

MÔ PHỎNG ÁP SUẤT VÀ CHIỀU DÀY MÀNG DẦU BÔI TRƠN Ổ TRỤC CAM ĐỘNG CƠ XE MÁY HONDA WINNER NHẪM XÁC ĐỊNH NGUYÊN NHÂN HƯ HỎNG SỚM CỦA Ổ

NUMERICAL MODELIZATION PRESSURE AND OIL FILM THICKNESS IN CAMSHAFT BEARING TO FINE THE PREMATURE FAILURE REASON OF THE BEARING

Trần Thị Thanh Hải^{1*}, Đào Duy Trung²

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Viện Nghiên cứu Cơ khí

TÓM TẮT

Bài báo trình bày các tính toán áp suất và chiều dày màng dầu bôi trơn ổ trục cam của động cơ xe máy Honda Winner nhằm xác định nguyên nhân gây hư hỏng sớm các bề mặt ma sát của ổ. Tải tác dụng lên ổ trục cam được xác định từ các thông số làm việc và các thông số kết cấu của động cơ. Áp suất và chiều dày màng dầu được tính toán trên cơ sở giải các giải phương trình đặc trưng của bôi trơn thủy động bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Các kết quả mô phỏng cho thấy, áp suất và chiều dày màng dầu có ý nghĩa góp phần xác định nguyên nhân gây hư hỏng sớm của bề mặt được bôi trơn.

Từ khóa: Ổ trục cam; Màng dầu; Bôi trơn thủy động; Áp suất.

ABSTRACT

This paper presents the calculations of the film pressure and the oil film thickness in camshaft bearing of the Honda Winner's engine to fine the premature failure reason of the bearing. The load applied to the camshaft bearing is determined by the operating and structural parameters of the engine. The pressure and the oil film thickness are calculated based on solving the characteristic equations of hydrodynamic lubrication using the finite element method. The calculated results show that the pressure and the oil film thickness significantly contribute to identification the premature failures reason of the lubricated surfaces.

Keywords: Camshaft bearing; Oil film; Hydrodynamic lubrication; Pressure.

1. GIỚI THIỆU

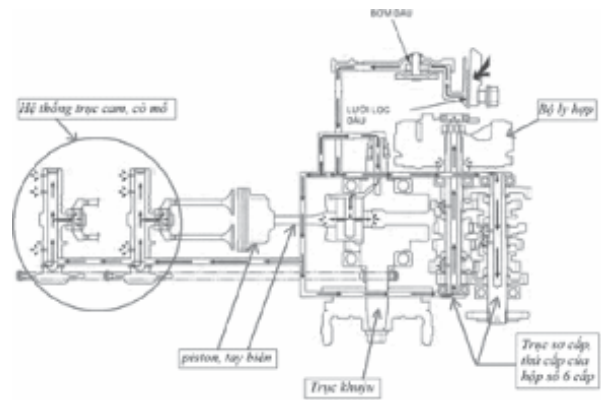
Xe máy Honda Winner là một trong các phương tiện giao thông phổ biến ở nước ta hiện nay. Tuy nhiên, do đặc điểm khí hậu, địa hình giao thông và cách thức sử dụng, thực tế xảy ra nhiều hư hỏng trước thời gian dự kiến. Việc giảm thiểu các hư hỏng động cơ khi sử dụng xe máy nói chung và xe máy Honda Winner tại Việt Nam liên quan nhiều đến chế độ vận hành xe, trong đó việc đảm bảo bôi trơn cho động cơ đóng vai trò quan trọng. Ở Việt Nam, đặc biệt ở miền núi, nhiều hư hỏng xảy ra sớm hơn đối với một số chi tiết của động cơ xe Honda Winner. Nghiên cứu về bôi trơn ổ đầu to thanh truyền động cơ xe Honda Winner trong điều kiện sử dụng ở Việt Nam [1] và các nghiên cứu bôi trơn ổ đỡ và ổ đầu to thanh truyền cho động cơ [2], [3] đã một phần giải quyết bài toán bôi trơn cho động cơ ở các chế độ làm việc nhất định.

