

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM GIA CÔNG MÀI TINH BI ĐŨA TRỤ BẰNG ĐĨA MÀI GIẤY NHÁM

CHÂU NGỌC LÊ, NGUYỄN ĐỨC NAM

Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh;
chaungocle@iuh.edu.vn, nguyenducnam@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Bi đũa trụ là một chi tiết máy quan trọng và được ứng dụng rộng rãi trong các chi tiết máy, động cơ điện, công nghiệp xe máy, và các hộp số trong các động cơ truyền động. Nó có khả năng chịu tải trọng hướng tâm và tải trọng động cao do vòng lăn và bi đũa trụ tiếp xúc trực tiếp với nhau. Sự chính xác trong quá trình truyền động và tuổi thọ của bi đũa trụ phụ thuộc vào chất lượng bề mặt và độ chính xác hình dáng của các viên bi đũa trụ. Trong nghiên cứu này, quá trình mài tinh bi đũa trụ được tiến hành với đĩa mài bằng giấy nhám để nâng cao hiệu suất gia công, đạt được chất lượng bề mặt cao hơn trên máy mài 2 đĩa. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình gia công như lực ép, kích thước hạt mài, hệ số ma sát được khảo sát trong bài báo này. Dựa trên kết quả gia công, quá trình mài bằng đĩa mài giấy nhám cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt gia công và lượng vật liệu được cắt gọt. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng, độ nhám bề mặt cải thiện đáng kể từ $R_a = 0,17 \mu\text{m}$ xuống còn $0.027 \mu\text{m}$ và hiệu suất gia công tăng lên.

Từ khóa. Độ nhám bề mặt, bi đũa trụ, mài 2 đĩa, giấy nhám, thép AISI 52100

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DOUBLE-SIDE PROCESSING OF CYLINDRICAL ROLLERS USING ABRASIVE PAPER

Abstract. Cylindrical roller bearing is an important part of the machine and it has been widely used in machinery parts, electric motors, motorcycles, and gearboxes. It capable of supporting high loads and dynamic loads due to the rolling rod and the rollers of bearings being in direct contact. The operational precision and working life of rolling bearings depends on the surface quality and profile accuracy of cylindrical rollers. In this paper, the lapping process with abrasive paper were used to manufacturing the cylindrical rollers with a high efficiency, good surface roughness R_a on a double-side polishing device. The influence of machining parameters such as load, abrasive size and friction coefficients between lapping plate and workpieces on surface roughness of cylindrical rollers were investigated by experiments. Based on the lapping results, the lapping plate with abrasive paper was presented to improve the surface quality of the cylindrical rollers and material removal rate. The results show that, lapping with abrasive paper, the surface roughness R_a decreases from initial $0,17 \mu\text{m}$ to $0.027 \mu\text{m}$, and the material removal rate is increased.

Keywords. Surface roughness, cylindrical roller, double-side lapping, abrasive paper, AISI 52100 steel

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Vòng bi đũa trụ đã được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp cơ khí, động cơ điện, xe máy và hộp số. Nó có khả năng chịu tải trọng hướng tâm cao và tải động do thanh lăn và trục lăn của vòng bi tiếp xúc trực tiếp [1]. Theo truyền thống, bề mặt của viên bi trụ được tạo ra bằng phương pháp tiện và kết thúc bằng mài tinh bằng đá mài [2]. Quá trình gia công này đòi hỏi một lượng thời gian gia công tương đối lớn. Ngoài ra, các yếu tố của quá trình sản xuất như độ chính xác của máy, vị trí của đá mài và rung động ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả của quá trình gia công viên bi trụ. Điều này dẫn đến chi phí sản xuất sẽ tăng lên và năng suất tương đối thấp.

