

NGHIÊN CỨU SỰ THAY ĐỔI NHÁM BỀ MẶT CAM KHI GIA CÔNG TRÊN MÁY ĐÁNH BÓNG BK.CMPM.12

STUDY ON CHANGE OF SURFACE ROUGHNESS OF CAM WHEN MACHINED
ON THE POLISHING MACHINE BK.CMPM.12

Phạm Văn Hùng¹, Bùi Tuấn Anh^{1*},
Nguyễn Trọng Thanh¹, Phan Văn²

TÓM TẮT

Độ nhám bề mặt chi tiết máy nói chung và trục cam xe máy nói riêng là một trong các thông số quan trọng của chất lượng bề mặt gia công. Chất lượng bề mặt ảnh hưởng trực tiếp ma sát, mòn và tuổi thọ của chi tiết cũng như toàn máy. Nghiên cứu, lựa chọn một bộ thông số công nghệ máy nhằm đạt được chất lượng bề mặt chi tiết tốt nhất luôn được các nhà khoa học quan tâm. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về độ nhám bề mặt cam, một chỉ tiêu của chất lượng bề mặt, khi gia công đánh bóng trên máy BK.CMPM.12. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng độ nhám bề mặt R_z giảm so với trước khi gia công đánh bóng lần lượt là: 30,98%, 11,90%, 14,75% và 15,04% tương ứng với 04 điểm đo theo chu vi cam, từ điểm đo có lượng nâng lớn nhất theo chiều quay làm việc. Ảnh hưởng của áp lực pháp tuyến khi gia công đánh bóng đến độ nhám bề mặt R_z cũng được chỉ ra, theo đó độ nhám bề mặt tại vị trí cam với lượng nâng lớn nhất giảm khoảng 13% so với các vị trí có lượng nâng nhỏ hơn. Giá trị R_z tại 02 vị trí còn lại khác biệt không nhiều, chỉ khoảng 2,7%. Điều này cho thấy bộ thông số công nghệ máy đã được lựa chọn trong vùng hợp lý với phương pháp gia công đánh bóng bằng dây đai dính hạt mài.

Từ khóa: Trục cam, nhám bề mặt, áp lực pháp tuyến, đánh bóng.

ABSTRACT

The surface roughness of machine parts in general and motor camshafts in particular is one of the important parameters of the surface quality of machining. Surface quality directly affects friction, wear and longevity of parts as well as the whole machine. Studying and selecting a set of machining technology parameters to achieve the best surface quality of workparts has always been interested in scientists. This paper presents the research results of cam surface roughness, which is an indicator of surface quality, when polishing on the machine BK.CMPM.12. Experimental results show that the surface roughness R_z decreases compared to that before polishing, respectively: 30.98%, 11.90%, 14.75% and 15.04% corresponding to 04 points measured in the cam circumference, from the measuring point with the largest lobe lift in the direction of rotation. The influence of normal pressure when polishing on surface roughness R_z is also indicated, whereby the roughness at the cam position with the largest lift decreases about 13% compared to that of the positions with smaller lift. The value of R_z in the remaining 2 locations is not much different, only about 2.7%. This shows that the machining technology parameters, which has been selected, is in a reasonable region with the method of polishing by abrasive belt.

Keywords: Camshaft, surface roughness, normal force, polishing.

¹Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Công ty cổ phần Xây lắp và thiết bị công nghiệp MEKAMIC

*Email: anh.buituan@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 05/5/2010

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 03/6/2020

Ngày chấp nhận đăng: 24/6/2020

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trục cam là một trong các chi tiết quan trọng của động cơ đốt trong, đóng mở các xu pạp nạp và xả theo chu trình làm việc của động cơ [1]. Trục cam bao gồm các phần: cam nạp, cam xả và các cổ trục đỡ, cổ trục lắp chi tiết dẫn động trục cam. Chất lượng trục cam ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động cũng như hiệu suất của động cơ [2]. Vật liệu chế tạo trục cam thường là thép hợp kim có thành phần cacbon thấp như thép 15X, 15MH... hoặc thép cacbon thành phần cacbon trung bình như: thép 40 hay thép 45. Các mặt ma sát của trục cam (mặt làm việc của cam, của cổ trục...) đều được thấm cacbon và tôi cứng. Độ thấm cacbon thường khoảng 0,74 - 2mm, tôi cứng đạt HRC 52 - 65. Các bề mặt khác và ruột trục cam có độ cứng thấp hơn, thường vào khoảng HRC 30 - 40. Trục cam xe máy 100^{cc} được chế tạo bằng gang cầu FCD700 có giới hạn chảy là 420MPa, giới hạn bền là 700MPa [3].

