NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ, CHẾ TẠO BỆ THỬ LIÊN KẾT ĐỘNG CƠ VỚI THIẾT BỊ ĐO CÔNG SUẤT MP100S

RESEARCH, DESIGN AND MANUFACTURING OF A TEST STAND LINKING THE ENGINE WITH MP100S ENGINE TEST BED

TRẦN HỮU NHƯ[1,a], TRẦN HỮU DANH[1],
PHẠM HOÀNG ANH[1], LÊ HỒNG KỲ[1]
[1]*Trường Đại học SPKT Vĩnh Long*
[a]*Tác giả liên hệ: nhuth01@pvpgb.pvn.vn*

Nhận bài(Received): 18/03/2024; Phản biện (Reviewed): 07/04/2024; Chấp nhận (Accepted): 12/04/2024

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu, thiết kế bệ thử gá lắp động cơ có kết cấu không chỉ gá lắp một động cơ thử nghiệm duy nhất mà còn gá lắp được nhiều loại động cơ khác nhau với cơ cấu đỡ động cơ di chuyển tịnh tiến được theo các trục X, Y, Z và quay quanh trục Z nên rất linh động, dễ dàng trong việc gá lắp và canh chỉnh động cơ nối với bộ đo công suất MP100S. Chế tạo và lắp ráp hoàn chỉnh bệ thử gá lắp động cơ liên kết được với bộ MP100S đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, an toàn vận hành và thử nghiệm đo được số vòng quay n (vòng/phút), mô men M (N.m) và công suất P (N.m) của động cơ khi hoạt động khi hoạt động không tải và có tải. Kết quả đạt được của bài báo có thể làm số liệu tham khảo trong tính toán thiết kế và chế tạo bệ thử gá lắp động cơ để đo số vòng quay, mô men và công suất của động cơ, hiệu suất cánh Turbocharger, áp suất khí thải, lượng nhiên liệu tiêu thụ ứng với từng chế độ làm việc của động cơ

Từ khóa: Động cơ, bệ thử dòng công suất hở, tải, bộ Turbo, MP100S, …

ABSTRACT

This article researches and designs an engine mounting test stand with a structure that not only mounts a single test engine but also mounts many different types of engines with the engine support structure moving forward according to The X, Y, Z axes rotate around the Z axis, so it is very flexible and easy to mount and align engine connected to the MP100S engine test bed. Manufacturing and complete assembly of an engine mounting test stand linked to the MP100S device to ensure technical requirements, operational safety and testing to measure the number of revolutions n (rpm), torque torque M (N.m) and power P (N.m) of the engine during no-load and load operation. The results obtained in the article can be used as reference data in calculating, designing and manufacturing engine mounting test stands to measure the number of revolutions, torque and power of the engine, Turbocharger blade performance, and pressure. emissions and fuel consumption for each engine working mode.

