

Nghiên cứu ứng dụng chất lỏng phi Newton trong mài tinh bề mặt cầu

Nguyễn Đức Nam

Tóm tắt—Trước đây, quá trình gia công mài tinh các bề mặt cầu ta phải trải qua nhiều bước gia công phức tạp để đạt độ nhám bề mặt theo yêu cầu. Để đơn giản hoá quá trình gia công này, hạt mài sẽ được trộn với chất kết dính để tạo thành một hỗn hợp dung dịch mài. Hỗn hợp dung dịch mài này sẽ không tuân theo quy luật Newton khi được chuyển động. Quá trình này sẽ tạo ra ứng suất cắt cho dung dịch mài tác động lên bề mặt gia công. Với phương pháp gia công bằng chất lỏng phi Newton thì bề mặt cầu phức tạp sẽ được gia công mài tinh bằng một quá trình gia công đơn giản. Trong bài báo này sẽ nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ mài, nồng độ dung dịch mài và kích thước hạt mài đến độ nhám bề mặt chi tiết. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng, tốc độ mài ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng bề mặt gia công. Tốc độ gia công càng tăng thì độ nhám bề mặt càng giảm. Bên cạnh đó, nồng độ dung dịch mài cũng ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt gia công như tốc độ mài. Còn kích thước hạt mài dường như không ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt gia công. Kết quả độ nhám bề mặt cầu bằng thép có đường kính $\varnothing 40\text{mm}$ sau khi gia công giảm từ $Ra=130\text{ nm}$ xuống còn $Ra = 23\text{ nm}$.

Từ khóa—Chất lỏng phi Newton, mài tinh bề mặt cầu, tốc độ mài, nồng độ dung dịch mài, kích thước hạt mài, độ nhám bề mặt.

1 GIỚI THIỆU

Ngày nay, sự phát triển mạnh mẽ của ngành công nghiệp chất bán dẫn, thiết bị quan sát, dụng cụ quang học và quang điện tử đã làm tăng nhu cầu đối với các bề mặt cong. Các bề mặt cong đóng vai trò quan trọng trong các lĩnh vực của

Bài báo này được gửi vào ngày 27 tháng 05 năm 2017 và được chấp nhận đăng vào ngày 11 tháng 09 năm 2017.

Nghiên cứu này được tài trợ bởi quỹ nghiên cứu khoa học cấp cơ sở của Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM (mã số đề tài: IUH.KCK 02/2016)

Nguyễn Đức Nam, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh.

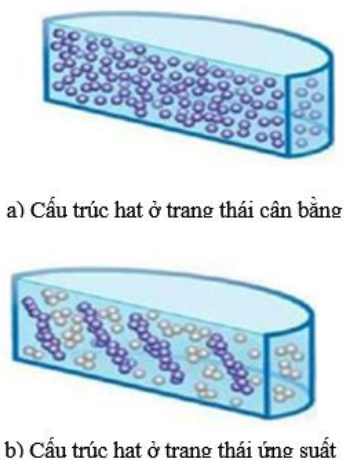
(e-mail: nguyenducnam@iuh.edu.vn)

ngành sản xuất công nghiệp như các cánh quạt của động cơ phản lực [1], các thấu kính quang học [2], khuôn đúc trong ngành sản xuất sản phẩm nhựa, khớp hông và khớp gối nhân tạo trong lĩnh vực cấy ghép y sinh học [3]. Các bề mặt này đòi hỏi yêu cầu chất lượng bề mặt rất cao và công nghệ gia công hiệu suất cao. Trước đây, quá trình gia công tinh bề mặt được chế tạo thông qua phương pháp gia công truyền thống như tiện, phay và kết thúc bằng mài tinh. Quá trình này yêu cầu một lượng thời gian gia công lớn nên năng suất hạn chế. Bên cạnh đó, chất lượng bề mặt sau gia công chỉ ở một giới hạn nhất định. Hiện nay, có rất nhiều công nghệ gia công đã được phát triển và áp dụng để gia công các bề mặt cong, chẳng hạn như công nghệ gia công bằng bức xạ đàn hồi [4], gia công bằng cơ – hóa học [5], gia công bằng thủy động lực học [6], gia công bằng chất lỏng từ biến [7, 8]. Phương pháp bức xạ đàn hồi có thể gia công bề mặt cong đạt chất lượng cao nhưng hiệu suất thấp. Phương pháp gia công bằng cơ – hoá học có thể đạt hiệu suất cao hơn, tuy nhiên chất thải hoá học sẽ gây ảnh hưởng đến môi trường. Phương pháp gia công bằng chất lỏng từ biến được áp dụng gia công các bề mặt cong với độ chính xác bề mặt cao do được điều khiển bằng máy tính. Tuy nhiên, phương pháp này ứng dụng hạn chế do chi phí tương đối cao cho chất điện từ và thiết kế các điện cực.