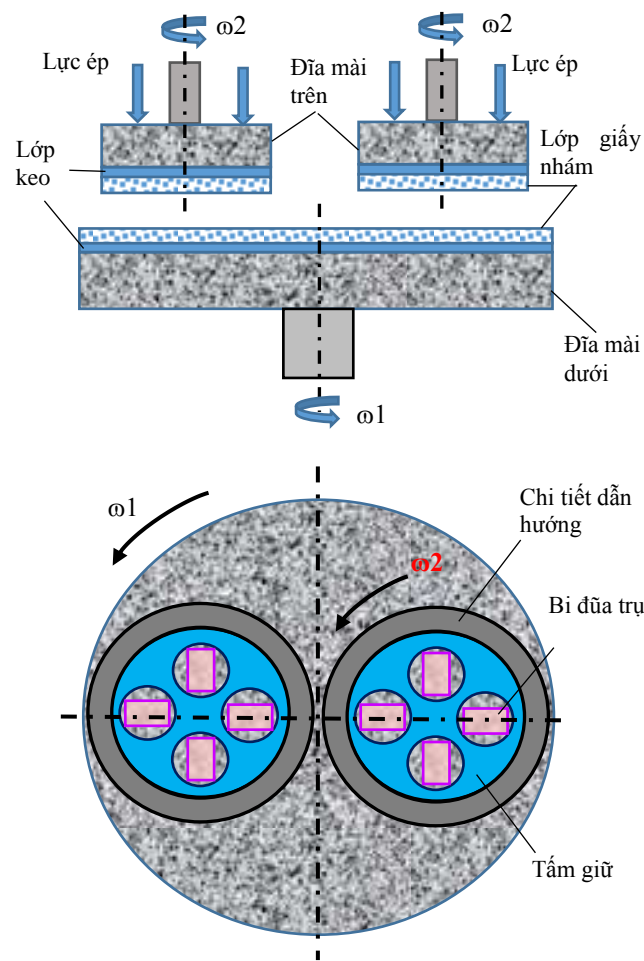
Ngày nay, phương pháp gia công mài và đánh bóng bằng cách kết hợp chuyển động của 2 đĩa mài đã được ứng dụng trong gia công các chi tiết bằng vật liệu silicon, các thiết bị quang học, các chi tiết bằng vật liệu gốm và các loại ổ lăn. Chất lượng bề mặt và độ chính xác hình dáng của chi tiết được gia công bằng phương pháp này được cải thiện đáng kể [3-5]. Các yếu tố của quá trình gia công như tốc độ quay của viên bi và đĩa mài, tải trọng tác dụng, nồng độ dung dịch mài, và kích thước hạt mài đã được nghiên

cứu và tối ưu hóa để nâng cao chất lượng bề mặt của viên bi trụ [6-12]. Ngoài ra, cũng có nhiều nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng bề mặt gia công cho viên bi đũa trụ bằng cách áp dụng phương pháp cơ - hóa học (CMP). Các kết quả thí nghiệm cho thấy rằng, độ nhám bề mặt R_a và độ tròn của chi tiết gia công theo kỹ thuật CMP đạt được lần lượt là $0,023 \mu\text{m}$ và $0,39 \mu\text{m}$ [13,14]. Bên cạnh đó, chất lượng bề mặt của chi tiết gia công được cải thiện rõ rệt như độ bằng phẳng và độ sáng bóng bề mặt khi sử dụng kỹ thuật CMP [15-18]. Tuy nhiên, đối với phương pháp CMP phải tốn thời gian gia công chuẩn bị bề mặt chi tiết trước khi bước vào gia công chính thức.

Trong bài báo này, nguyên lý gia công bằng 2 đĩa mài kết hợp vẫn được sử dụng trong để tiến hành gia công các viên bi đũa trụ. Để nâng cao hiệu quả và chất lượng bề mặt chi tiết trong quá trình gia công thì bề mặt 2 đĩa mài bằng thép được bao phủ bằng giấy nhám. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng của chi tiết gia công như hệ số ma sát, kích thước hạt mài và tải trọng tác dụng sẽ được nghiên cứu trong bài báo này. Các thí nghiệm gia công đánh bóng bề mặt bi đũa trụ bằng thép AISI 52100 được thực hiện, và các kết quả thử nghiệm sẽ được phân tích và thảo luận. Dựa trên kết quả gia công, quá trình mài bằng đĩa mài giấy nhám cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt gia công và lượng vật liệu được cắt gọt. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng, độ nhám bề mặt cải thiện đáng kể từ $R_a = 0,17 \mu\text{m}$ xuống còn $0,027 \mu\text{m}$ và hiệu suất gia công được tăng lên.

2 NGUYÊN LÝ CỦA QUÁ TRÌNH GIA CÔNG

Nguyên lý của quá trình gia công bề mặt bi đũa trụ bằng cách kết hợp chuyển động của 2 đĩa mài được thể hiện trong hình 1.