Trục cam làm việc trong điều kiện ma sát trượt, có bôi trơn. Do vậy để hạn chế mòn, đảm bảo làm việc ổn định trong thời gian dài thì bề mặt cam cần được chế tạo đạt độ nhám bề mặt cỡ 3,2 μ m [3]. Các nhà chế tạo đã phát triển nhiều phương pháp để nâng cao chất lượng gia công trục cam như: Chép hình; Gia công cam và trục đỡ lắp sau đó hàn ghép lại thành trục cam;... Các phương pháp đều có những ưu điểm và nhược điểm khác nhau về độ phức tạp và độ chính xác gia công, phụ thuộc máy móc, trang thiết bị và kinh nghiệm người gia công... Phương pháp mài bề mặt cam trên máy CNC lần đầu tiên được giới thiệu năm 1983 [4] và được phát triển mạnh mẽ nhờ sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật, khắc phục được những hạn chế của các phương pháp gia công khác, có độ chính xác

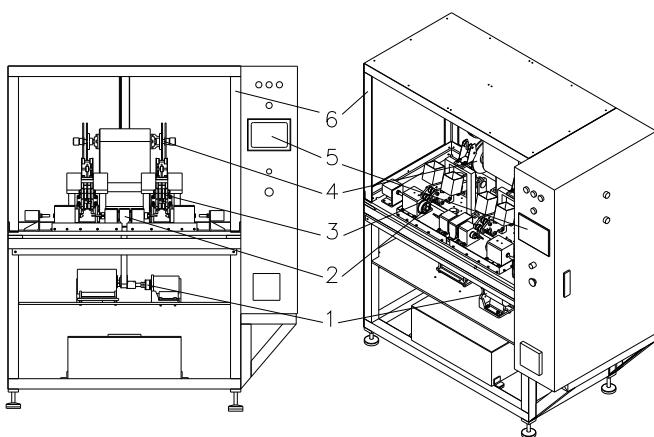
cao, hiệu quả và linh hoạt. Tuy nhiên, do tính năng của động cơ đốt trong ngày càng cao nên điều kiện làm việc của bề mặt cam càng nặng nhọc và khắc nghiệt, do đó cần phải nâng cao hơn nữa độ nhẵn bóng bề mặt. Độ nhẵn bóng này, hiện nay, đạt được thông qua nguyên công đánh bóng tinh xác. Đánh bóng tinh xác bề mặt san phẳng và làm tăng bán kính cong của các đỉnh nhấp nhô tế vi trên bề mặt cam mà không ảnh hưởng đến kích thước và biên dạng cam. Vì vậy, độ cứng và độ nhám bề mặt là các thông số quyết định đảm bảo tính chống mòn cao, giúp trục cam duy trì khả năng điều khiển chính xác thời điểm và lượng mở của xu pạp nạp và xả trong quá trình làm việc lâu dài của động cơ đốt trong.

Kích thước dọc trục bề mặt cam hẹp ~12 - 14mm nên phương pháp đánh bóng tinh xác là phù hợp nhất với dây đai đánh bóng có gắn hạt mài siêu mịn [5, 6]. Dây đai đánh bóng dạng băng tròn chuyển động với tốc độ cao trong các trường hợp đánh bóng vụn năng [7]. Phương án dẫn động trục cam với tốc độ quay thấp, dây đánh bóng không dịch chuyển theo phương dọc trục cam cũng được sử dụng phổ biến [8]. Tuy nhiên, ảnh hưởng của áp lực pháp tuyến thay đổi trên bề mặt cam khi đánh bóng tinh xác tới chất lượng gia công chưa được quan tâm. Do vậy, nghiên cứu này tập trung nghiên cứu phân tích ảnh hưởng của áp lực giữa cam và dây đánh bóng đến độ nhám bề mặt cam khi được gia công tinh xác trên máy đánh bóng BK.CMPM.12.

2. THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

2.1. Hệ thống thiết bị nghiên cứu

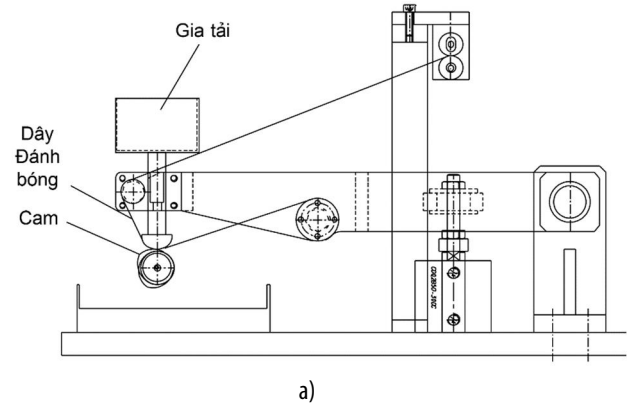
Hệ thống thiết bị thí nghiệm là máy đánh bóng trục cam BK.CMPM.12 tại Phòng Thí nghiệm ma sát - bôi trơn, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, được mô tả như trên Hình 1.



Hình 1. Mô hình hệ thống thí nghiệm BK.CMPM.12: (1) Động cơ; (2) Mũi tâm; (3) Dây đánh bóng; (4) Dẫn dây; (5) Màn hình điều khiển; (6) Khung máy [3]

Động cơ (1) dẫn động đồng thời cho hai chi tiết trục cam. Tốc độ định mức động cơ ba pha 950vg/ph, điều khiển vô cấp bằng biến tần. Trong thực nghiệm nghiên cứu: Dây đánh bóng đứng yên, trục cam chuyển động quay với tốc độ ~120vg/ph; Thời gian cho mỗi lần đánh bóng khoảng 40 giây, có thể thay đổi nhờ bộ điều khiển dựa trên bộ đếm thời gian; Áp lực dây đánh bóng trên bề mặt cam

được điều chỉnh thông qua các đối trọng (gia tải), đảm bảo cho dây đánh bóng luôn tiếp xúc với bề mặt cam. Trong quá trình gia công, áp lực tại vị trí tiếp xúc thay đổi phụ thuộc vào tốc độ quay và lượng nâng của cam. Sơ đồ bố trí thí nghiệm đánh bóng trục cam được mô tả trên Hình 2.

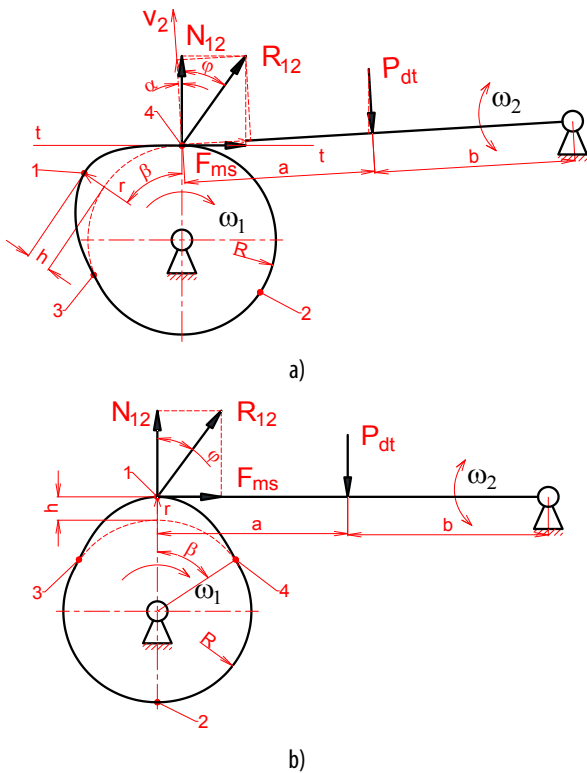


Hình 2. (a) Sơ đồ bố trí thí nghiệm đánh bóng trục cam, (b) Thực nghiệm trên máy đánh bóng trục cam

