

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM GIA CÔNG TINH BỀ MẶT KHUÔN BẰNG SÓNG SIÊU ÂM

NGUYỄN ĐỨC NAM

Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

nguyenducnam@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Các khuôn ép được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp để chế tạo các chi tiết từ nhiều vật liệu khác nhau như nhựa, kim loại, cao su, kính, và các chất vô cơ khác. Chất lượng sản phẩm được tạo ra phụ thuộc rất lớn vào chất lượng bề mặt của khuôn. Do bề mặt khuôn có nhiều hình dạng phức tạp nên việc gia công tinh các bề mặt này gặp nhiều khó khăn. Để nâng cao độ nhám bề mặt của khuôn thì trong nghiên cứu này ứng dụng sóng siêu âm kết hợp với dung dịch mài để tiến hành mài tinh bề mặt. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình gia công như kích thước hạt mài, nồng độ dung dịch hạt mài được khảo sát trong bài báo này. Dựa trên kết quả thực nghiệm, quá trình mài tinh bằng sóng âm kết hợp với dung dịch mài cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt gia công, nâng cao hiệu quả của quá trình mài tinh bề mặt phức tạp. Kết quả cho thấy rằng, độ nhám bề mặt chi tiết từ $Ra = 120$ nm giảm xuống còn $Ra = 32$ nm và hiệu suất gia công tăng lên.

Từ khóa. Độ nhám bề mặt, bề mặt phức tạp, sóng siêu âm, kích thước hạt mài, dung dịch mài

EXPERIMENTAL STUDY ON POLISHING OF MOLD SURFACES BY USING ULTRASONIC

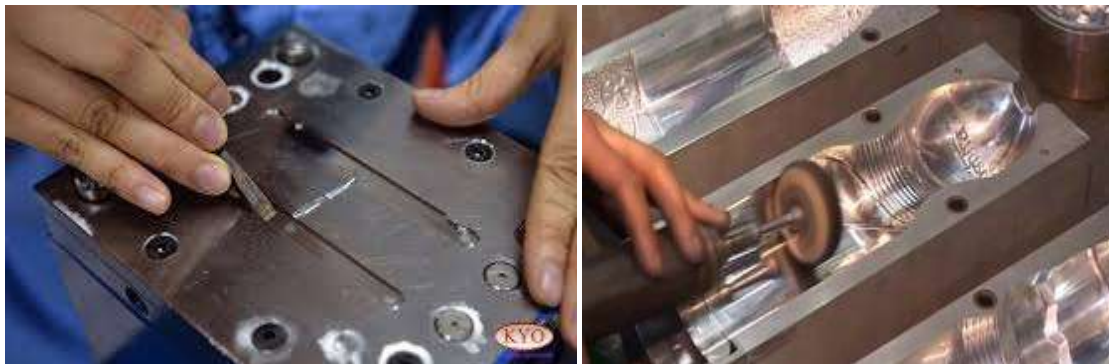
Abstract. Molds are widely used in industry to generate the workpiece, making from various materials such as plastic, metal, rubber, glass, and other inorganic substances. The quality of products depends on the surface quality of the mold. Because the mold surface has many complex shapes, so it is difficult to machine these surfaces. In order to improve the surface roughness of the mold, the ultrasonic combined with polishing fluid was applied. The parameters of the machining process such as abrasive sizes and concentration of polishing fluids were investigated in this paper. Based on the experimental results, the polishing fluid combined with ultrasonic power has significantly improved the surface quality, and machining efficiency. The results showed that the surface roughness of workpiece can be decreased from $Ra = 120$ nm to $Ra = 32$ nm and machining efficiency is increased.