Để cải thiện hiệu suất và chất lượng bề mặt gia công thì phương pháp gia công mài tinh bằng chất lỏng phi Newton là cần thiết và cấp bách. Trong phương pháp này, ứng suất chất lỏng phi Newton được sử dụng để tạo nên quá trình cắt gọt trong gia công [9]. Cơ học của quá trình tạo ra ứng suất chất lỏng dựa trên sự hình thành, kết dính của các hạt tinh thể được thể hiện ở hình 1.

Hiệu quả của chất lỏng phi Newton là tạo ra ứng suất cắt nhờ sự chuyển động của chất lỏng. Dưới tác dụng của lực chuyển động, độ nhớt của chất lỏng phi Newton sẽ thay đổi và phản ứng hoàn toàn khác với chất lỏng thông thường. Chất lỏng phi Newton này có khả năng gia công linh hoạt với các bề mặt cong mà vẫn đáp ứng được yêu cầu cắt gọt và chất lượng bề mặt, trong khi đó dung dịch mài có thể sử dụng lại sẽ không gây ảnh hưởng đến môi trường.

Trong bài báo này, mô hình thí nghiệm gia công mài tinh bề mặt cầu được thiết lập để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số gia công đến chất lượng bề mặt để đánh giá khả năng gia công của phương pháp.



Hình 1. Cơ học tương tác của các hạt tinh thể

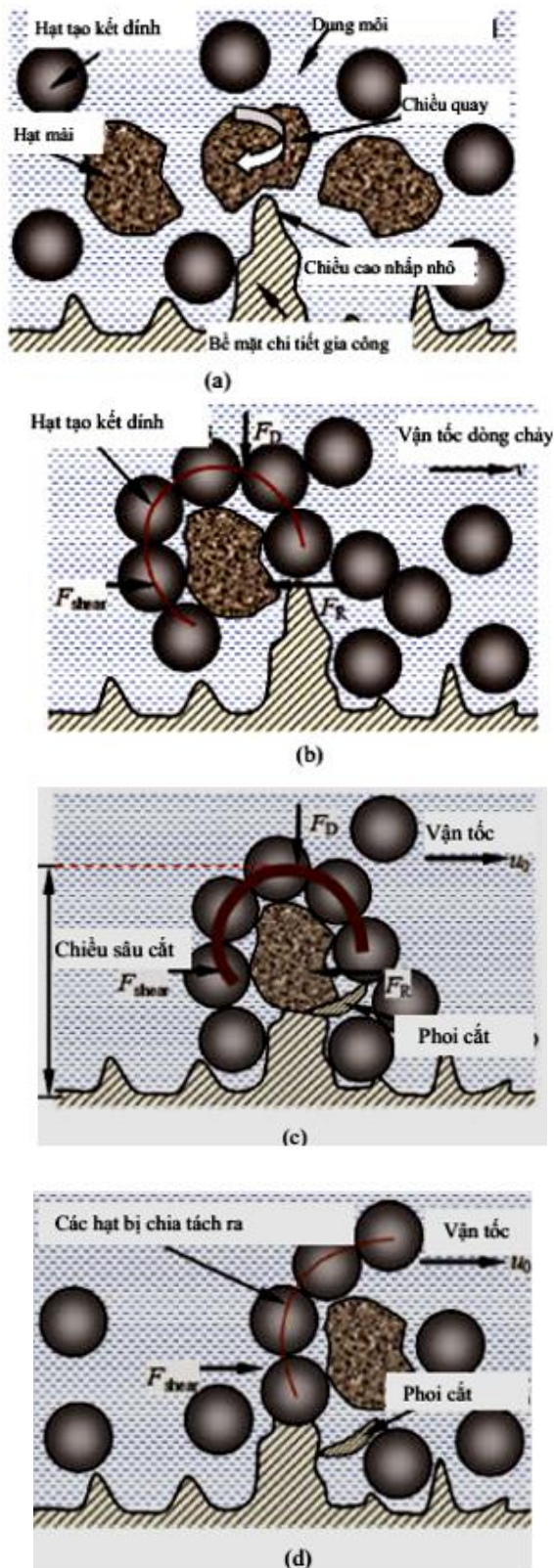
2 PHƯƠNG PHÁP GIA CÔNG BẰNG CHẤT LÔNG PHI NEWTON