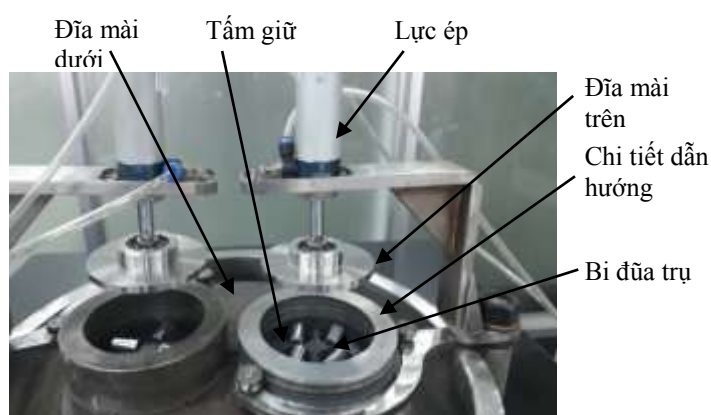
Hình 1: Nguyên lý của quá trình gia công

Trong đó: w_1 và w_2 là tốc độ quay của đĩa mài dưới và đĩa mài trên.

Trong quá trình gia công, viên bi đũa trụ, chi tiết dẫn hướng và tấm giữ sẽ được dẫn động và chuyển động quay tròn do tiếp xúc với bề mặt của đĩa mài dưới. Sau đó, đĩa mài trên di chuyển xuống dưới tạo ra lực ép tác dụng lên bi đũa trụ cần gia công và sẽ được chuyển động quay tròn tự do nhờ ma sát tiếp xúc với bi đũa trụ. Lực ép tác động lên bi đũa trụ được tạo ra bằng áp suất khí nén. Bi đũa trụ sẽ được quay tròn trong tấm giữ và tiếp xúc với 2 đĩa mài để tạo nên quá trình gia công. Các hạt mài của giấy nhám trên bề mặt của 2 đĩa mài sẽ tạo ra quá trình cắt gọt cho bi đũa trụ.

3 MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Quá trình thực nghiệm được tiến hành với bi đũa trụ có kích thước $\Phi 15 \times 25 \text{mm}$, với vật liệu là thép hợp kim AISI 52100. Đầu tiên, chi tiết được gia công bằng phương pháp tiện trên máy tiện CNC để đạt được kích thước và độ nhám bề mặt theo yêu cầu. Kết quả sau quá trình gia công tiện thì độ nhám bề mặt chi tiết đạt được khoảng $0,5 \pm 0,02 \mu\text{m}$. Sau đó, bi đũa trụ sẽ được gia công mài và đánh bóng bằng thiết bị mài 2 đĩa chuyển động kết hợp. Hình 2 mô tả điều kiện của quá trình thí nghiệm gia công bi đũa trụ.



Hình 2: Mô hình thí nghiệm

Các viên bi đũa trụ sẽ được chuyển động quay tròn do ma sát tiếp xúc sinh ra khi với bề mặt đĩa mài dưới. Chiều chuyển động và tốc độ quay của bi đũa trụ phụ thuộc vào chiều quay và tốc độ của đĩa mài dưới [19]. Hiệu suất của quá trình gia công chịu ảnh hưởng rất lớn của lực ma sát sinh ra trong quá trình tiếp xúc giữa bi đũa trụ với đĩa mài dưới và một phần ở đĩa mài trên.

Trong quá trình thực nghiệm, bi đũa trụ sẽ được gia công cắt gọt với dung dịch mài có kích thước hạt mài là 800# và 4000#. Để nâng cao hiệu quả của quá trình gia công, dung dịch mài sẽ được thay thế bằng đĩa mài có sẵn giấy nhám dán trên bề mặt đĩa mài. Kích thước hạt mài trên giấy nhám được sử dụng trong quá trình gia công là P1200 và P2000 tương đương với kích thước hạt mài trong dung dịch mài. Thông số của quá trình gia công với dung dịch mài SiC được liệt kê chi tiết trong bảng 1 và thông số quá trình gia công với đĩa mài giấy nhám được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 1: Thông số của quá trình gia công bằng dung dịch mài SiC

Kích thước bi đũa trụ	$\Phi 15 \text{mm} \times 25 \text{mm}$
Đĩa mài dưới và trên	Thép C45
Dung dịch mài	SiC
Kích thước hạt mài	800#, 4000#
Nồng độ dung dịch mài (%)	10, 17, 25, 35
Tốc độ quay đĩa mài dưới (vòng/phút)	150
Thời gian gia công (phút)	20
Lực ép (N)	15, 20, 25, 30, 35, 40, 45