Keywords. Surface roughness, complex shape, ultrasonic, abrasive size, polishing fluid

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Khuôn mẫu, được xem như là “Nền tảng của nền công nghiệp”, đang phát triển theo hướng tập trung đầu tư và phát triển công nghệ. Với khả năng tạo ra sản phẩm với số lượng lớn, thời gian sản xuất ngắn, và mức độ ổn định cao, các sản phẩm khuôn mẫu là công cụ không thể thiếu trong rất nhiều ngành sản xuất công nghiệp, từ các sản phẩm đồ gia dụng đến các sản phẩm hàng không và điện tử hiện đại. Các sản phẩm từ khuôn ép gồm có các chi tiết kim loại và nhựa trong ô tô, máy bay, đồ gia dụng, thiết bị điện, điện tử, đồ tiêu dùng, đồ gỗ, các trang bị quân sự, sản phẩm y tế. Các khuôn dùng trong sản xuất sản phẩm nhựa bao gồm rất nhiều loại, gồm khuôn ép phun, khuôn nén, khuôn thổi, khuôn gia cường, khuôn dịch chuyển, khuôn đúc, khuôn đùn, và khuôn quay, trong đó phổ biến nhất là khuôn ép phun.

Trước đây, quá trình gia công tinh bề mặt cong phức tạp được chế tạo thông qua phương pháp gia công truyền thống như tiện CNC, phay CNC và kết thúc bằng mài tinh bằng đá mài. 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 [1]. Ngoài ra, một số bề mặt phức tạp cần phải trải qua quá trình gia công tinh bằng tay (hình 1).



Hình 1: Gia công tinh bề mặt khuôn bằng thủ công

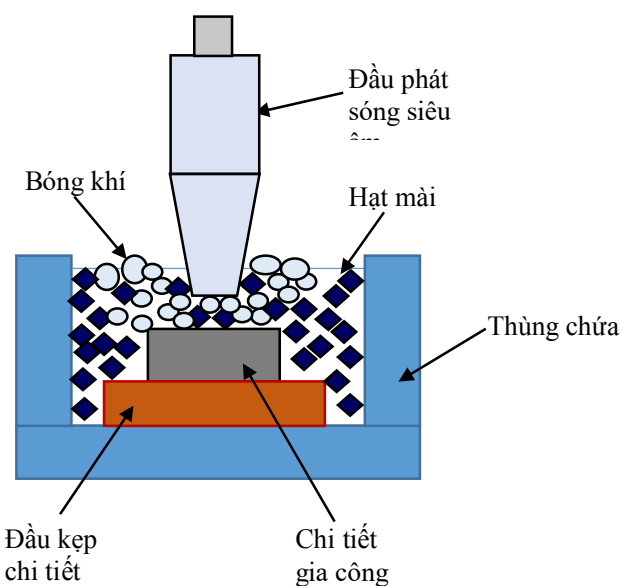
Hiện nay, có rất nhiều công nghệ gia công đã được phát triển và áp dụng để nâng cao chất lượng gia công các bề mặt cong, chẳng hạn như công nghệ gia công bằng bức xạ đàn hồi [2], gia công bằng cơ – hoá học [3], gia công bằng thủy động lực học [4], gia công bằng chất lỏng từ biến [5,6]. Phương pháp bức 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. 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 mài cơ – hóa (CMP) [7-10]. 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.

Để cải thiện hiệu suất và chất lượng bề mặt gia công thì phương pháp gia công mài tinh bằng sóng siêu âm đã được nghiên cứu và áp dụng [11-17]. Cơ học quá trình gia công và tối ưu thông số công nghệ trong gia công bằng siêu âm đã được nghiên cứu và thảo luận.

Trong bài báo này, nguyên lý gia công bằng sóng siêu âm kết hợp với dung dịch mài vẫn được sử dụng trong để tiến hành gia công bề mặt khuôn. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng của chi tiết gia công như chiều cao tiếp xúc, kích thước hạt mài và nồng độ dung dịch mài sẽ được nghiên cứu trong bài báo này. Các thí nghiệm gia công đánh bóng bề mặt bi đua trụ bằng thép SKD11 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 sóng siêu âm kết hợp với dung dịch mài cải thiện đáng kể chất lượng bề mặt gia công. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng, độ nhám bề mặt cải thiện đáng kể từ $Ra = 120$ nm xuống còn $Ra = 32$ nm và hiệu suất gia công được tăng lên.