Dây đánh bóng được lựa chọn trên cơ sở phương pháp gia công, dung dịch trơn nguội, kết cấu và kích thước chi tiết. Trong nghiên cứu này, dây đánh bóng được lựa chọn cho máy BK.CMPM.12 có số hiệu M-52 57 NWJ, độ hạt WA-600, hạt mài ô xít nhôm. Đây là sản phẩm thương mại được dùng trong các công ty chế tạo trục cam cho nguyên công mài tinh xác.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Chất lượng bề mặt gia công của cam phụ thuộc rất nhiều yếu tố như tốc độ quay của cam, lực ép dây đánh bóng lên bề mặt cam, dung dịch hỗ trợ đánh bóng, chất lượng bề mặt phôi và thời gian đánh bóng. Để đảm bảo chất lượng bề mặt cam đồng đều giữa đoạn cam nâng và cam hạ thì tốc độ vòng quay của cam không được quá lớn nhằm tránh hiện tượng hẫng và va đập, khi quay vào đoạn cam hạ. Nếu trục cam quay quá nhanh thì lực ép do trọng lực xuống bề mặt cam sẽ bị dao động và không ổn định. Ở đoạn cam nâng và cam hạ, lực tỳ sẽ biến thiên một lượng ΔN, tùy thuộc vào tốc độ quay của trục cam và trọng lượng sinh ra lực tỳ. Hệ thống thiết bị đã được thiết kế để giảm bớt chênh lệch lực ép ΔN nhờ hệ thống lò xo giảm chấn, do đó làm tăng độ đồng đều về chất lượng bề mặt trên toàn bộ bề mặt cam.



Hình 3. Phân tích lực cơ cấu cam khi đánh bóng: (a) tại điểm đo (4) - tiếp giáp giữa vùng có bán kính cong không đổi và thay đổi; (b) tại điểm đo (1) - lượng nâng lớn nhất

Tuy nhiên, do bản chất của hệ thống nên việc chênh lệch ΔN là khó tránh khỏi. Vì vậy, cần phải xác định được giá trị chênh lệch ΔN để xem xét sự chênh lệch độ nhám của bề mặt cam. Mô hình cụm cơ cấu cam - cần khi thực hiện đánh bóng được coi như cơ cấu cam cần lắc và được mô tả như trên Hình 3. Để đơn giản, giả sử biên dạng cam được chia thành các vùng có bán kính không đổi R và vùng có bán kính cong thay đổi. Đỉnh cam với lượng nâng lớn nhất cũng nằm trên một vùng bán kính không đổi r . Đây chính là điểm khảo sát độ nhám R_z (1) như trên Hình 3. Các điểm khảo sát khác bao gồm 2, 3, 4 nằm trên vùng bán kính không đổi R , trong đó điểm 3 và 4 nằm tiếp giáp với vùng có bán kính cong thay đổi. Có thể phân tích lực tại điểm tiếp xúc trong hai trường hợp phân biệt như mô tả trên Hình 3 (a) và (b), tương ứng với điểm tiếp xúc ở vị trí thấp nhất (2) tương tự (3, 4) và vị trí cao nhất (1). Lượng nâng tối đa của cam tính từ vòng trong cơ sở $\varnothing 28 \pm 0,04$ vào khoảng 4,11mm.

Trên Hình 3, phản lực của cam tác dụng lên cần R_{12} , được phân tích thành hai thành phần phản lực pháp tuyến N_{12} và lực tiếp tuyến, trong trường hợp này là lực ma sát F_{ms} . Góc giữa R_{12} và N_{12} là góc ma sát φ . Như vậy hệ số ma sát bề mặt cam và cần (điểm tiếp xúc của dây đánh bóng) trong trường hợp gia công ổn định, xấp xỉ 0,2. Khi đó $tg(\varphi) = 0,2$. Góc giữa phương pháp tuyến của biên dạng cam và vận tốc V_2 của đầu cần là α .

Khi cam tiếp xúc với cần tại các vị trí 2, 3, và 4, quan hệ giữa các thành phần lực có thể được biểu diễn như sau:

$$R_{12-2,3,4} = \frac{P_{dt} \cdot b \cdot \cos \alpha}{(a + b) \cos(\alpha + \varphi)} \tag{1}$$

Trong đó: P_{dt} là trọng lượng của cơ cấu cần, xấp xỉ 40N; a, b là các thông số kích thước của cần, chiều dài cần xấp xỉ 330mm.

Thành phần áp lực pháp tuyến khi đó được xác định:

$$N_{12-2,3,4} = \frac{P_{dt} \cdot b \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha}{(a + b) \cos(\alpha + \varphi)} \tag{2}$$

Trong đó: $N_{12-2,3,4}$ là áp lực pháp tuyến tại các điểm có bán kính cong không thay đổi.