Nghiên cứu này mô phỏng số áp suất và chiều dày màng dầu bôi trơn ổ trục cam động cơ xe máy Honda Winner nhằm xác định các nguyên nhân gây hư hỏng sớm bề mặt ổ trục.

2. Ổ TRỤC CAM ĐỘNG CƠ XE HONDA WINNER

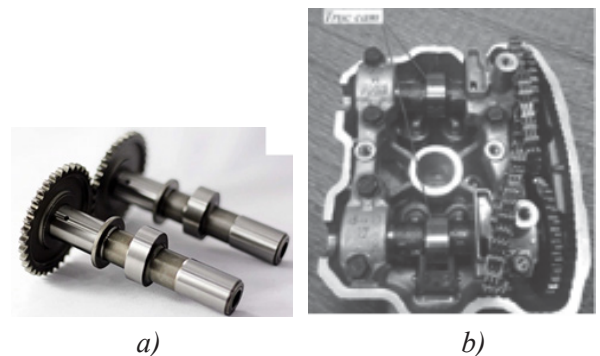
2.1. Ổ trục cam

Sơ đồ hệ thống bôi trơn của động cơ Honda Winner như Hình 1 [4]. Bơm dầu hút dầu từ cacte đầy dầu đi qua lưới lọc dầu để lọc cặn bẩn, mặt sắt có kích thước nhất định sau đó đẩy dầu vào đường ống dẫn dầu. Tại đây, dầu được chia làm ba đường, một đường đi vào trục khuỷu bôi trơn cho thanh truyền, piston, xy lanh..., hai đường còn lại đi tới các vị trí như hệ thống trục cam, cò mổ, xupap, bộ ly hợp, trục sơ cấp và thứ cấp của hộp số.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống bôi trơn xe Honda Winner [4]

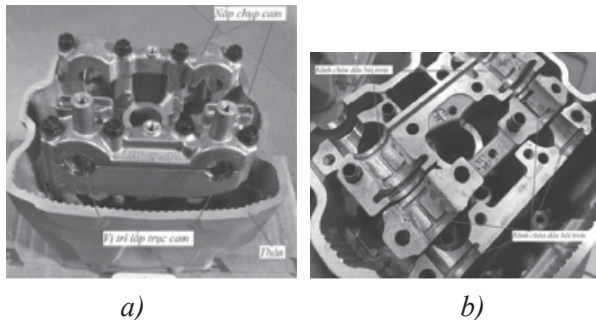
Trục cam là chi tiết được sử dụng trong cơ cấu phối khí, trên trục cam có các vấu cam có tác dụng điều khiển sự đóng mở của các van nạp và xả hay còn gọi là xupap, thông qua đó điều khiển quá trình thay đổi môi chất công tác trong động cơ, “Thải sạch khí thải khỏi xy lanh và nạp đầy hỗn hợp hoặc không khí mới vào xy lanh động cơ”. Động cơ Honda Winner là loại động cơ DOHC (Double Overhead Cam), tức là sử dụng hai trục cam (Hình 2a), mỗi trục đảm nhiệm một nhiệm vụ điều khiển sự đóng mở của xupap xả và xupap hút riêng biệt.