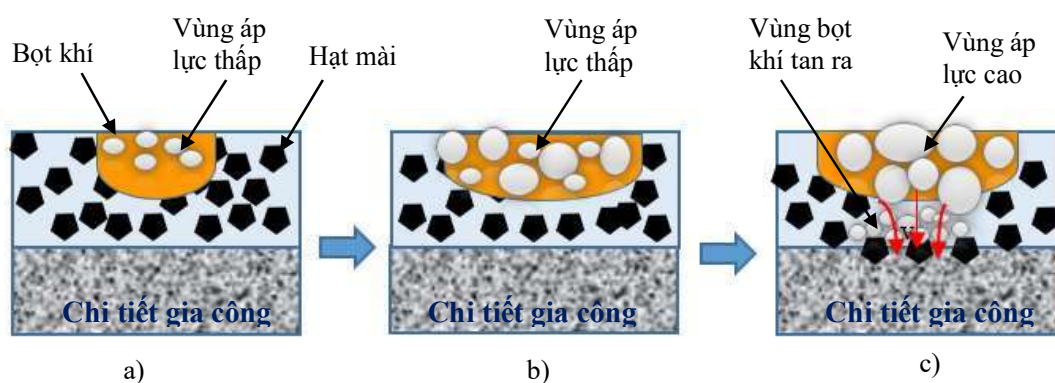
2 NGUYÊN LÝ CỦA QUÁ TRÌNH GIA CÔNG

Nguyên lý của quá trình gia công bề mặt khuôn bằng sóng siêu âm kết hợp với dung dịch hạt mài được thể hiện trong hình 2.



Hình 2: Nguyên lý của quá trình gia công

Trong quá trình gia công, dung dịch mài sẽ được tác động bởi sóng siêu âm làm cho dung dịch mài lúc thì bị nén lại, lúc thì giãn ra nhanh chóng. Điều này tạo nên sức ép tác động lên các hạt mài, làm cho chúng va chạm với bề mặt chi tiết cần được gia công. Hơn thế nữa, khi dung dịch đang được nén lại mà lại tiếp tục chịu lực kéo giãn ra một cách bất ngờ sẽ dẫn đến việc dung dịch tạo ra những khoảng trống, những khoảng trống này tạo thành những bọt khí li ti trong vùng gia công. Những bọt khí này được tạo thành liên tục và cũng nhanh chóng tan đi. Khi các bọt khí li ti này tan đi sẽ tạo ra áp lực truyền cho hạt mài tác động lên chi tiết gia công. Quá trình này sẽ lặp lại khi bọt khí tiếp tục được hình thành mới.