Trong chất lỏng Newton, độ nhớt là một hằng số đối với lực tác động, chỉ thay đổi nếu có thay đổi nhiệt độ. Trong khi đó, độ nhớt của chất lỏng phi Newton không phải là hằng số, có thể thay đổi theo nhiều cách khác nhau dưới tác động của một hay nhiều yếu tố: lực, thời gian, nhiệt độ... Khi độ nhớt thay đổi, loại chất lỏng này phản ứng hoàn toàn khác chất lỏng thông thường: lỏng hóa rắn, rắn hóa lỏng, dày và xốp lên...

Sự tương tác giữa các hạt: khi chịu tác động của lực, khoảng cách giữa các hạt trong hỗn hợp thay đổi. Tại vị trí chịu lực, các hạt chụm lại, tạo thành cụm có hình dạng như tinh thể. Đây là nguyên nhân khiến dung dịch rắn lại.

Cơ học của quá trình gia công được thể hiện trong hình 2. Đầu tiên, dung dịch mài được cho chuyển động để tạo ra ứng suất cắt. Nếu tốc độ chuyển động và chiều sâu cắt không đủ lớn thì quá trình cắt gọt không diễn ra. Hạt mài chỉ trượt lên trên bề mặt gia công bởi vì lực thủy động tác dụng lên dung dịch mài không đạt yêu cầu (hình 2a).

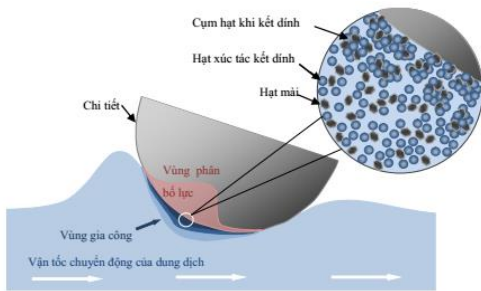
Sau khi lực thủy động tác dụng lên dung dịch đủ lớn thì hiện tượng đông đặc và độ nhớt của chất lỏng không tuân theo định luật Newton trong vùng tiếp xúc sẽ tăng lên nhanh chóng. Lúc này, các hạt phân tán trong hỗn hợp sẽ kết hợp thành các cụm hạt, trong đó hạt mài sẽ được bao quanh bởi các hạt kết dính (hình 2b). Kết quả là, dung dịch mài trong vùng gia công sẽ hoạt động như một chất rắn tức



Hình 2. Cơ học của quá trình gia công bằng chất lỏng phi Newton

thời, và một đĩa mài linh hoạt được hình thành trong vùng tiếp xúc, và cường độ mài sẽ tăng lên nhanh chóng tác động lên phối để tăng tốc độ loại bỏ vật liệu (hình 2c). Để tăng tốc độ loại bỏ vật liệu thì cần tăng tốc độ của dòng dung dịch mài và chiều sâu tiếp xúc thì khi đó lực cắt (F_{shear}) sẽ lớn hơn lực cản sinh ra trên vết nhấp nhô của chi tiết (F_R). Khi bề mặt gia công được mài phẳng và lực cắt được loại bỏ thì cụm hạt kết dính sẽ bị chia tách ra và trở về như trạng thái ban đầu như chất lỏng tuân theo định luật Newton (hình 2d) [10].