Keywords: *Engine, open power flow test stand, loads, Turbocharger, MP100S*

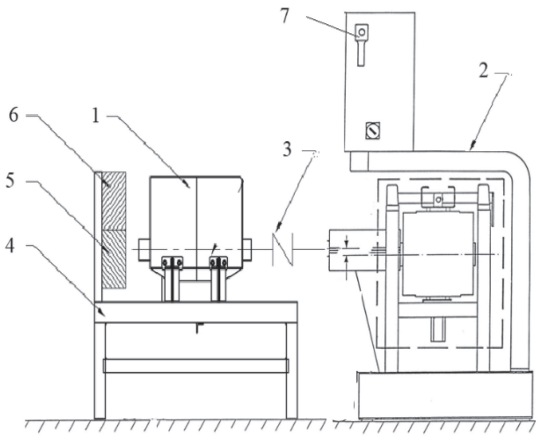
1. Đặt vấn đề

Động cơ dầu diesel là loại động cơ tiết kiệm kinh tế và bền nhất thế giới, có lịch sử lâu đời nhất và được áp dụng phổ biến trên các thiết bị máy móc, công nghiệp như ô tô, máy xúc, xe nâng, máy công trình…để đáp ứng xu thế phát triển chung của thời đại, đặc biệt là nội địa hóa các phụ tùng ô tô, làm chủ khả năng công nghệ tiến tới tự thiết kế chế tạo động cơ diesel trong nước đã có nhiều công trình nghiên cứu về động cơ như giảm tiêu hao năng lượng, giảm độc tính khí thải, đảm bảo cho thiết bị vận hành thông suốt, thống nhất không gây tiếng ồn, nâng cao hiệu suất…thì cần phải thiết kế bệ thử gá lắp động cơ trong thí nghiệm giống như động cơ được gá đặt thực tế trên xe. Bệ thử được thiết kế chế tạo với động cơ lắp ngang, giống như động cơ được sử dụng trên xe dẫn động cầu trước và một số xe dẫn động 4 bánh, kết cấu bệ thử gá lắp được đa dạng các loại động cơ và dễ dàng liên kết với các cơ cấu khác để thực hiện các mục tiêu thử nghiệm khác nhau, đồng thời kết cấu khung phải đảm bảo yêu cầu kỹ thuật chế tạo, lắp ghép và đủ bền trong điều kiện gá lắp động cơ và động cơ vận hành ổn định không tải và có tải đó chính là mục tiêu nghiên cứu của bài báo này. [1]

2. Nội dung nghiên cứu

Bệ thử gá lắp động cơ được thiết kế, chế tạo và thử nghiệm theo nguyên lý dòng công suất hở có đặc điểm là công suất đi vào và đi ra không nối thành một vòng khép kín với các bộ phận chính gồm có động cơ (1), bộ MP100S (2) và khớp cardan (3), động cơ dùng để dẫn động, khớp cardan nối động cơ với bộ MP100S, khung đỡ (4) dùng để đỡ động cơ, két làm mát (5) để làm mát động cơ, bình nhiên liệu (6) cung cấp nhiên liệu khi động cơ hoạt động, bộ đo hiệu suất MP100S do hãng Weinlich của Đức sản xuất bao gồm các bộ phận chủ yếu sau: cụm điều khiển gồm máy tính MP ở bên trong và panel điều khiển; cụm phanh và đo được nối trực tiếp với động cơ; Bộ điều khiển phanh (7) để thay đổi lực phanh tạo tải và mô men xoắn tác động lên động cơ và khung đỡ nhằm thực hiện các điều kiện và yêu cầu thử nghiệm. [2]

2.1. Sơ đồ nguyên lý bệ thử gá lắp động cơ



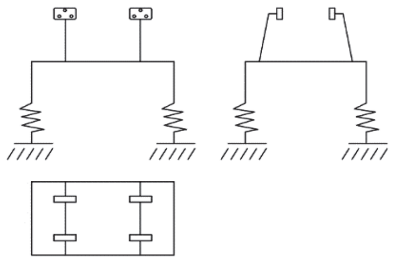
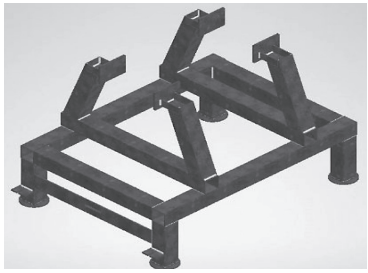
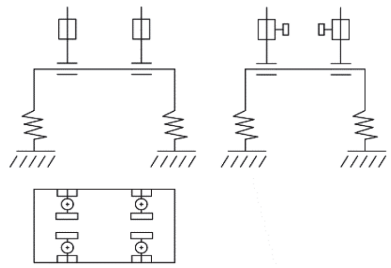
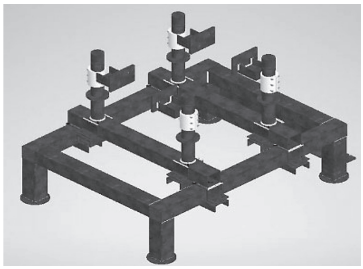
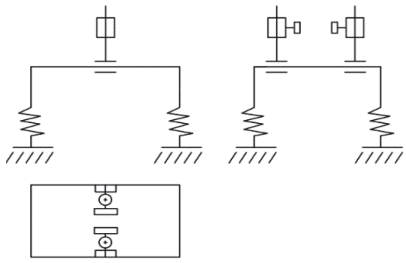
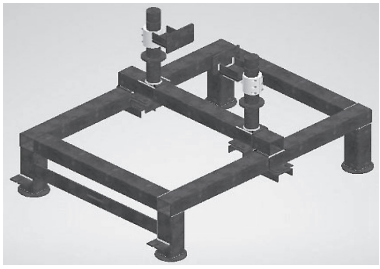
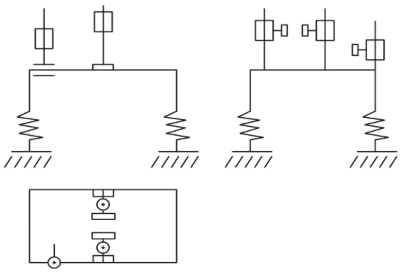
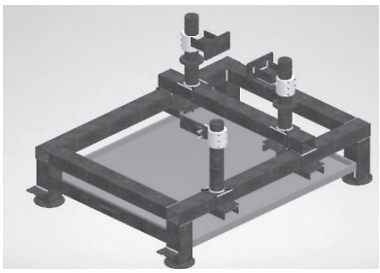
1-Động cơ, 2-Bộ MP100S,
3-Khớp nối cardan, 4-Bệ đỡ động cơ,
5-Két làm mát, 6-Bình nhiên liệu,
7-Bộ điều khiển phanh