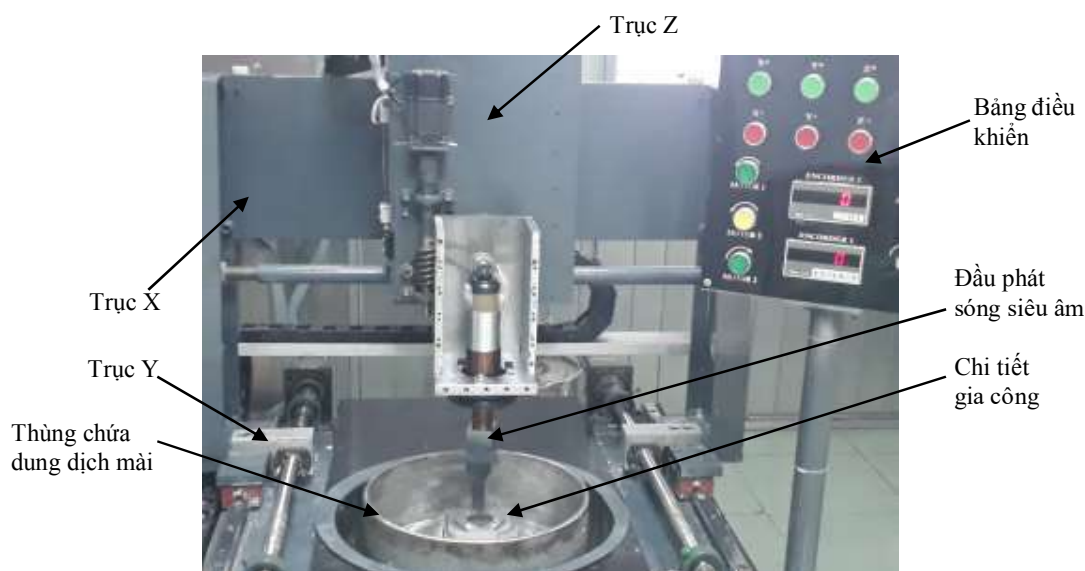


Hình 3: Cơ học của quá trình gia công

Hình 3 mô tả cơ học của quá trình gia công. Đầu tiên, khi sóng siêu âm tác dụng lên dung dịch hạt mài thì các bọt khí bắt đầu hình thành. Lúc này, áp lực trong vùng này tương đối nhỏ nên không có áp lực tác động lên hạt mài. Do đó, bề mặt chi tiết không được gia công bởi hạt mài (hình 3a). Sau đó, bọt khí tiếp tục hình thành nhiều hơn do sự kéo giãn của sóng âm. Tuy nhiên, áp lực trong vùng gia công vẫn còn nhỏ do đó lực ép tác động lên chi tiết không đáng kể (hình 3b). Khi bọt khí tăng lên đủ lớn thì chúng sẽ tan ra, lúc này các bọt khí khi tan ra sẽ tạo ra năng lượng tương đối lớn. Dòng năng lượng này sẽ tác động lên hạt mài, làm cho hạt mài tiếp xúc với bề mặt chi tiết gia công. Ở thời điểm này, áp lực trong vùng gia công đủ lớn để tạo ra quá trình gia công (hình 3c).

3 MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Quá trình thực nghiệm được tiến hành với bề mặt khuôn có kích thước $\Phi 100 \times 20 \text{ mm}$, với vật liệu là thép hợp kim SKD11. 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 tinh thì độ nhám bề mặt chi tiết đạt được khoảng $120 \pm 2 \text{ nm}$. Sau đó, bề mặt khuôn sẽ được mài tinh bằng sóng siêu âm kết hợp với dung dịch hạt mài. Hình 4 mô tả điều kiện của quá trình thí nghiệm gia công mài tinh bề mặt khuôn.



Hình 4: Mô hình thí nghiệm

Bề mặt của khuôn sẽ được gia công tinh do áp lực của bột khí khi tan tác động vào hạt mài. Trong quá trình gia công, nồng độ hạt mài, kích thước hạt mài sẽ quyết định đến độ nhám bề mặt gia công. Hiệu suất của quá trình gia công chịu ảnh hưởng rất lớn của lực được sinh ra khi bột khí tan tác động vào hạt mài.

Trong quá trình thực nghiệm, bề mặt chi tiết sẽ được gia công cắt gọt với dung dịch mài Al_2O_3 có kích thước hạt mài là 1200#, 2000# và 4000#. Bên cạnh đó, nồng độ dung dịch hạt mài cũng được thay đổi để đánh giá sự ảnh hưởng của nồng độ đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công. Đầu phát sóng siêu âm có công suất 800W, dòng điện sử dụng có hiệu điện thế 220V và tần số là 50Hz. Thông số của quá trình gia công với dung dịch mài Al_2O_3 được liệt kê chi tiết trong bảng 1.

Bảng 1: Thông số của quá trình gia công bằng dung dịch mài Al_2O_3

Kích thước khuôn	$\Phi 100 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$
Đĩa mài dưới và trên	Thép C45
Dung dịch mài	Al_2O_3
Kích thước hạt mài	1200#, 2000#, 4000#
Nồng độ dung dịch mài (%)	10, 17, 25, 35
Khoảng cách gia công (mm)	20
Thời gian gia công (phút)	30

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 5).