Hình 2. Hình ảnh thực tế trục cam (a) và trục cam lắp vào đầu quy lát động cơ Honda Winner (b)

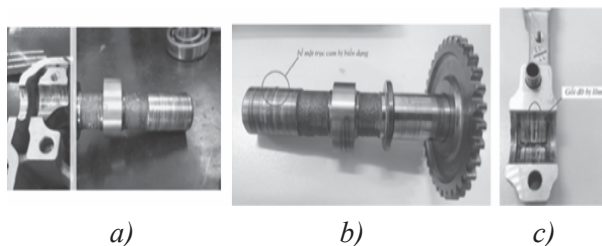
Trục cam của động cơ Honda Winner được gồi trực tiếp lên đầu quy lát mà không thông qua bạc lót hay ổ bi đỡ (Hình 2b). Đầu quy lát gồm ba phần, phần thân và hai nắp chụp cam (Hình 3a). Nắp chụp cam được định vị với

đầu quy lát bằng chốt định vị và được kẹp chặt bằng bu lông. Ở mặt trong của nắp chụp cam và tại vị trí tiếp xúc của trục cam với đầu quy lát có các rãnh dầu để bôi trơn cho trục cam (Hình 3b).



Hình 3. Đầu quy lát động cơ Honda Winner (a) và rãnh chứa dầu bôi trơn cho trục cam (b)

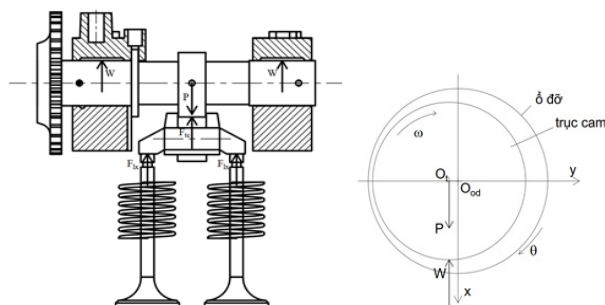
Trục cam được bôi trơn bằng phương pháp bôi trơn thủy động và làm việc trong môi trường khắc nghiệt khiến bề mặt tiếp xúc của trục cam với gờ đỡ trên đầu quy lát rất dễ hư hỏng nếu chất lượng bôi trơn không được đảm bảo. Các dạng hư hỏng của trục cam thường bị mòn, bị xước (Hình 4a), một số khác bề mặt tiếp xúc bị biến dạng (Hình 4b), trục cam bị dính với gờ đỡ (Hình 4c). Các dạng hư hỏng thứ hai và thứ ba là nguy hiểm nhất, nguyên nhân chính dẫn tới hai dạng hư hỏng này là hiện tượng thiếu dầu bôi trơn trong vùng tiếp xúc gờ đỡ và trục cam. Như vậy, việc khảo sát đặc tính bôi trơn, nhất là chiều dày màng dầu nhỏ nhất theo chế độ tải làm việc của động cơ là cần thiết cho việc xác định nguyên nhân gây hư hỏng sớm của bề mặt trong tiếp xúc giữa bạc đỡ và trục cam.



Hình 4. Các dạng hư hỏng của trục cam

2.2. Tải tác dụng lên ổ

Các lực tác dụng lên trục cam bao gồm, trọng lực của trục cam P , tải trọng tác dụng lên trục cam F_{tc} , lực thủy động của màng dầu F_d , momen từ xích cam, lực quán tính của cơ hệ và bỏ qua thành phần tác dụng của lực quán tính, momen xoắn từ xích cam. Tải trọng tác dụng lên trục cam là lực thay đổi theo chu kỳ hoạt động của động cơ nhưng trong nghiên cứu này chỉ xét tại thời điểm trục cam chịu lực lớn nhất chính là thời điểm vấu cam quay xuống và đẩy cò mổ một khoảng bằng đúng chiều dài vấu cam, cò mổ đẩy các xupap mở. Lúc này, lực tác dụng lên trục cam chính là lực đàn hồi của bốn lò xo xupap. Hình 5 biểu diễn lực tác dụng của lò xo xupap lên trục cam thông qua cò mổ. Hình 6 là mặt cắt của một ổ trục cam, tải tác dụng lên một ổ F_{od} được đặt vào trục và có giá trị bằng một nửa của tổng hợp lực tác dụng lên vấu cam và khối lượng của trục cam.