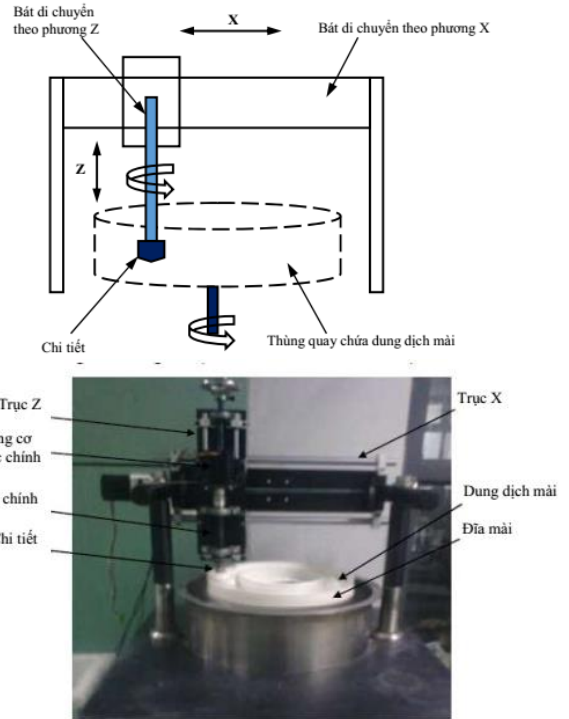
Do vậy, tính lưu động của chất lỏng phi Newton sẽ tạo ra một đĩa mài linh hoạt có thể phù hợp với các bề mặt cong khác nhau. Dung dịch mài sẽ kết dính và đông đặc trong gia công và trở lại bình thường như chất lỏng Newton một khi lực cắt được loại bỏ. Vì vậy, có thể đạt được hiệu quả và chất lượng mài bóng cao. Hiệu quả của phương pháp gia công này phụ thuộc vào sự chuyển động tương đối giữa chi tiết và dung dịch đánh bóng để tạo ra quá trình đông đặc. Nguyên lý của quá trình gia công được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. Nguyên lý của phương pháp gia công bằng chất lỏng phi Newton

3 MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Nguyên lý hoạt động và tiến trình thực nghiệm như hình 4. Chi tiết được kẹp chặt dưới trục chính và được điều khiển bởi một động cơ bước. Động cơ và trục chính được lắp đặt trên trục Z, có thể di chuyển theo chiều dọc trục Z bằng một trục vít dẫn. Ngoài ra, trục Z đã được lắp đặt trên trục X, do đó chuyển động qua lại có thể thực hiện được. Chi tiết được quay tròn và tịnh tiến lên xuống theo phương Z trong quá trình gia công.



Hình 4. Mô hình thí nghiệm

Dung dịch mài bóng bao gồm hạt mài và chất kết dính được khuấy trộn thành khối dung dịch. Khối dung dịch này sẽ được chứa trong một rãnh tròn và được điều khiển chuyển động quay tròn bởi một động cơ đặt ở dưới cùng của thiết bị. Các thông số của quá trình gia công như đường kính chi tiết, tốc độ quay của trục chính, đường kính của đĩa mài, tốc độ quay của đĩa mài được liệt kê trong bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt và tốc độ cắt bỏ vật liệu bao gồm tốc độ gia công, nồng độ dung dịch mài và kích thước hạt mài được thiết lập trong nghiên cứu này.

Bảng 1. Thông số máy và chi tiết gia công

Thông số	Giá trị
Đường kính chi tiết (mm)	40
Tốc độ quay của trục chính (vòng/phút)	0 - 400
Đường kính của đĩa mài (mm)	350
Tốc độ quay của đĩa mài (vòng/phút)	0 - 200

Hạt mài được sử dụng trong quá trình thực nghiệm là Al_2O_3 . Chi tiết được sử dụng trong thực nghiệm là mặt cầu có đường kính 40 mm. Các thông số của quá trình thực nghiệm được trình bày trong bảng 2. Độ nhám bề mặt sau khi gia công ứng với các thông số khác nhau được tiến hành trên máy đo độ nhám SJ-310.

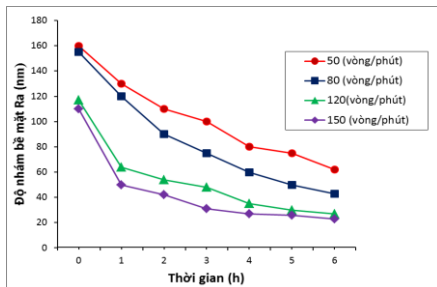
Bảng 2. Thông số máy và chi tiết gia công