Khi đó, phản lực pháp tuyến được xác định tại điểm (1):

$$N_{12-1} = \frac{P_{dt} \cdot b}{(a + b)} \tag{3}$$

Hệ thống được thiết kế có thể gia công đồng thời hai bề mặt cam. Với các thông số thiết kế và điều kiện thí nghiệm, ta tính được áp lực pháp tuyến ở điểm tiếp xúc cao nhất (1) xấp xỉ 20N và tại các điểm thấp nhất (2, 3, 4) khoảng 20,1N. Tuy nhiên các giá trị này chưa kể đến lực quán tính khi cam một góc β (tương ứng với góc quay từ vị trí 1 tới vị trí 4) với tốc độ $\omega_1 = 120\text{vg/ph}$, tương ứng với cần di chuyển một quãng đường bằng lượng nâng h của cam và thời gian t .

$$t = \frac{\beta}{2\pi \cdot \omega_1} \tag{4}$$

Do góc α nhỏ, nên đầu cần được coi là chuyển động thẳng đều khi cam quay từ vị trí (1) tới vị trí (4), quãng đường di chuyển tương ứng với lượng nâng lớn nhất h .

Với thông số cam được thiết kế, $\beta \sim 56^\circ$, ta tính được thời gian $t = 0,08$ (giây), gia tốc $a = 1,25\text{m/s}^2$. Khi đó lực quán tính đầu cần được xác định, xấp xỉ 2,5N. Như vậy áp lực pháp tuyến tổng cộng tại điểm (1) các điểm (2, 3, 4) lần lượt tương ứng với 22,5N và 20,1N. Do đó, sự chênh lệch giá trị áp lực giữa các điểm khoảng 2,4N.

Tổ chức thực nghiệm để tìm ra mối liên hệ giữa biến thiên độ nhám với áp lực trên bề mặt cam khi đánh bóng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

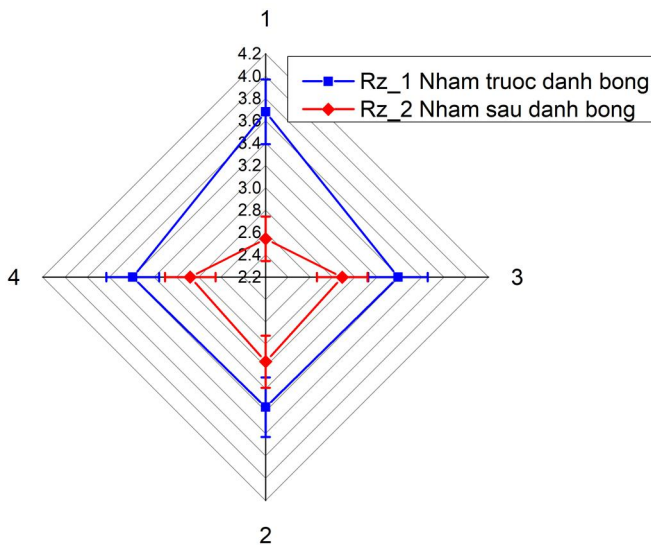
Trục cam trước và sau khi đánh bóng được đo kiểm tra độ nhám bề mặt trên 4 vị trí 1, 2, 3, 4 tương ứng với vị trí cam nâng cao nhất, vị trí cam hạ và vị trí trung gian (Hình 3). Sau khi đánh bóng trên máy BK.CMPM.12, độ nhám bề mặt cam được xác định trên máy HOMMEL T1000 tại các vị trí 1,2,3 và 4. Phương đo là phương dọc trục và vuông góc với chu vi của cam, với chiều dài đo 4mm. Kết quả đo độ nhám bề mặt cam là giá trị trung bình của 3 lần đo và được trình bày trên Bảng 1.