Bảng 2: Thông số của quá trình gia công bằng đĩa mài giấy nhám

Kích thước bi đĩa trụ	$\Phi 15\text{mm} \times 25\text{mm}$
Đĩa mài dưới và trên	Thép C45
Loại hạt mài	SiC
Kích thước hạt mài	P1200, P2000
Tốc độ quay đĩa mài dưới (vòng/phút)	150
Thời gian gia công (phút)	20
Lực ép (N)	15, 20, 25, 30, 35, 40,45

Sau quá trình gia công, chất lượng bề mặt chi tiết được đánh giá qua giá trị độ nhám Ra bằng thiết bị đo độ nhám SJ-301 (hình 3). Bên cạnh đó, lượng vật liệu cắt gọt và độ tròn của chi tiết cũng được đánh giá thông qua thiết bị cân định lượng điện tử SI-234 (hình 4) và thiết bị đo độ tròn Rondcom 41C (hình 5).



Hình 3: Thiết bị đo độ nhám SJ-301



Hình 4: Cân điện tử SI-234



Hình 5: Thiết bị đo độ tròn RC-41C

4 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

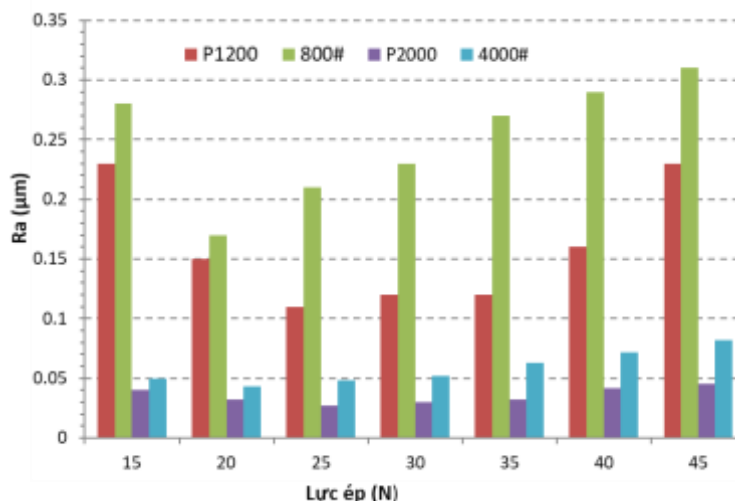
Sự chính xác làm việc và tuổi thọ của ổ bi đĩa trụ phụ thuộc rất lớn vào độ chính xác về hình dạng và chất lượng bề mặt của bi đĩa trụ được gia công. Các vết nhấp nhô tế vi trên bề mặt của chi tiết gia công sẽ được nhanh chóng loại bỏ bằng cách sử dụng phương pháp gia công kết hợp chuyển động của 2 đĩa mài được phủ bằng giấy nhám. Kết quả là độ chính xác về hình dáng (độ tròn của bi đĩa trụ) và chất lượng bề mặt của chi tiết gia công được cải thiện đáng kể. Thêm vào đó, lượng vật liệu được loại bỏ cũng được tăng lên. Quá trình thực nghiệm gia công được thực hiện trong 2 trường hợp sau:

Trường hợp 1: gia công với 2 đĩa mài được bao phủ bằng giấy nhám P1200 (cho gia công mài thô) và P2000 (cho gia công mài tinh) ứng với nồng độ dung dịch mài là 25%.

Trường hợp 2: gia công với 2 đĩa mài bằng thép và dung dịch mài có kích thước hạt mài 800# (cho gia công mài thô) và 4000# (cho gia công mài tinh).

4.1 Ảnh hưởng của lực ép đến độ nhám bề mặt Ra

Mối quan hệ giữa lực ép và độ nhám bề mặt Ra của bi đũa trụ được gia công trong 2 trường hợp được thể hiện trong hình 6.



