thử thí nghiệm được tiến hành theo sơ đồ Hình 5. Trong đó động cơ dẫn động loại diesel IVECO 81kW, hộp số cơ khí 5 tay số, trục các đăng lắp nghiêng trong mặt phẳng dọc có thể thay đổi góc với các giá trị α , β và cơ cấu gây tải MP100S.



Hình 5. Bộ thử thí nghiệm

Các trường hợp thí nghiệm gồm thay đổi các thông số góc nghiêng trục, chiều dài trục và số vòng quay trục tại các chế độ tải tương ứng với chế độ tải khi xe hoạt động thực tế trên đường. Những vị trí 1, 2 được dán cầu đo Wheatstone để lấy tín hiệu đưa ra bộ thu phát không dây và chuyển đổi sang tín hiệu mô men và biến dạng nhờ phép chuẩn calip đo trên máy thử kéo nén chuyên dùng. Cầu đo Wheatstone sử dụng 4 Tenzo loại FCA-3-11, bảng 2.1 hiệu Tokyo Sokki Kenkyjo Nhật Bản [4]. Các tenzo được dán bằng keo chuyên dùng lên trục các đăng thí nghiệm và nối với bộ thu phát tín hiệu không dây.

2.3. Các chế độ thí nghiệm

Các chế độ thí nghiệm được thí nghiệm gồm:

(1) Chiều dài trục các đăng: Thí nghiệm hai trục có chiều dài khác nhau $L_1 = 1300\text{mm}$ và $L_2 = 1450\text{mm}$;

(2) Góc nghiêng trục $\alpha = 10^\circ$ và 15° ;

(3) Các chế độ tải trọng được thực hiện trên thiết bị gây tải MP100S: tải 1 là 100Nm và tải 2 là 200Nm (tương ứng với các chế độ 50% tải và 100% tải của xe).

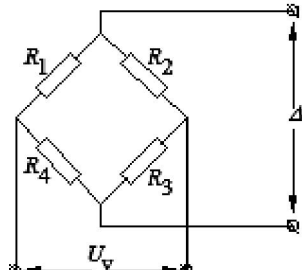

Kết quả đã xác định được giá trị calip biến dạng của điện trở: ε (μm) 0,1550mm/10mV

2.4. Hiệu chuẩn tín hiệu đo

2.4.1. Hiệu chuẩn biến dạng đo

Hiệu chuẩn biến dạng đo được thực hiện trên máy kéo nén sử dụng bộ thu phát không dây để phát và nhận tín hiệu. Các thông số hiệu chuẩn theo Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số calip tín hiệu đo

STT	Thông số	Công thức tính	Giải thích
1	Biến dạng của điện trở: ε (μm)	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R}{R} \quad (11)$ ΔL – Độ dẫn dài của điện trở ΔR – Lượng thay đổi điện trở	K - Gause factor được cho bởi nhà sản xuất hoặc calip theo phép đo (P_{CL})
2	K – Gause factor	$K = \frac{\Delta P_{CL} / P_{CL}}{\varepsilon} \quad (12)$	P - Tải tác dụng
3	K_{CL} – Hệ số calip	$K_{CL} = \frac{\Delta P_{CL} / P_{CL}}{\varepsilon_{CL}} \quad (13)$	P_{CL} - Tải kéo trên máy kéo nén ε_{CL} - Lượng biến dạng trên máy kéo nén
4	Δe – Điện áp đo, mối quan hệ giữa điện áp đo và biến dạng	$\Delta e = \frac{U_v \times K_{CL}}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_3 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (14)$ $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ – Biến dạng tương đối thực tế trên mỗi điện trở	
5	Tần số đáp ứng của tenzo FCA-3-11: 360kHz	Chiều dài tenzo: $L = 3\text{mm}$ Vật liệu đo: Thép	

2.4.2. Hiệu chuẩn mô men đo

Hiệu chuẩn mô men xoắn calip M_{xcl} trên trục đã được dán các tenzo điện trở bằng cách treo vật nặng P_t lên đầu tay đòn có chiều dài $l_{cl} = 1000$ mm trạng thái tĩnh với các trọng lượng lần lượt tăng dần $P_t = 0$ kg, 10 kg, 20 kg, ..., 100 kg theo công thức (9).

$$M_{xcl} = P_t.l_{cl} \quad (9)$$

Điện áp đo Δe (mV) và mô men xoắn trên trục M_{xcl} (Nm) là tuyến tính, gần đúng theo (10).

$$\Delta e \approx k_M \cdot M_{xcl} \quad (10)$$

Trong đó, k_M là hệ số tỷ lệ, M_{xcl} là mô men xoắn calip trên trục.

Kết quả đã xác định được giá trị calip mô men xoắn là 25kgm/10mV

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành thí nghiệm, xử lý tín hiệu đo và chuẩn calip đo hai thông số mô men xoắn và biến dạng theo điện áp đo, kết quả thí nghiệm thu được khá phong phú và đáng tin cậy. Số liệu thí nghiệm được lưu dạng file *.asc và đọc trên phần mềm excel.