Bảng 1. Nhám bề mặt cam trước R_{z1} và sau đánh bóng R_{z2}

Vị trí đo	$R_{z1} (\mu\text{m})$	$\Delta R_{z1} (\mu\text{m})$	$R_{z2} (\mu\text{m})$	$\Delta R_{z2} (\mu\text{m})$
1	3,68	0,29	2,54	0,20
2	3,36	0,27	2,96	0,23
3	3,39	0,27	2,89	0,23
4	3,39	0,24	2,88	0,23

Có thể thấy rằng, giá trị độ nhám bề mặt trước khi đánh bóng tinh xác tương đối đồng đều tại các vị trí đo 2, 3, và 4 là các vị trí có biên dạng của cam là cung tròn. Giá trị R_{z1} lớn nhất tại vị trí 1, tăng khoảng 10% so với các vị trí còn lại, tương ứng với vị trí lượng nâng của cam là lớn nhất. Hiện tượng này có thể được giải thích là do chuyển động chạy dao hướng kính xuất hiện gia tốc để hình thành lượng nâng của cam, khi mài tinh trên máy chép hình chuyên dùng hoặc máy mài CNC.

Sau khi được đánh bóng tinh xác, các giá trị R_{z2} tại các vị trí trung gian 3, 4 là tương đương nhau và nhỏ hơn giá trị tại vị trí 2 cam hạ, nhưng lại lớn hơn đáng kể so với giá trị tại điểm 1 cam nâng lớn nhất. Giá trị độ nhám bề mặt cam trước và sau khi đánh bóng tinh xác và tương quan giữa chúng được mô tả chi tiết trên Hình 4. Giá trị độ nhám R_z sau khi đánh bóng tinh xác tại các vị trí 1, 2, 3, 4 giảm tương ứng 30,98%, 11,90%, 14,75%, 15,04% so với trước đánh bóng. Điều này cho thấy, các thông số công nghệ máy khi đánh bóng tinh xác được lựa chọn phù hợp, nâng cao được độ nhẵn bóng bề mặt cam.

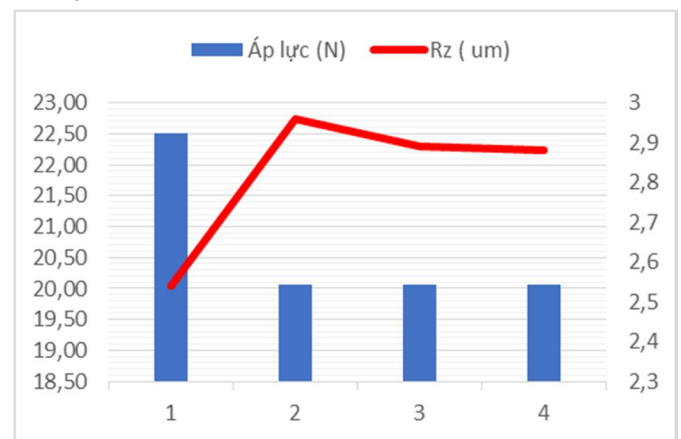


Hình 4. Độ nhám tại các vị trí đo đặc trưng của bề mặt cam

Giá trị độ nhám R_z tại vị trí lượng nâng biên dạng cam cao nhất, trước khi đánh bóng là lớn nhất, đã trở thành nhỏ nhất sau khi gia công trên máy đánh bóng tinh xác. Nguyên nhân dẫn đến giảm độ nhám bề mặt cam tại vị trí có lượng nâng lớn nhất có thể là do sự gia tăng áp lực dây đai đánh bóng tác dụng lên bề mặt cam tại vị trí 1, thay đổi lực ma sát và làm mòn vi mô và làm tăng bán kính cong của các đỉnh nhấp nhô. Ngoài ra, sau khi đánh bóng, miền dung sai giá trị độ nhám được giảm đi, chất lượng bề mặt ổn định hơn.

Trên thực tế, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt của quá trình đánh bóng tinh xác bề mặt cam như bán kính cong, áp lực và vận tốc dài tại điểm tiếp xúc... Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo, do biên dạng và tốc độ quay của cam cũng như môi trường không thay đổi, nên chỉ có ảnh hưởng của lực pháp tuyến, tác dụng của dây đai đánh bóng lên bề mặt cam, đến độ nhám.