Hình 5: Thiết bị đo độ nhám SJ-301

4 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Chất lượng bề mặt khuôn ép càng cao sẽ quyết định đến chất lượng và tuổi thọ của vật được ép ra. Các vết nhấp nhô tế vi trên bề mặt của chi tiết gia công sẽ được loại bỏ bằng cách sử dụng sóng siêu âm kết hợp với dung dịch hạt mài. Kết quả là chất lượng bề mặt của chi tiết gia công được cải thiện đáng kể. Quá trình thực nghiệm gia công được thực hiện với sự thay đổi kích thước hạt mài và nồng độ dung dịch hạt mài đến độ nhám bề mặt chi tiết.

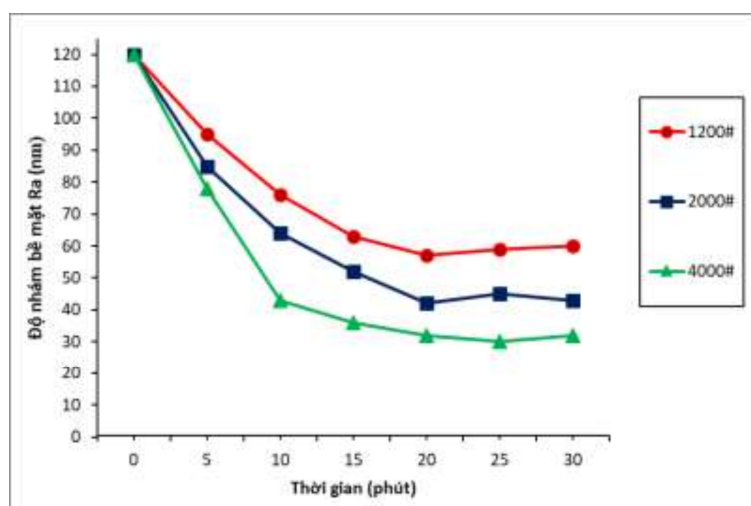
4.1 Ảnh hưởng của kích thước hạt mài đến độ nhám bề mặt (Ra)

Hai yếu tố chính được chọn trong quá trình thực nghiệm là thời gian (t) và kích thước hạt mài (A) ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt gia công (Ra). Thông số kết quả thực nghiệm với hai yếu tố được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2: Thông số thực nghiệm ảnh hưởng của kích thước hạt mài Al_2O_3

TN	t	A	Ra (nm)
1	5	1200#	95
2	5	2000#	85
3	5	4000#	78
4	10	1200#	76
5	10	2000#	64
6	10	4000#	43
7	15	1200#	63
8	15	2000#	52
9	15	4000#	36
10	20	1200#	57
11	20	2000#	42
12	20	4000#	32
13	25	1200#	59
14	25	2000#	45
15	25	4000#	30
16	30	1200#	60
17	30	2000#	43
18	30	4000#	32

Mối quan hệ giữa kích thước hạt mài và độ nhám bề mặt (Ra) của chi tiết gia công được thể hiện trong hình 6. Trong quá trình thực nghiệm, nồng độ dung dịch mài Al_2O_3 được sử dụng là 17%.



Hình 6: Mối quan hệ giữa kích thước hạt mài và độ nhám bề mặt

Sau 20 phút gia công, độ nhám bề mặt của chi tiết giảm từ $Ra = 120$ nm xuống $Ra = 63$ nm với hạt mài có kích thước 1200#, từ $Ra = 120$ nm xuống $Ra = 48$ nm với hạt mài 2000# và từ $Ra = 120$ nm xuống $Ra = 32$ nm trong trường hợp sử dụng dung dịch mài 4000# Al_2O_3 . Tuy nhiên, khi thời gian gia công vượt quá 20 phút thì độ nhám bề mặt có xu hướng tăng lên. Điều này là do, thời gian gia công vượt quá thời gian cho phép làm cho nhiệt độ vùng gia công tăng lên. Vì vậy, nhiệt độ ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt gia công. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng, độ nhám bề mặt đạt tốt nhất với hạt mài có kích thước 4000# với thời gian gia công trong phạm vi 20 phút.