Kết quả trên Hình 6 cho thấy ảnh hưởng của chiều dài trục tới biến dạng trên trục. Khi quay cùng số vòng quay và cùng chế độ tải, biến dạng tại vị trí 2 trên trục dài 1450 mm nhiều hơn biến dạng trên trục ngắn 1300 mm. Tại đây ta tính được góc xoắn theo công thức (8):

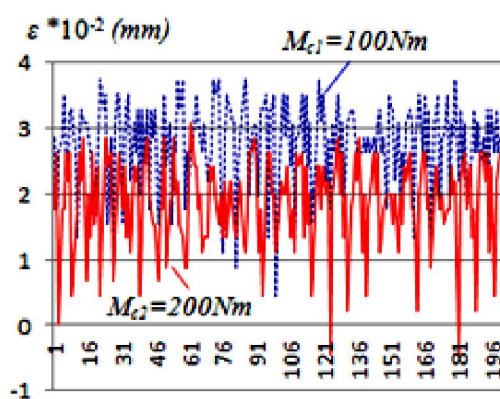
Trên trục ngắn $L = 1300\text{mm}$:

$$\text{tg} \varphi_{cd} \approx \varphi_{cd} = \frac{1,593}{900} = 0,00177 \quad (\text{rad})$$

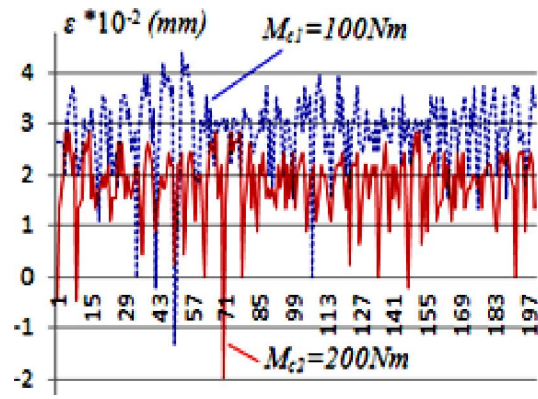
Trên trục dài $L = 1450\text{mm}$:

$$\text{tg} \varphi_{cd} \approx \varphi_{cd} = \frac{3,522}{900} = 0,0039 \quad (\text{rad})$$

Góc nghiêng trục và chiều dài trục đều có ảnh hưởng lớn biến dạng trên hai đầu trục. Kết quả đo hai giá trị biến dạng ở hai đầu trục ta thấy rõ nét hơn trên đồ thị hình 7. Từ kết quả đo ta tính được biến dạng trên trục ngắn và trục dài:

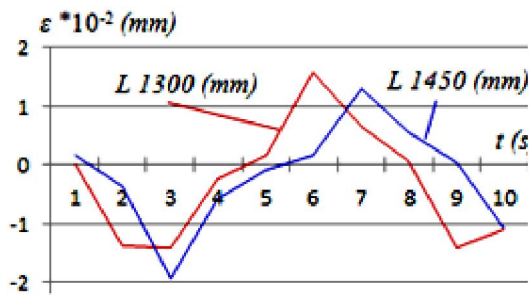


a) Trên trục chiều dài $L = 1300\text{mm}$

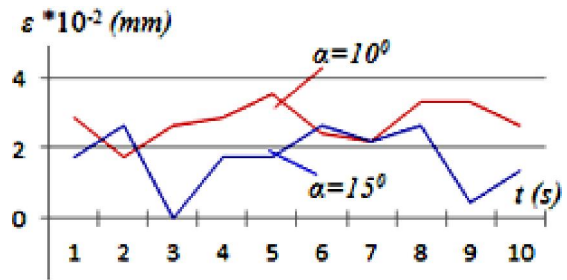


b) Trên trục chiều dài $L = 1450\text{mm}$

Hình 6. Đồ thị ảnh hưởng của chế độ tải đến biến dạng trên trục các đăng



a) Trên trục chiều dài $L = 1300\text{mm}$



b) Trên trục chiều dài $L = 1450\text{mm}$

Hình 7. Đồ thị ảnh hưởng của chiều dài và góc nghiêng trục đến biến dạng trục các đăng

4. KẾT LUẬN

Thí nghiệm đo đồng thời các thông số mô men xoắn, ứng suất, số vòng quay trên trục các đăng đang quay với các chế độ tải khác nhau theo nguyên lý mạch cầu Wheatston, các tín hiệu lấy ra sử dụng nguyên lý thu phát sóng điện từ không dây truyền đến bộ khuếch đại xử lý cho phép giữ nguyên trạng thái thực của chi tiết và các chế độ tải tạo ra phù hợp với chế độ tải khi xe hoạt động thực tế trên đường nên kết quả đáng tin cậy.

Kết quả thí nghiệm cho thấy trục có chiều dài 1450 mm có biến dạng lớn hơn trục chiều dài 1300 mm và từ đó xác định được điều kiện cứng của trục ngắn thỏa mãn hơn trục dài. Điều này phù hợp với thực tế nếu khoảng cách quá lớn ta cần sử dụng trục các đăng kép để truyền lực trong hệ thống truyền lực của ô tô.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Vĩnh Long trong nghiên cứu.

DANH MỤC, KÝ HIỆU

- α : Góc nghiêng trục các đăng trong mặt phẳng dọc ($^{\circ}$);
- L : Chiều dài trục các đăng (mm);
- n : Số vòng quay (vòng/phút);
- ε : Biến dạng của điện trở (μm);
- ε_{CL} : Lượng biến dạng trên máy kéo nén (μm);
- $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$: Biến dạng tương đối thực tế trên mỗi điện trở (μm).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Khang (2017), *Động lực học hệ nhiều vật*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [2]. Matlab R2016a, Help, Mechanical shaft.
- [3]. HBM, 2010. *Spider8 Manual Instruction*, HBM PC Measurement Electronics.
- [4]. www.tml.jp/Strain Gauge Users' Guide, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd, TML