Hình 5 mô tả mối tương quan giữa áp lực pháp tuyến và độ nhám bề mặt cam tại các vị trí đo khác nhau. Ta thấy rằng, tại các vị trí 2, 3 và 4 có bán kính cong không đổi (lượng nâng bằng 0), giá trị R_z khá ổn định, tuy nhiên vị trí 3 và 4 nằm trong vùng chuyển tiếp nên có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố khác, R_z lúc này có giá trị nhỏ hơn khoảng 2,7%. Trong khi đó, áp lực pháp tuyến tại vị trí 1 lớn hơn các vị trí khác khoảng 2,4N (~12%) và làm giá trị độ nhám R_z giảm khoảng 13%. Áp lực lớn hơn tạo điều kiện các hạt mài trên dây đánh bóng tăng sự thâm nhập mềm vào các đỉnh nhấp nhô bề mặt cam, làm cùn các đỉnh nhấp nhô dẫn đến tăng bán kính cong và bề mặt sẽ nhẵn bóng hơn. Như vậy để tăng thêm độ nhẵn bóng của bề mặt cam thì cần tăng áp lực của dây đánh bóng lên bề mặt cam, tức là tăng tốc độ quay của trục cam. Tuy nhiên không thể tăng tốc độ quay của trục cam lên nhiều do đặc điểm cấu hình sẽ gây va đập khi tốc độ lớn.



Hình 5. Ảnh hưởng của áp lực pháp tuyến tới độ nhẵn bóng bề mặt

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu phương pháp và thực nghiệm đánh bóng tinh xác bề mặt cam của trục cam xe máy trên thiết bị BK.CMPM.12 cho thấy thiết bị hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu nâng cao chất lượng nhám bề mặt trục cam xe máy khi thay đổi thông số công nghệ là tốc độ quay trục cam.

Kết quả nghiên cứu phương pháp đánh bóng tinh xác cho thấy trong điều kiện nghiên cứu, khi thay đổi tốc độ quay của trục cam sẽ dẫn đến thay đổi áp lực của dây đai đánh bóng trên bề mặt cam tại điểm có lượng nâng lớn nhất so với các điểm khác. Tại tốc độ quay 120vg/ph của trục cam, lực pháp tuyến tăng khoảng 2,4N khi đi từ vùng 3, 2, 4 tới vùng 1.

Kết quả thực nghiệm cho thấy có sự liên quan qua lại giữa tốc độ quay trục cam và sự gia tăng độ nhám tại vị trí lượng nâng lớn nhất của cam. Các thông số công nghệ máy phù hợp với điều kiện đánh bóng tinh xác bằng dây đai gắn hạt mài siêu mịn. Độ nhám bề mặt cam tương đối ổn định theo áp lực pháp tuyến tại điểm tiếp xúc và có thay đổi khoảng 13% theo hướng có lợi hơn tại vùng làm việc khốc liệt nhất tương ứng lượng nâng lớn nhất. Tạo điều kiện lựa chọn tốc độ quay phù hợp với các dạng trục cam xe máy khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Rothbart Harold, and H. Brown Thomas, 2006. *Mechanical Design Handbook, Measurement, Analysis, and Control of Dynamic Systems*. 2nd ed. ed., McGraw-Hill Education, New York.
- [2]. Z. H. Deng, X. H. Zhang, W. Liu, and H. Cao, 2009. *A hybrid model using genetic algorithm and neural network for process parameters optimization in NC camshaft grinding*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 45, pp. 859.
- [3]. Phan Văn, 2012. *Báo cáo khoa học tổng kết đề tài NCKH thành phố Hà Nội, mã số: 01C-01/02-2011-02*.
- [4]. G. N. Portas, D. R. Perkins, and J. R. Crookall, 1983. *A High Performance CNC Machine for Grinding Camshaft Profiles*. CIRP Annals, vol. 32, pp. 331-333.
- [5]. George J. Anselment, 2002. *Belt polishing*. Metal Finishing, vol. 100, pp. 71-81.
- [6]. Yue Leng, and Nina Zhang, 2010. *Experiment Research on Abrasive Belt Vibration Grinding Terminal Surface of Work Piece*. Advanced Materials Research, vol. 154-155, pp. 1240-1243.
- [7]. Glen Carlson, 2002. *Advancements in Automated Polishing, Buffing and Deburring*. In Products Finishing Magazine, Gardner Business Media, Inc.
- [8]. Trần Văn Địch, 2004. *Gia công tinh bề mặt chi tiết máy*. NXB Khoa học kỹ thuật.

AUTHORS INFORMATION

Pham Van Hung¹, Bui Tuan Anh¹, Nguyen Trong Thanh¹, Phan Van²

¹School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology

²MEKAMIC Construction & Industrial Equipment Co.,Jsc