Thông số	Giá trị
Hạt mài	Al ₂ O ₃
Đường kính của hạt mài (μm)	3,5; 5; 7,5; 15
Nồng độ dung dịch mài (wt%)	10, 20, 30, 35
Tốc độ quay của đĩa mài (vòng/phút)	50, 80, 120, 150
Tốc độ quay của chi tiết (vòng/phút)	200
Thời gia gia công (phút)	60

4 KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

4.1 Ảnh hưởng của tốc độ cắt

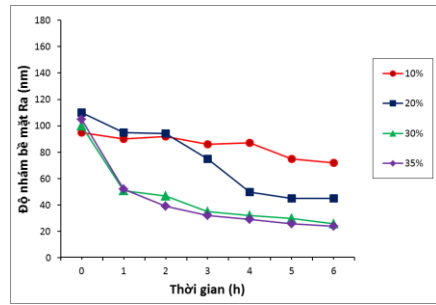
Quá trình thực nghiệm ảnh hưởng của tốc độ đĩa mài đến độ nhám bề mặt được thực hiện với hạt mài có đường kính hạt mài trung bình là 7,5 μm và nồng độ dung dịch hạt mài 30%. Kết quả ảnh hưởng của tốc độ đĩa mài đến độ nhám bề mặt như hình 5. Ở kết quả thực nghiệm, độ nhám bề mặt của chi tiết giảm khi tăng tốc độ gia công và thời gian gia công. Độ nhám bề mặt giảm nhanh ở 3 giờ gia công đầu tiên, còn sau đó độ nhám bề mặt có thay đổi nhưng tốc độ giảm tương đối ít. Ở thời gian gia công 5 đến 6 giờ thì độ nhám bề mặt hầu như không thay đổi nhiều. Với tốc độ gia công 150 (vòng/phút) và sau 6 giờ gia công thì độ nhám bề mặt đạt được cao nhất là khoảng 23 nm.



Hình 5. Quan hệ giữa tốc độ cắt và độ nhám bề mặt

4.2 Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch mài

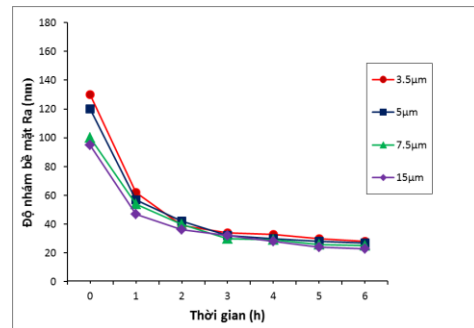
Với kết quả ở hình 6 cho thấy rằng, độ nhám bề mặt chi tiết giảm rõ rệt tương thích với sự thay đổi của nồng độ dung dịch mài. Độ nhám bề mặt giảm nhanh chóng trong một giờ gia công đầu tiên với nồng độ dung dịch mài là 30% và 35%. Độ nhám bề mặt đạt giá trị tốt nhất là khoảng 24 nm với nồng độ dung dịch mài 35%. Tuy nhiên, với nồng độ dung dịch mài 10% thì độ nhám hầu như ít thay đổi theo thời gian gia công. Điều này có nghĩa là, khi nồng độ dung dịch thấp thì tỷ lệ hạt mài trong dung dịch sẽ ít, do đó khả năng tạo ra ứng suất cắt, sự kết dính và đông đặc của dung dịch giảm xuống. Kết quả chất lượng bề mặt gia công sẽ giảm xuống.



Hình 6. Quan hệ giữa nồng độ dung dịch mài và độ nhám bề mặt

4.3 Ảnh hưởng của kích thước hạt mài

Như kết quả ở hình 7, ảnh hưởng của kích thước hạt mài đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công cũng không đáng kể. Độ nhám bề mặt giảm xuống nhanh chóng ở giờ gia công đầu tiên. Sau đó, độ nhám hầu như không thay đổi khi thời gian gia công tăng lên. Độ nhám bề mặt đạt được sau 6 giờ gia công khoảng từ 28 nm đến 24 nm với kích thước hạt mài từ 3,5 μm đến 15 μm. Điều này cho thấy rằng, kích thước hạt mài ảnh hưởng không đáng kể đến độ nhám bề mặt.