Hình 6: Mối quan hệ giữa lực ép và độ nhám bề mặt

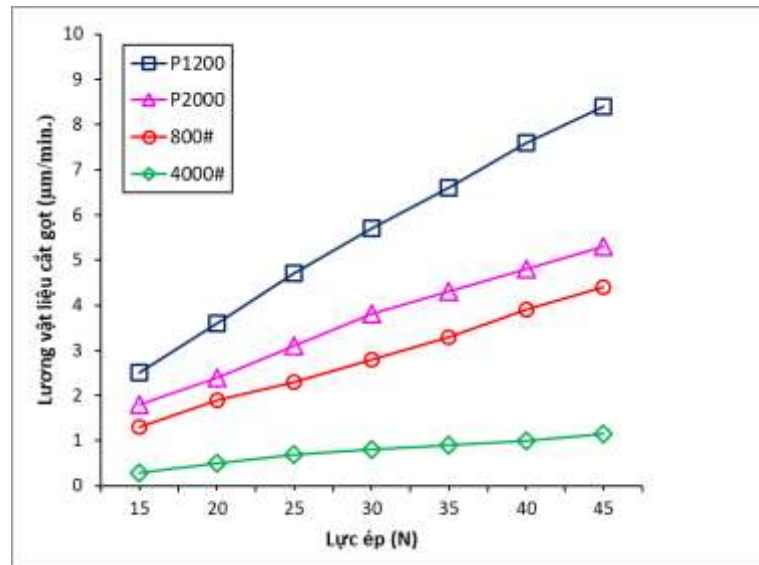
Sau 20 phút gia công thô, độ nhám bề mặt bi đũa trụ đạt được tốt nhất $Ra = 0.17 \mu\text{m}$ trong trường hợp sử dụng dung dịch mài 800# SiC và lực ép khoảng 20N. Trong khi đó, với đĩa mài bằng giấy nhám thì độ nhám bề mặt đạt tốt nhất $Ra = 0.11 \mu\text{m}$ khi sử dụng giấy nhám P1200 và lực ép là 25N. Sau đó, khi tăng giá trị lực ép lên thì độ nhám bề mặt có xu hướng tăng lên ở cả 2 trường hợp. Tuy nhiên, với đĩa mài bằng giấy nhám thì tốc độ tăng độ nhám bề mặt thấp hơn so với sử dụng đĩa mài bằng thép. Điều này là do, đối với đĩa mài bằng thép thì trong quá trình gia công có sự tiếp xúc trực tiếp giữa 2 bề mặt kim loại nên độ nhám bề mặt tăng nhanh khi tăng lực ép.

Kết quả sau khi gia công tinh, độ nhám bề mặt bi đũa trụ giảm nhanh từ $0.11 \mu\text{m}$ đến $0.027 \mu\text{m}$ trong trường hợp sử dụng đĩa mài bằng giấy nhám P2000, trong khi đó độ nhám bề mặt chi tiết được gia công bằng đĩa mài thép giảm chậm hơn từ $0.17 \mu\text{m}$ đến $0.043 \mu\text{m}$ khi sử dụng dung dịch mài 4000#SiC.

4.2 Ảnh hưởng của lực ép đến lượng vật liệu cắt gọt

Nhìn chung, quá trình gia công bằng đĩa mài thép với dung dịch mài có hệ số ma sát nhỏ hơn so với việc sử dụng đĩa mài bằng giấy nhám. Do đó, lượng vật liệu được cắt gọt trong quá trình gia công ở 2 trường hợp đĩa mài sẽ khác nhau dưới tác động của lực ép. Hình 7 thể hiện mối quan hệ giữa lực ép và lượng vật liệu cắt gọt trong trường hợp gia công bằng đĩa mài thép và đĩa mài giấy nhám.