Hình 1. Sơ đồ nguyên lý bệ thử gá lắp động cơ

2.2. Thiết kế bệ thử gá lắp động cơ

Ý tưởng thiết kế là từ sơ đồ nguyên lý bệ thử nghiệm động cơ thiết kế sơ đồ kết cấu của các phương án chế tạo, ứng dụng phần mềm Autodesk inventor thiết kế 3D, lắp ghép hoàn chỉnh bệ thử nghiệm, phân tích ưu nhược điểm của từng phương án để xác định phương án hợp lý, tiến hành mô phỏng phân tích bền, chế tạo, lắp đặt và thử nghiệm

Bảng 1. **Các phương án thiết kế bệ thử**

Phương án	*Sơ đồ kết cấu*	*Mô hình 3D*
Phương án 1		
Phương án 2		
Phương án 3		
Phương án 4		

Phương án 1**:** Động cơ được gá 4 điểm tại 4 vị trí gá lắp ở 2 đầu của động cơ, trong đó mỗi mặt bên được gá lắp vào 2 vị trí đối xứng qua mặt phẳng cắt dọc của động cơ. Khung gá động cơ gồm cơ cấu 4 thanh đỡ, đầu trên được hàn cố định với bass gá động cơ chữ L để lắp với động cơ bằng bulong và đai ốc, đầu dưới được liên kết cố định vào khung chính bằng phương pháp hàn. Khung chính được thiết kế với dạng kết cấu chữ nhật, 4 chân của khung chính liên kết với nền bằng 4 đế chống rung để giảm chấn, giảm rung động.

Trong thiết kế này, ưu điểm kết cấu đơn giản nên việc chế tạo được dễ dàng, động cơ được gá tại 4 điểm nên có độ cứng vững cao. Động cơ được gắn cứng vào giá đỡ, kết cấu khung và chân đế phải được thiết kế phù hợp với động cơ nên chỉ có thể liên kết cố định động cơ với kết cấu gần như có độ lệch tối thiểu nên có bất tiện về sự dịch chuyển hệ thống lắp của động cơ với giá

đỡ và có khả năng chịu được dung sai khi bệ thử đi vào hoạt động. Với thiết kế này việc lắp đặt động cơ cũng không cho phép bất kỳ điều chỉnh theo chiều dọc (phương X), chiều ngang (phương Y) và chiều cao (phương Z) khi việc thực hiện điều chỉnh đó là rất cần thiết. Do đó, liên kết này về mặt lý thuyết khung đỡ động cơ và khung chính tạo thành một khối thống nhất nên chỉ cho phép động cơ được liên kết với bộ đo hiệu suất MP100S bằng cách di chuyển toàn bộ bệ thử nên rất khó khăn trong việc căn chỉnh sau cho bệ thử sau khi gá lắp đảm bảo được yêu cầu lắp ghép và an toàn khi vận hành.