Hình 5. Sơ đồ cụm trục cam (a) và mặt cắt ổ trục cam (b)

Khi tải tác dụng từ lò xo xupap lên vấu cam là lớn nhất, phương trình cân bằng tải có dạng:

$$F_p + F_{tc} + P = 0 \quad (1)$$

Trong đó: F_{tc} là tải trọng tác dụng lên vấu cam và được tính thông qua lực đàn hồi của lò xo. Mỗi trục cam khi hoạt động sẽ chịu

tác dụng lực của hệ lò xo gồm hai lò xo lớn có độ cứng $k_1 = 16000$ (N/m) và hai lò xo nhỏ có độ cứng $k_2 = 8000$ (N/m). Cụm lò xo được nối song song thành hệ lò xo có độ cứng 48000 N/m. Biên độ nén lớn nhất của hệ lò xo được tính thông qua hiệu chiều cao của vấu cam $\Delta l = 3$ mm. Tải trọng tác dụng từ cam là:

$$F_{tc} = k \cdot \Delta l = 144 \text{ N}$$

Tải tác dụng lên ổ trục cam W bằng một nửa tải tác dụng từ cam F_{tc} , tức là bằng 72 N. P là trọng lực tác dụng trục cam $P = 3,2373$ N với khối lượng trục cam $m = 0,33$ kg. F_p là lực thủy động của màng dầu hay chính là tải trọng tác dụng lên ổ trục cam W . Vậy, tải W này tính được là 68,762 N. Ổ trục cam có kích thước, chiều dài ổ $L = 24,6$ mm, đường kính ổ $D = 20$ mm, khe hở bán kính $C = 0,02$ mm.

3. CÁC PHƯƠNG TRÌNH

Tính toán bôi trơn ổ trục cam dựa trên cơ sở giải các phương trình Reynolds, phương trình chiều dày màng dầu và phương trình cân bằng tải viết cho ổ đỡ [5].

- Phương trình Reynolds:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6\mu R \omega \frac{\partial h}{\partial \theta} \quad (2)$$

Trong đó, p là áp suất màng dầu, R là bán kính ổ trục cam, ω là vận tốc góc.

- Phương trình chiều dày màng dầu bôi trơn:

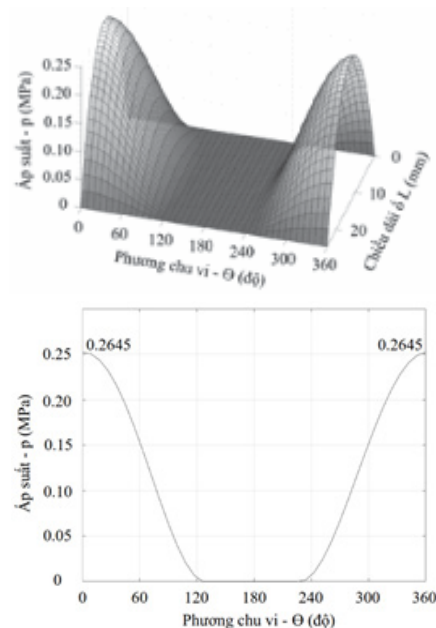
$$h = C(1 + \varepsilon \cos \theta) \quad (3)$$

Trong đó, C là khe hở bán kính, ε là độ lệch tâm tương đối.

Các phương trình đặc trưng này được giải bằng phương pháp phần tử hữu hạn và lập trình trên phần mềm Matlab. Bài báo này chỉ trình bày kết quả áp suất và chiều dày màng bôi trơn của ổ trục cam. Giải thuật giải các phương trình như các nghiên cứu trước đã công bố [2], [6].