4.2 Ảnh hưởng của nồng độ dung dịch mài đến độ nhám bề mặt

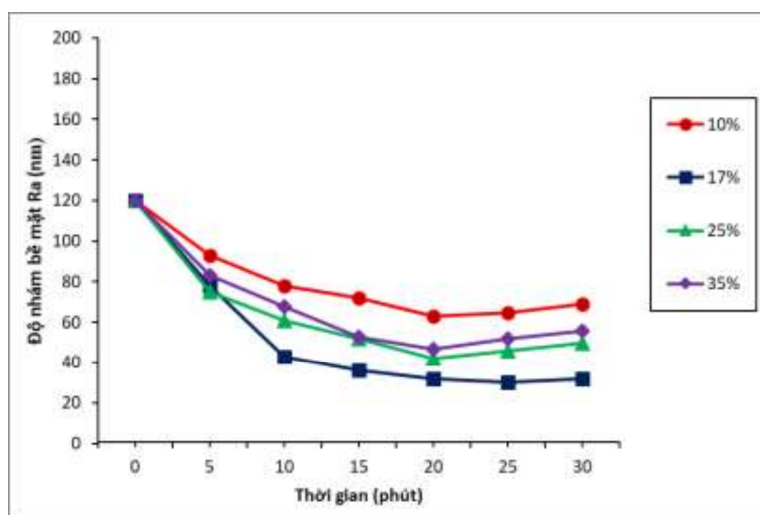
Trong thực nghiệm ảnh hưởng của nồng độ dung dịch hạt mài đến độ nhám bề mặt thì hai yếu tố chính được chọn trong quá trình thực nghiệm là thời gian (t) và nồng độ dung dịch mài (B). Thông số kết quả thực nghiệm với hai yếu tố này được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3: Thông số thực nghiệm ảnh hưởng nồng độ dung dịch mài Al_2O_3

TN	t	B	Ra (nm)
1	5	10%	93
2	5	17%	78
3	5	25%	75
4	5	35%	83
5	10	10%	78
6	10	17%	43
7	10	25%	61
8	10	35%	68
9	15	10%	72
10	15	17%	36
11	15	25%	52
12	15	35%	53
13	20	10%	63
14	20	17%	32
15	20	25%	42
16	20	35%	47

17	25	10%	65
18	25	17%	30
19	25	25%	46
20	25	35%	52
21	30	10%	69
22	30	17%	32
23	30	25%	50
24	30	35%	56

Mối quan hệ giữa nồng độ dung dịch hạt mài và độ nhám bề mặt chi tiết gia công được trình bày trong hình 7. Dung dịch hạt mài được sử dụng trong quá trình gia công là 4000# Al₂O₃.



Hình 8: Mối quan hệ giữa nồng độ dung dịch hạt mài và độ nhám bề mặt

Với kết quả ở hình 8 cho thấy rằng, độ nhám bề mặt chi tiết có sự thay đổi khi thay đổi nồng độ dung dịch mài. Độ nhám bề mặt đều giảm trong khoảng thời gian gia công là 20 phút. Độ nhám đạt được giá trị tốt nhất $Ra = 32$ nm khi nồng độ dung dịch mài được chọn là 17%. Nếu nồng độ dung dịch tăng lên thì độ nhám bề mặt chi tiết có xu hướng tăng lên. Điều này là do, khi nồng độ dung dịch tăng lên đồng nghĩa với tỷ lệ nước trong dung dịch sẽ giảm xuống. Khi đó dưới tác dụng của sóng siêu âm, các bọt khí phân tán sẽ giảm theo làm giảm áp lực tác động lên hạt mài. Tuy nhiên, nồng độ dung dịch thấp hơn 17% cũng làm độ nhám tăng lên, bởi vì số lượng hạt mài tham gia vào trong quá trình gia công nhỏ làm độ nhám bề mặt giảm không đáng kể.