Phương án 2: Khung chính bệ thử được thiết kế với dạng kết cấu khung chữ nhật, 4 chân của khung chính liên kết với nền bằng 4 đế chống rung để giảm chấn và giảm rung động; Cơ cấu đỡ động cơ gồm có 2 thanh ngang tiết diện chữ nhật đặt trên bề mặt phía trên của khung chính, thanh ngang này có tác dụng là thanh đỡ trượt ngang, thanh ngang có mặt dưới ở 2 đầu được hàn với 02 bass chữ U để di chuyển được dọc khung (phương X) trên thanh đỡ chính, mỗi thanh trượt ngang chứa 2 bộ đỡ trục tròn+khớp nối trục, như vậy 2 thanh đỡ ngang chứa 4 bộ đỡ trục tròn+khớp nối trục, trong đó bộ đỡ trục tròn+khớp nối trục để thực hiện di chuyển lên xuống (phương Z) và xoay quanh tâm trục tròn đến vị trí thích hợp thì được cố định bằng vít hãm đầu lục giác chìm, 04 khớp nối trục được hàn cố định với 04 bass gá động cơ chữ L để lắp với động cơ bằng bulong và đai ốc gá tại 4 điểm ở 4 vị trí gá lắp ở 2 đầu của động cơ, trong đó mỗi mặt bên được gá lắp vào 2 vị trí đối xứng qua mặt phẳng cắt dọc của động cơ, đầu dưới của trục đỡ tròn được hàn cố định với bass chữ U để liên kết với thanh ngang chữ nhật ở mặt trên khung chính bằng bulong+đai ốc nên thực hiện được chuyển động tịnh tuyến theo phương ngang (phương Y). Trong thiết kế này, ưu điểm là động cơ được gá tại 4 điểm nên có độ cứng vững cao, động cơ được gắn cứng vào cơ cấu đỡ động cơ, trong đó cơ cấu đỡ động cơ thực hiện di chuyển tịnh tiến được theo 3 phương X, Y, Z và xoay quanh trục Z nên với thiết kế này thì động cơ sẽ dễ dàng được liên kết với bộ đo hiệu suất MP100S bằng cách điều chỉnh cơ cấu đỡ động theo chiều dọc (phương X), chiều ngang (phương Y) và chiều cao (phương Z) đến vị trí thích hợp thì liên kết cố định giữa các cơ cấu và khung chính bằng bulong+Đai ốc nên rất dễ dàng cho việc điều chỉnh và gá lắp, mở rộng khả năng công nghệ của đồ gá, gá lắp được đa dạng nhiều loại động cơ khác nhau đảm bảo được yêu cầu lắp ghép và an toàn khi vận hành. Bên cạnh những ưu điểm kể trên cũng còn một vài lưu ý là cơ cấu gá đặt nhiều nên không gian làm việc và gá đặt bị hạn chế, 4 điểm gá cứng trên động cơ tạo nên độ cứng vững rất cao nên để 2 đầu động cơ được đều nhau thì thiết kế gá lắp chính xác, trong trường hợp động cơ xoay quanh trục Y sẽ khó khăn trong việc điều chỉnh…Tuy nhiên, do động cơ liên kết với bộ MP100S bằng khớp nối Cardan nên vấn đề trên không đáng kể.

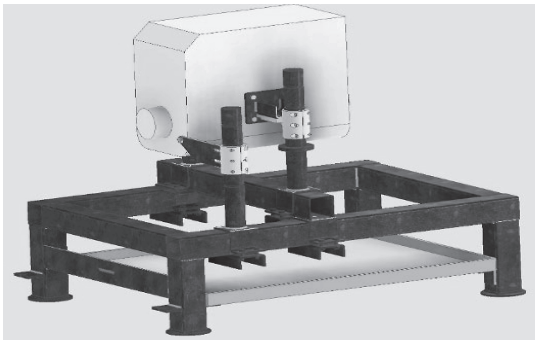
Phương án 3: Bệ thử được thiết kế về kết cấu khung chính và cơ cấu đỡ động cơ với nguyên lý di chuyển giống như phương án 2 nhưng cơ cấu đỡ động cơ chỉ có 1 thanh ngang tiết diện chữ nhật đặt trên bề mặt phía trên của khung chính chứa 2 bộ đỡ trục tròn+khớp nối trục, 02 khớp nối trục được hàn cố định với 02 bass gá động cơ chữ L để lắp với động cơ bằng bulong và đai ốc gá tại 2 điểm ở 2 vị trí gá lắp ở chính giữa của động cơ. Thiết kế này có ưu điểm khắc phục được nhược điểm của phương án 1 và phương án 2, động cơ được gá tại 2 điểm chính giữa động cơ nên chịu tải toàn bộ trọng lượng của động cơ làm

cho có độ cứng vững không cao, động cơ liên kết với bộ đo hiệu suất MP100S qua khớp nối Cardan, chịu tải trọng của khớp nối và mô men khi động cơ hoạt động đặc biệt là trong trường hợp thử nghiệm có tải bằng cách sử dụng cơ cấu gây tải và hãm phanh trên bộ đo hiệu suất MP100S nên không đảm bảo an toàn khi vận hành.