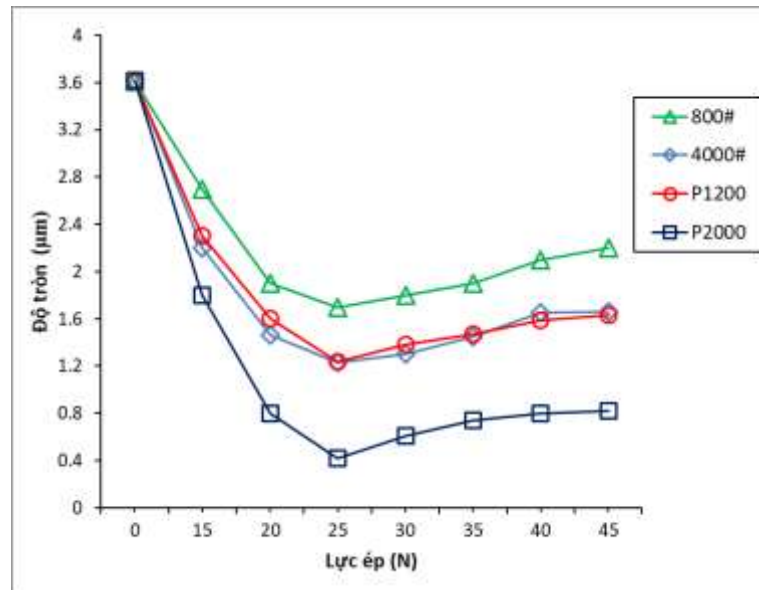
Trong khoảng thời gian gia công từ 0 – 20 phút, lượng vật liệu cắt gọt tăng dần từ $2.57 \mu\text{m/phút}$ đến $8.40 \mu\text{m/phút}$ khi gia công với đĩa mài giấy nhám P1200 khi lực ép tăng lên từ 15N đến 45N. Bên cạnh đó, với đĩa mài giấy nhám P2000 thì lượng vật liệu cắt gọt tăng từ $1.82 \mu\text{m/phút}$ đến $5.30 \mu\text{m/phút}$. Tuy nhiên, khi gia công bằng đĩa mài thép với dung dịch mài thì lượng vật liệu cắt gọt tăng ít hơn so với đĩa mài bằng giấy nhám.



Hình 7: Mối quan hệ giữa lực ép và lượng vật liệu cắt gọt

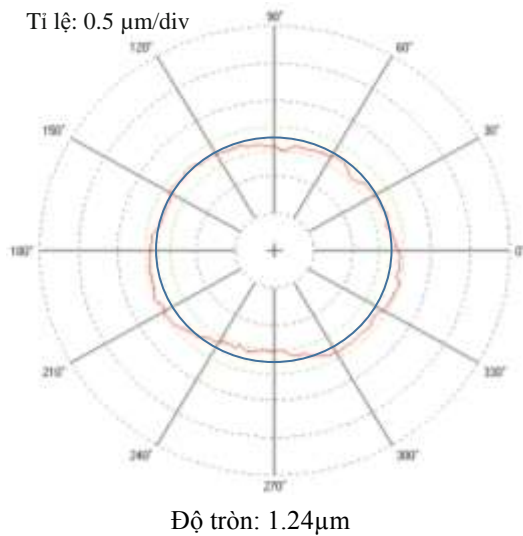
4.3 Ảnh hưởng của lực ép đến độ tròn

Mối quan hệ giữa lực ép và độ tròn của bi đũa trụ được gia công trong trường hợp với đĩa mài bằng giấy nhám và đĩa mài thép với dung dịch mài được trình bày trong hình 8.

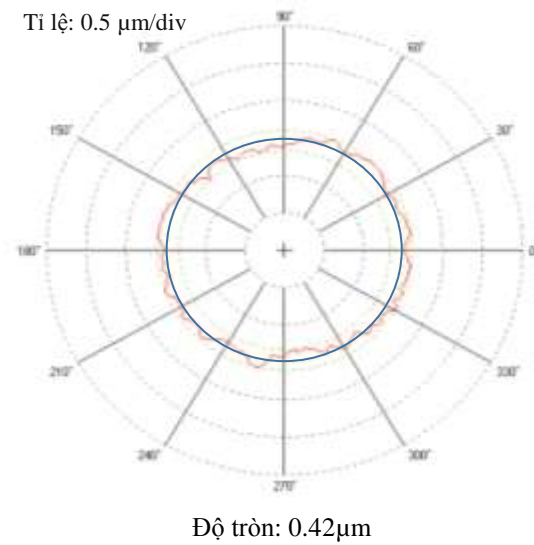


Hình 8: Mối quan hệ giữa lực ép và độ tròn của bi đũa trụ

Sau thời gian gia công 20 phút, độ tròn của bi đũa trụ được gia công bằng đĩa mài giấy nhám P1200 với lực ép 25N giảm nhanh từ 3.62 µm xuống 1.24 µm. Trong khi đó, với đĩa mài thép với dung dịch mài 4000#SiC thì độ tròn của chi tiết gần như tương đương với trường hợp đĩa mài bằng giấy nhám P1200. Độ tròn của bi đũa trụ đạt giá trị tốt nhất với đĩa mài bằng giấy nhám P2000, giá trị độ tròn giảm từ 3.62 µm xuống 0.42µm ứng với lực ép là 25N. Giá trị độ tròn của bi đũa trụ sẽ tăng lên nếu lực ép vượt qua giá trị 25N. Kết quả cho thấy rằng, với việc gia công bằng đĩa mài giấy nhám thì chất lượng bề mặt và độ chính xác hình dáng tăng lên đáng kể. Biên dạng của chi tiết khi được gia công với đĩa mài giấy nhám P2000 và đĩa mài thép với dung dịch mài 4000#SiC được thể hiện trong hình 9a và 9b.