KẾT LUẬN

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

- Nồng độ dung dịch mài cũng là nhân tố quan trọng quyết định độ nhám bề mặt chi tiết gia công. Độ nhám bề mặt chi tiết gia công đạt được giá trị tốt nhất $Ra = 32$ nm với nồng độ dung dịch mài là 17% và trong thời gian gia công khoảng 20 phút. Khi nồng độ dung dịch càng tăng thì chất lượng bề mặt không tăng lên mà có xu hướng giảm xuống. Điều này là do, khi nồng độ dung dịch cao thì tỷ lệ hạt mài chiếm tỷ trọng nhiều hơn, trong khi đó tỷ lệ nước tương ứng sẽ giảm xuống. Khi sóng âm tác dụng vào dung dịch mài thì sự phân tán bọt khí cũng giảm theo, do đó áp lực lên hạt mài cũng sẽ nhỏ.
- Kích thước hạt mài cũng là nhân tố ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt của chi tiết trong quá trình gia công. Hạt mài có kích thước càng mịn thì cho chất lượng bề mặt tốt hơn. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng, độ nhám bề mặt đạt được giá trị tốt nhất $Ra = 32$ nm với hạt mài có kích thước 4000# Al₂O₃.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ nghiên cứu khoa học cấp trường (mã số đề tài: 181.CK03)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Huang and L. Yin, Grinding characteristics of engineering ceramics in high speed regime. Int. J. Abrasive Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 78–93, 2007
- [2] H. Tsuwa, N. Ikawa, Y. Mori, Numerically controlled elastic emission machine. CIRP Ann. – Manuf. Technol., pp. 193-197, 1979
- [3] J.M. Steigerwald, S.P. Murarka, R.J. Gutmann, Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials. A Wiley – Interscience Publication John Wiley & Sons ,Inc., NewYork, 1996.
- [4] J. Watanabe, J. Suzuki, A. Kobayashi, High precision polishing of semi-conductor materials using hydrodynamic principle. CIRP Ann. – Manuf. Technol., pp. 91-95, 1981
- [5] Y. Tani, K. Kawata, K. Nakayama, Development of high - efficient fine finishing process using magnetic fluid. CIRP Ann. – Manuf. Technol., pp. 217-220, 1984
- [6] A. Shorey, K. Kwong, K. Johnson, S. Jacobs, Nanoindentation hardness of particles used in magnetorheological finishing (MRF). Appl.Opt., pp. 5194 -5204, 2000
- [7] Y. Lin, S. 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.
- [8] D. Zhao, X. Lu, Chemical mechanical polishing: theory and experiment. Friction, Vol. 1, No. 4, pp. 306-326 2013.
- [9] 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.
- [10] X. He, Y. Chen, H. Zhao, H. Sun, X. Lu, H. Liang, Y2O3 nanosheets as slurry abrasives for chemical–mechanical planarization of copper. Friction, Vol. 1, No. 4, pp. 327-332, 2013.
- [11] Y. Ichida, R. Sato, Y. Morimoto, K. Kobayashi, Material removal mechanisms in non-contact ultrasonic abrasive machining. Wear, Vol. 258, No. 1, pp. 107-114, 2005
- [12] J. Kumar, JS. Khamba, Modeling the material removal rate in ultrasonic machining of titanium using dimensional analysis. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 48, pp.103-119, 2010
- [13] H. Zarepour, S.H. Yeo, Predictive modeling of material removal modes in micro ultrasonic machining. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 62, pp. 13-23, 2012
- [14] R. Singh, JS. Khamba, Taguchi technique for modeling material removal rate in ultrasonic machining of titanium. Materials Science and Engineering A. Vol. 460, pp. 365-369, 2007
- [15] S. Agarwal, On the mechanism and mechanics of material removal in ultrasonic machining. International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 96, pp. 1-14, 2015
- [16] G.S. Kainth, A. Nandy, K. Singh. On the mechanics of material removal in ultrasonic machining. International Journal of Machine Tool Design and Research, Vol. 19, No. 1, pp. 33-41, 1979
- [17] T.C. Lee, C.W. Chan, Mechanism of the ultrasonic machining of ceramic composites. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 71, No. 2, pp. 195-201, 1997

Ngày nhận bài: 03/06/2019

Ngày chấp nhận đăng: 12/07/2019