Phương án 04: Bệ thử được thiết kế hoàn toàn giống như phương án 3 nhưng có thêm 01 bộ đỡ trục tròn+khớp nối trục mà đầu dưới trục đỡ tròn hàn bass chữ U để liên kết với khung chính, khớp nối trục được hàn cố định với 01 bass gá động cơ có khe hở tăng đưa để đỡ ở đầu động cơ có bánh đà và khớp nối Cardan truyền động động cơ và bộ đo hiệu suất MP100S. Trong thiết kế này, động cơ được gá tại 3 điểm trong đó có 2 điểm chính giữa động cơ nên chịu tải toàn bộ trọng lượng của động cơ và 01 điểm gá tại đầu nối chuyển động của động cơ nên độ cứng vững cao, đảm bảo an toàn khi vận hành thử nghiệm không tải và có tải trên bộ đo hiệu suất MP100S.

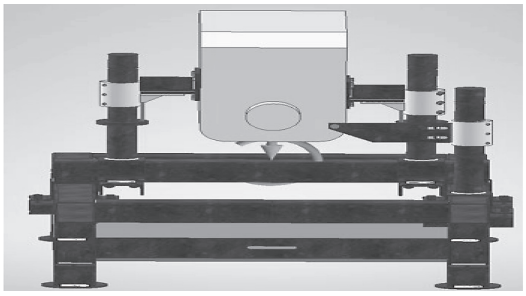
Qua phân tích ưu nhược điểm của 04 phương án thiết kế trên thì phương án 04 là hợp lý nhất, kết cấu đơn giản dễ chế tạo, dễ điều chỉnh và lắp ghép. Bệ thử nghiệm lắp ghép được nhiều loại động cơ khác nhau nên chọn phương án 04 để thiết kế và chế tạo.

2.3. Lắp ghép hoàn chỉnh bệ thử nghiệm và mô phỏng kiểm tra bền trong phần mềm Inventor

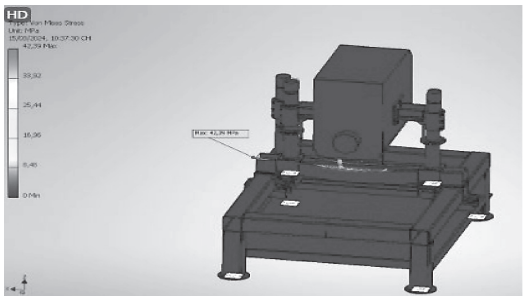


Hình 2. ***Lắp ghép hoàn chỉnh bệ thử nghiệm thiết kế***

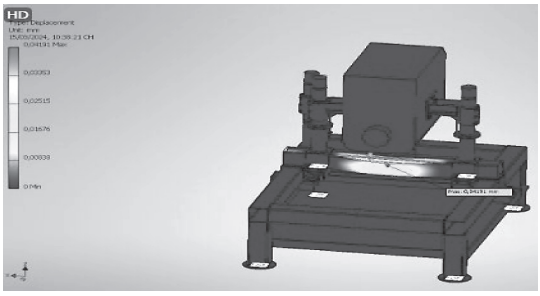
Kiểm tra bền khung nâng hạ động cơ và hộp số với trọng lượng của Động cơ là 350kg, Toàn bộ khung đỡ + két nước có trọng lượng 150kg. Lực và moment đặt ở thanh ngang lần lượt có giá trị 5000N và 350.000 (N.mm) xem Hình 3. Tiến hành phân tích bền bệ thử:



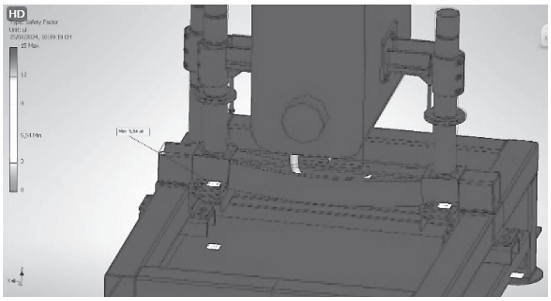
Hình 3. Đặt lực và moment



Hình 4. Ứng suất tương đương lớn nhất Von Mises Stress



Hình 5. Chuyển vị lớn nhất



Hình 6. Hệ số an toàn

Ứng suất tương đương Von Mises Stress có giá trị cao nhất là 42,39 Mpa (Hình 4); Chuyển vị max nằm tại ngay điểm đặt lực giá trị 0.04191mm (hình 5); Hệ số an toàn tốt, giá trị nhỏ nhất theo chuẩn là 5,54 ul tại vị trí bắt bu long (Hình 6)

ASTM A36 là một loại thép phổ biến được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng kỹ thuật do có đặc tính cơ học tốt và chi phí sản xuất thấp. Thép ASTM A36 thường có giới hạn chịu đựng (yield strength) khoảng 250 MPa. Do đó, Von Mises stress 42,39 MPa không được coi là lớn đối với thép ASTM A36. Nó chỉ đạt khoảng 16,96% giới hạn chịu đựng của thép này nên kết cấu khung bệ thử là đủ bền, đảm bảo an toàn.

2.4. Chế tạo, lắp đặt hoàn chỉnh bệ thử và thử nghiệm:

2.4.1. Yêu cầu chế tạo và lắp đặt

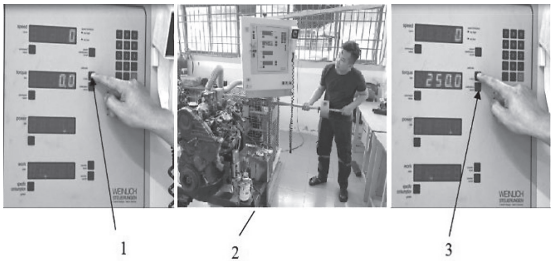
Bệ thử nghiệm động cơ thiết kế chế tạo phải đáp ứng được yêu cầu: chế tạo dễ dàng, thay chi phí thấp…khung chính được chế tạo bằng cách hàn thép hộp vuông 75x75x3, cơ cấu đỡ động cơ với 3 trục đỡ được chế tạo từ tròn thép tròn đặc 55, 03 khớp nối trục được chế tạo là 03 bạc lệch tâm có vít điều chỉnh và các vít lục giác chìm để hãm cố định đúng vị trí cần di chuyển. Dưới 4 chân gắn đế chống rung, loại đế chống rung của máy Tiện. [4]

Bệ thử gá lắp động cơ sau khi chế tạo xong liên kết với bộ đo công suất MP100S phải đảm bảo các điều kiện như liên kết giữa thiết bị và giá đỡ động cơ phải chắc chắn, lắp nắp bảo vệ cắc-đăng chắc chắn; đảm bảo lắp động cơ và cụm phanh phải đồng tâm, lắp đường ống xả vào động cơ chắc chắn và kín khí; Lắp trục cắc-đăng vào cụm phanh phải đảm bảo đủ chiều sâu (ít nhất 20mm) và đúng dấu ăn khớp; Vị trí lắp đặt toàn bộ bệ thử nghiệm phải đảm bảo không gian làm việc hợp lý, dễ dàng cho việc thực nghiệm thay đổi số vòng quay, tải và thao tác máy. [3]

2.4.2. Lắp ghép hoàn chỉnh bệ thử nghiệm chế tạo và tiến hành Calip

Bệ thử nghiệm chế tạo được lắp ghép hoàn chỉnh như Hình 7

Hình 7. Bệ thử nghiệm chế tạo



Hình 8. Calip mô men xoắn cơ cấu gây tải

Calip mô men xoắn trong cơ cấu gây tải: mở nguồn cơ cấu gây tải MP100S, nhấn chọn 0 N.m (1), đặt Calíp (2) vào, chọn Calibration Value được kết quả chuẩn 250 N.m. Calíp chuẩn có khối lượng 25kg, chiều dài cánh tay đòn 1m, mô men xoắn 250 (N.m) như Hình 8. [5]