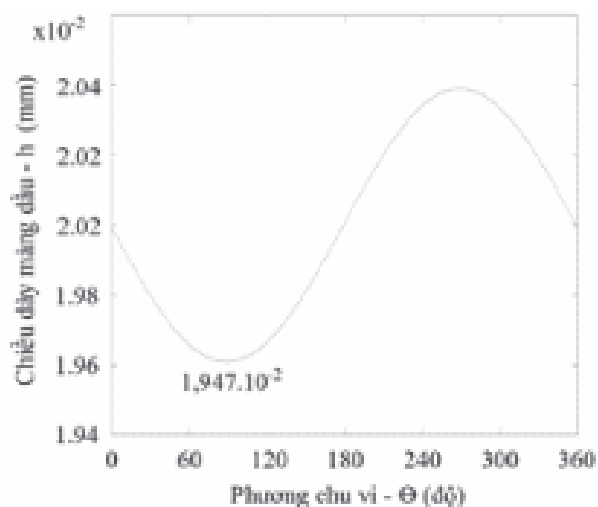
4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Giải phương trình Reynolds, phương trình chiều dày màng dầu bằng phương pháp phần tử hữu hạn cho ổ trục cam động cơ xe máy Honda Winner ở chế độ tải lớn nhất $W = 68,762$ N, tốc độ quay $N = 183,33$ vg/s, dầu bôi CASTROL POWER I 10W40 có độ nhớt động lực học ở 100°C , $\mu = 0,01616$ Pa.s. Hình 6 là trường áp suất màng dầu của ổ đỡ trục cam và áp suất màng dầu tại tiết diện giữa ổ theo phương chiều dài. Ta thấy, vùng áp suất lớn nhất xung quanh góc 0 độ của ổ đỡ, điều này là hợp lý vì vùng này là vùng chiều dày màng dầu nhỏ nhất theo phương tải. Áp suất đạt giá trị lớn nhất trong vùng này là 0,2645 MPa.



Hình 6. Sơ đồ cụm trục cam và mặt cắt ổ trục cam

Hình 7 là chiều dày màng dầu của ổ đỡ trục cam. Ta thấy, chiều dày màng dầu đạt giá trị nhỏ nhất là $1,97 \times 10^{-2}$ mm tại 90° . Điều này là phù hợp với tải tác dụng và áp suất của màng dầu.



Hình 7. Áp suất màng dầu theo phương chu vi ổ

Chiều dày màng dầu phải lớn hơn tổng nhấp nhô các bề mặt để đảm bảo chế độ bôi trơn thủy động. Martin [7] đã thiết lập giá trị chiều dày màng dầu nhỏ nhất có thể chấp nhận được theo đường kính trục bằng việc sử dụng các giá trị thô và hệ số an toàn bằng 3 trên tổng độ nhấp nhô của bề mặt trục và bạc. Theo cách này, chiều dày màng dầu nhỏ nhất có thể chấp nhận được với ổ trục cam của động cơ xe Honda Winner là 0,015 mm. Giá trị này nhỏ hơn chiều dày màng dầu nhỏ nhất tính toán ($1,97 \times 10^{-2}$ mm), có nghĩa là kết quả mô phỏng hợp lý.

Chiều dày màng dầu mô phỏng nhỏ nhất của xe Honda Winner rất mỏng là nguyên nhân dẫn đến sự tiếp xúc giữa trục và bạc nếu quá tải hoặc bề mặt ma sát bị biến dạng. Cùng với kết quả tính toán áp suất màng dầu ổ đầu to thanh truyền động cơ xe máy Honda Winner [1], ta thấy, nếu sử dụng dầu bôi trơn

CASTROL POWER I 10W40 hoặc dầu bôi trơn tương đương hoàn toàn đảm bảo chế độ bôi trơn cho ổ trục cam và động cơ. Nhưng nếu sử dụng dầu bôi trơn có tính năng bôi trơn thấp hơn dầu CASTROL POWER I 10W40 sẽ dẫn đến hư hỏng bề mặt trục cam. Đặc biệt với những xe máy Honda Winner được sử dụng ở các vùng núi hoặc địa hình nhiều dốc khiến xe phải chịu tải lớn liên tục trong thời gian xe hoạt động, làm cho dầu bôi trơn và các bề mặt ma sát bị nóng hơn ở chế độ hoạt động thông thường. Điều này dẫn đến các bề mặt ma sát được bôi trơn bị biến dạng do hiệu ứng đàn hồi, hiệu ứng nhiệt của bôi trơn và do quá tải. Do đó, bề mặt ổ trục cam bị biến dạng và cào xước như các dạng hư hỏng đã đưa ra trong phần trước. Ngoài ra, vòng trong của vòng bi đĩa ổ đầu to thanh truyền cũng bị mòn.