Hình 7. Quan hệ giữa kích thước hạt mài và độ nhám bề mặt

5 KẾT LUẬN

Dựa trên các kết quả thực nghiệm về ảnh hưởng của tốc độ gia công, nồng độ dung dịch mài và kích thước hạt mài đến lượng vật liệu cắt gọt và độ nhám bề mặt, có thể rút ra một số kết luận như sau:

Tốc độ quay của đĩa mài có ảnh hưởng lớn đến độ nhám bề mặt. Tốc độ quay của đĩa mài càng tăng thì chất lượng bề mặt càng tốt. Với tốc độ quay của đĩa mài là 150 (vòng /phút) thì độ nhám bề mặt đạt được Ra = 23 nm.

Nồng độ dung dịch mài cũng là nhân tố quan trọng quyết định độ nhám bề mặt chi tiết gia công. Khi nồng độ dung dịch càng tăng thì chất lượng bề mặt sẽ tốt hơn. Tuy nhiên, nếu nồng độ dung dịch quá lớn thì ứng suất cắt lại không tăng theo và như vậy hiệu quả gia công không đạt yêu cầu.

Kích thước hạt mài hầu như không ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công. Độ nhám bề

mặt giảm xuống nhanh chóng ở giờ gia công đầu tiên. Sau đó, độ nhám hầu như không thay đổi khi thời gian gia công tăng lên

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Zhang X, Kuhlenk Otter B, Kneupner K. *An efficient method for solving the signorini problem in the simulation of freeform surfaces produced by belt grinding*. Int. J. Mach. Tools Manuf., 2005; 641–648.
- [2]. Kim DW, Burge JH, *Rigid conformal polishing tool using non-linear visco - elastic effect*. Opt. Express 2010; 2242-2257
- [3]. Zeng SY, Blunt L. *Experimental investigation and analytical modelling of the effects of process parameters on material removal rate for bonnet polishing of cobalt chrome alloy*. Precision Engineering 2014; 348–355
- [4]. Tsuwa H, Ikawa N, Mori Y. *Numerically controlled elastic emission machine*. CIRP Ann. – Manuf. Technol., 1979; 193-197
- [5]. Steigerwald JM, Murarka SP. Gutmann RJ. *Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials*. A Wiley – Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc., NewYork, 1996.
- [6]. Watanabe J, Suzuki J, Kobayashi A, *High precision polishing of semi-conductor materials using hydrodynamic principle*. CIRP Ann. – Manuf. Technol., 1981; 91-95
- [7]. Tani Y, Kawata K, Nakayama K, *Development of high - efficient fine finishing process using magnetic fluid*. CIRP Ann. – Manuf. Technol., 1984; 217-220.
- [8]. Shorey AB, Kwong KM, Johnson KM, Jacobs SD, *Nanoindentation hardness of particles used in magnetorheological finishing (MRF)*. Appl.Opt.,2000; 5194 - 5204
- [9]. Wagner NJ, Brady JF. *Shear thickening in colloidal dispersions*, Phys.Today., 2009; 27–32.
- [10]. Li M, Lyu BH, Yuan JL, Dong CC, Dai W. *Shear thickening polishing method*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 2015; 88–99.



Nguyễn Đức Nam, nhận bằng đại học, thạc sĩ tại Đại học Sư phạm Kỹ thuật và bằng tiến sĩ (2012) tại đại học Hunna (China). Hiện tại tác giả là giảng viên Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM. Các hướng nghiên cứu của tác giả gia công chính xác và phương pháp số.

Study on the application of non-Newton fluid in curved surface polishing

Duc Nam Nguyen

Abstract—Traditionally, the curved surfaces are generated by a complicated machining process to achieve the required surface quality. To simplify this process, the abrasive will be mixed with the binder to become a polishing slurry. This slurry does not obey the Newton laws when it moves. This process will produce the shear stress for the slurry on the machining surface. Based on the non-Newton fluid, the curved surface will be machined by a simple machining process. In this paper, the effects of grinding speed, slurry concentration and abrasive size on the surface roughness are discussed. The experimental results show that

the polishing speed has an obvious influence on surface finishing. With the increase of the polishing speed, the surface roughness reduces. In addition, the slurry concentration also affects the surface quality like the polishing speed. The abrasive size has a small effect on the surface finishing. The surface roughness of steel spherical workpiece $\varnothing 40\text{ mm}$ is reduced sharply from $Ra = 130\text{ nm}$ to $Ra = 23\text{ nm}$ after treatment.

Keywords—non-Newton fluid, curved surface, polishing speed, slurry concentration, abrasive size, surface roughness.