2.4.3. Thử nghiệm

Đọc kỹ toàn bộ các hướng dẫn sử dụng trước khi khởi động thiết bị kiểm tra công suất động cơ lần đầu tiên; Kiểm tra trước khi vận hành; Đảm bảo các nguyên tắc an toàn khi vận hành thiết bị MP 100S trong đó đặc biệt chú ý không được để bộ MP100S chạy quá tốc độ giới hạn được ghi trên lồng bảo vệ; chú ý bảng tải trọng trên thiết bị kiểm tra động cơ…Tiến hành đo đo công suất và momen của động cơ và lưu trữ

dữ liệu trên phầm mềm DiaW 1.3

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Sau khi lắp ghép hoàn chỉnh bệ thử nghiệm tiến hành calip bộ đo hiệu suất MP100S. Thử nghiệm với các chế độ hoạt động của động cơ ở các chế độ thí nghiệm với n từ 1000 đến 2400 (vòng/phút).

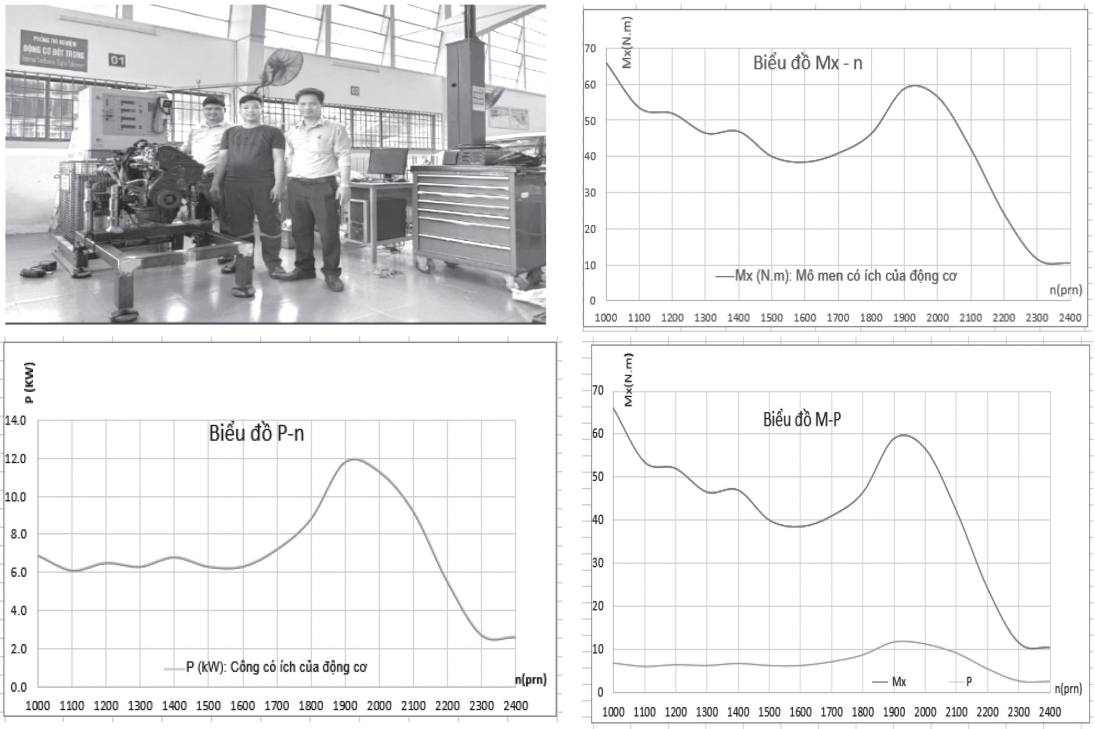
Kết quả đã xác định được giá trị của Mô men có ích của động cơ Mx (N.m), Công có ích của động cơ P(kW) (Bảng 2). và vẽ được đồ thị ở các các chế độ thí nghiệm (Hình 9). Kết quả từ đồ thị công suất - số vòng quay (Biểu đồ n-P) nhận thấy công suất của động cơ lớn cực đại P_{max}=11.8 (kW) khi động cơ quay tốc độ cao n=1900 (vòng/phút)

Đồ thị số vòng quay-mô men (Biểu đồ n-Mx) nhận thấy momen xoắn lớn cực đại khi tải nặng cần kéo mạnh nên tăng tốc nhanh. Momen xoắn cực đại Mx_{max}=66 (N.m) đạt được ở số vòng quay thấp n=1000 (vòng/phút) sẽ tăng tốc nhanh, khả năng tải nặng tức thời và tiết kiệm nhiên liệu.