5. KẾT LUẬN

Bài báo tính toán áp suất và chiều dày màng dầu bôi trơn ổ trục cam động cơ xe máy Honda Winner nhằm xác định nguyên nhân gây hư hỏng sớm bề mặt ổ. Tải tác dụng lên ổ trục cam được xác định theo kết cấu và chế độ vận hành của động cơ xe Honda Winner. Kết quả tính toán nhận được trên cơ sở giải các phương trình Reynolds, phương trình chiều dày màng dầu.

Áp suất và chiều dày màng dầu phù hợp với tải tác dụng lên ổ. Kết quả mô phỏng cho thấy, ở tốc độ quay $N = 183,33$ vg/s, áp suất màng dầu đạt giá trị lớn nhất 0,246 MPa tại vùng chịu tải và chiều dày màng dầu nhỏ nhất là $1,97 \times 10^{-2}$ mm. Chiều dày màng dầu nhỏ nhất có thể chấp nhận được với ổ trục cam của động cơ xe Honda Winner là 0,015 mm. Từ đó cho thấy, nếu sử dụng dầu bôi trơn không đảm bảo sẽ dẫn đến hư hỏng bề mặt trục cam. Đặc biệt với những xe máy Honda Winner được sử dụng

ở các vùng núi hoặc địa hình nhiều dốc khiến xe phải chịu tải lớn liên tục trong thời gian xe hoạt động, làm cho dầu bôi trơn và các bề mặt ma sát bị nóng hơn ở chế độ hoạt động thông thường. Điều này dẫn đến các bề mặt ma sát được bôi trơn bị biến dạng do hiệu ứng đàn hồi, hiệu ứng nhiệt của bôi trơn và do quá tải. Do đó, bề mặt ổ trục cam bị biến dạng, mòn và cào xước. ❖

Ngày nhận bài: **03/6/2022**

Ngày phản biện: **15/6/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Trần Thị Thanh Hải*, Vũ Quốc Đạt, Đường Thanh Long, Đặng Vũ Vinh; *Áp suất màng dầu bôi trơn ổ dầu to thanh truyền động cơ xe máy Honda Winner ở chế độ bôi trơn thủy động đàn hồi*.
- [2]. Tran Thi Thanh Hai, Nguyen Dinh Tan, Luu Trong Thuan; *Influence of the radial clearance on the pressure distribution of the 5S-FE engine's connecting-rod big end bearing*, Journal of Science and Technology Technical university, No 132 (2019), 40-45.
- [3]. Tran Thi Thanh Hai; *A Solution for Creating the Simulating Load on Connecting-Rod in the Experimental Device for Lubricating Condition of the Connecting-Rod Big End Bearing*, Journal of Science and Technology Technical university, No 129 (2018), 15-20.
- [4]. Honda Vietnam; *Honda Winner 150 service manual*, 2016.
- [5]. Dominique Bonneau, Dominique Souchet, Aurelian Fatu; *Hydrodynamic bearing*, University of Poitiers, France, 2014.
- [6]. Dung L.A, Hai T.T.T, Thuan L.T; *Numerical Modelization for Equilibrium Position of a Static Loaded Hydrodynamic Bearing*, Journal of science and technology technical universities No.141, 28-33, 2020.
- [7]. Martin F.A, Garner D.R; *Plain journal bearings under steady loads: design guidance for safe operation*, First European Tribology Congress, paper C313/73, Proceedings IME, p.449, 1973.