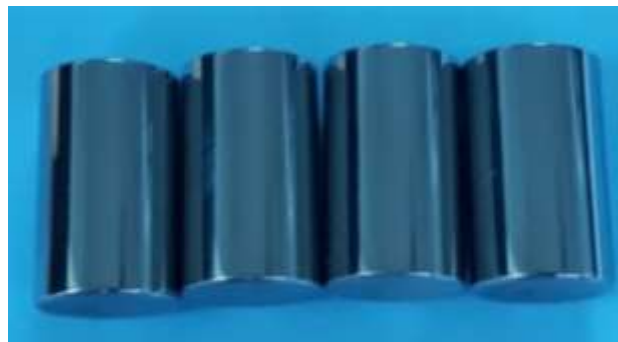


Hình 9.a: Đĩa mài thép với dung dịch mài 4000#SiC



Hình 9.b: Đĩa mài giấy nhám P2000

Kết quả bi đũa trụ sau gia công trong 2 trường hợp được thể hiện trong hình 10 và hình 11.



Hình 10: Bi đũa trụ khi được gia công với đĩa mài thép với dung dịch mài 4000#SiC



Hình 11: Bi đũa trụ khi được gia công với đĩa mài giấy nhám P2000.

5 KẾT LUẬN

Quá trình gia công bi đũa trụ trong 2 trường hợp với đĩa mài bằng giấy nhám và đĩa mài thép với dung dịch mài đã được nghiên cứu trong bài báo này. Dựa trên kết quả thực nghiệm có thể rút ra được một số kết luận như sau:

- Độ nhám bề mặt bi đũa trụ đạt được tốt nhất $R_a = 0.17 \mu\text{m}$ trong trường hợp sử dụng dung dịch mài 800# SiC với lực ép 20N. Trong khi đó, với đĩa mài bằng giấy nhám thì độ nhám bề mặt đạt tốt nhất $R_a = 0.11 \mu\text{m}$ khi sử dụng giấy nhám P1200 và lực ép là 25N.

- Sau gia công tinh, độ nhám bề mặt bi đũa trụ giảm nhanh từ 0.11 μm đến 0.027 μm trong trường hợp sử dụng đĩa mài bằng giấy nhám P2000, trong khi đó độ nhám bề mặt chi tiết được gia công bằng đĩa mài thép giảm chậm hơn từ 0.17 μm đến 0.043 μm khi sử dụng dung dịch mài 4000#SiC.

- Lượng vật liệu cắt gọt tăng dần từ 2.57 $\mu\text{m}/\text{phút}$ đến 8.40 $\mu\text{m}/\text{phút}$ khi gia công với đĩa mài giấy nhám P1200 khi lực ép tăng lên từ 15N đến 45N. Bên cạnh đó, với đĩa mài giấy nhám P2000 thì lượng vật liệu cắt gọt tăng từ 1.82 $\mu\text{m}/\text{phút}$ đến 5.30 $\mu\text{m}/\text{phút}$.

- Độ tròn của bi đũa trụ được gia công bằng đĩa mài giấy nhám P1200 với lực ép 25N giảm nhanh từ 3.62 μm xuống 1.24 μm . Trong khi đó, với đĩa mài thép với dung dịch mài 4000#SiC thì độ tròn của chi tiết gần như tương đương với trường hợp đĩa mài bằng giấy nhám P1200. Độ tròn của bi đũa trụ đạt giá trị tốt nhất với đĩa mài bằng giấy nhám P2000, giá trị độ tròn giảm từ 3.62 μm xuống 0.42 μm ứng với lực ép 25N.