Đồ thị công suất-mô men (P-Mx) nhận thấy công suất cực đại đạt được tại số vòng quay kéo dài dẫn đến kéo dài khả năng tải nặng cũng như khả năng tăng tốc độ của xe

Bảng 2: Kết quả giá trị Mx và P đo được với n từ 1000 đến 2400 (vòng/phút)

n (vòng/phút)	Mx (N.m)	P(kW)
1000	**66**	**6.9**
1100	54	6.1
1200	52	6.5
1300	47	6.3
1400	47	6.8
1500	40	6.3
1600	39	6.3
1700	41	7.2
1800	47	8.8
1900	**59**	**11.8**
2000	57	11.3
2100	42	9.2
2200	24	5.5
2300	12	2.7
2400	11	2.6



Hình 9. Đồ thị ở các chế độ thí nghiệm với n từ 1000 đến 2400 (vòng/phút)

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã thiết kế chế tạo được bệ thử gá lắp được nhiều loại động cơ và liên kết được với bộ đo công suất MP100S đảm bảo yêu cầu lắp ráp, an toàn khi vận hành thiết bị và tiến hành thử nghiệm đo được sống vòng quay n (vòng/phút), mô men xoắn Mx (N,m), công suất động cơ P (kW) ứng với từng chế độ làm việc của động cơ và vẽ được đồ thị công suất -số vòng quay, đồ thị công suất-mô men.

Kết quả nghiên cứu đạt được mở rộng ứng dụng cho nhiều mục đích thử nghiệm khác nhau như kiểm tra hiệu suất cánh Turbocharger, áp suất khí thải, lượng nhiên liệu tiêu thụ ứng với từng chế độ làm việc của động cơ, giảm độc tính khí thải, đảm bảo cho thiết bị vận hành thông suốt, thống nhất không gây tiếng ồn, nâng cao hiệu suất… đáp ứng được yêu cầu nghiên cứu, giảng dạy và học tập trong ngành công nghệ ô tô ở các trường Đại học, Cao đẳng Kỹ thuật. Ngoài ra còn ứng dụng vào thực tiến để tiến hành sản xuất, góp phần nâng cao năng lực nội địa hóa phụ tùng ô tô trong nước.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện tại Khoa Cơ khí -Trường Đại học SPKT Vĩnh Long. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Ban giám hiệu, quý thầy, cô đồng nghiệp đã hỗ trợ để tác giả hoàn thành công trình nghiên cứu, xin chân thành cảm ơn Ban biên tập tạp chí VLUTE đã tạo điều kiện để nhóm tác giả tham gia bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Hữu Cẩn, Phạm Hữu Nam, *Thí nghiệm ô tô,* NXB Khoa học Kỹ thuật, 2004

[2]. Cao Hùng Phi, *Nghiên cứu độ ồn rung của hộp số ô tô được thiết kế và chế tạo tại Việt Nam – Thiết bị đo công suất MP 100S*, 2008.

[3]. Nguyễn Thanh Tùng, *Tài liệu Giáo trình Chẩn đoán động cơ; Bài: Vận hành thiết bị kiểm tra công suất động cơ MP 100S*.

[4]. Trần Hữu Danh, Nguyễn Thanh Quang, Đào Duy Trung, *Nghiên cứu chế tạo bệ thử dòng công suất hở để kiểm tra bền trục các đăng trong hệ thống truyền lực ô tô tải nhẹ*, VCME 2018

[5]. MP100S engine test bed with MP Computer Operating instructions

[6]. Jonathan C Lohr, *"Design of a Multi-Engine Test Stand with Eddy Current Dynamometer"* Raleigh, North Carolina 2014.

[7]. Michal Keder, Rafal Grzeszczyk, "*Design of a New Engine Dynamometer Test Stand for Driving Cycle Simulation",* Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 21, No. 4 2014

[8]. Derbiszewski Bogdan, Wozniak Marek, Damian Jozinkiewicz, Sergiusz Zakrzewski, Małgorzata Kaczmarek, Dominik Binkowski, Andrzej Obraniak and Siczek Krzysztof* "*Research of dynamic phenomena in a model engine stand", Open Engineering 2023; 13: 20220436*