- Kết quả nghiên cứu của bài báo đã đưa ra được phương thức gia công tinh bề mặt bi đũa trụ bằng giấy nhám nhằm nâng cao năng suất gia công, cải thiện chất lượng bề mặt gia công và lượng vật liệu cắt gọt. Tuy nhiên, hạn chế của quá trình gia công là hạt mài trên giấy nhám chỉ có một lớp mỏng nên phải thay giấy nhám trong thời gian gia công lớn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ nghiên cứu khoa học cấp trường (mã số đề tài: 181.CK02)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.A. Harris, M.N. Kotzalas, Advanced concepts of bearing technology: rolling bearing analysis. CRC Press, 2006.
- [2] F. Hashimoto, I. Gallego, JFG. Oliveira, D. Barrenetxea, M. Takahashi, K. Sakakibara, H.O. Stalfelt, G. Stadt, K. Ogawa, Advances in centerless grinding technology. *CIRP Ann Manuf Technol.*, Vol. 6, No. 2, pp. 747-770, 2012.
- [3] M. Song, W. Zou, Improvement of large cylindrical roller processing technology. *J Harbin Bearing*, Vol. 35, No. 2, pp. 65-69, 2014.
- [4] Y. Wang, Q. Deng, L. Cheng, Y. Lv, J. Yuan, Generalization of cylindrical surface processing of cylindrical roller. *Light Ind Mach.*, Vol. 30, No. 3, pp. 110-113, 2012.
- [5] W.H. Zhou, W.F. Yao, M. Feng, B.H. Lv, Q.F. Deng, The polishing process of cylindrical rollers by using a double-side lapping machine. *Key Engineering Materials*, Vol. 589-590, pp. 447-450, 2014.
- [6] T.K. Puthanangady, S. Malkin, Experimental investigation of the superfinishing process. *Wear*, Vol. 185, pp. 173-182, 1995.
- [7] S.H. Chang, T.N. Farris, S. Chandrasekar, Experimental characterization of superfinishing. *Proc Inst Mech Eng B-J Eng Manuf.*, Vol. 217, pp. 941-951, 2003.
- [8] Q. Jiang, Z. Ge, Simulation on topography of superfinished roller surfaces. *Sci China Ser B: Chem.*, Vol. 45, No. 2, pp. 122-126, 2002.
- [9] K. Nakayama, H. Hashimoto, Experimental investigation of the superfinishing process. *Wear*, Vol. 185, No. 2, pp. 173-182, 1995.
- [10] B. Varghese, S. Malkin, Rounding and lobe formation during superfinishing. *J Manuf Process*, Vol. 3, No. 2, pp. 102-107, 2001.
- [11] S.H. Chang, T.N. Farris, S. Chandrasekar, Experimental analysis on evolution of superfinished surface texture. *J Mater Process Technol.*, Vol. 203, No. 1, pp. 365-371, 2008.
- [12] K. Miura, T. Yamada, M. Takahashi, H.S. Lee, Application of superfinishing to curved surfaces. *Key Eng. Mater.*, Vol. 581, pp. 241-246, 2014.
- [13] W. Xu, Z. Wei, J. Sun, L. Wei, Z. Yu, Surface quality prediction and processing parameter determination in electrochemical mechanical polishing of bearing rollers. *Int J Adv Manuf Technol.*, Vol. 63, No. 1-4, pp. 129-136, 2012.

- [14] Z. Wei, W. Xu, B. Tao, J. Song Crown shaping technique of bearing raceway by electrochemical mechanical machining. *Int J Electrochem Sci.*, Vol. 8, No. 2, pp. 2238-2253, 2013.
- [15] Y.Y. Lin, S.P. Lo, A study on the stress and nonuniformity of the wafer surface for the chemical–mechanical polishing process. *Int J Adv Manuf Technol.*, Vol. 22, No. 5-6, pp. 401–409, 2003.
- [16] D. Zhao, X. Lu, Chemical mechanical polishing: theory and experiment. *Friction*, Vol. 1, No. 4, pp. 306-326 2013.
- [17] L. Jiang, Y. He, J. Luo, Chemical mechanical polishing of steel substrate using colloidal silica-based slurries. *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 330, pp. 487-495, 2015.
- [18] X. He, Y. Chen, H. Zhao, H. Sun, X. Lu, H. Liang Y_2O_3 nanosheets as slurry abrasives for chemical–mechanical planarization of copper. *Friction*, Vol. 1, No. 4, pp. 327-332, 2013.
- [19] J. Yuan, W. Yao, P. Zhao, B. Lyu, Z. Chen, M. Zhong, Kinematics and trajectory of both-sides cylindrical lapping process in planetary motion type. *Int J Mach Tools Manuf.*, Vol. 92, No. 1, pp. 60-71, 2015.

Ngày nhận bài: 20/10/2018

Ngày chấp nhận đăng: 09/11/2018