



NGHIÊN CỨU DỰ ĐOÁN QUI LUẬT ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ KHÔNG TRÒN CỦA BỀ MẶT CHI TIẾT KHI MÀI VÔ TÂM CHẠY DAO HƯỚNG KÍNH

Đỗ Đức Trung^{1*}, Hoàng Tiến Dũng¹, Trần Thị Thu Hằng²

Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu mô phỏng quá trình mài vô tâm chạy dao hướng kính để dự đoán qui luật ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến độ không tròn (Δ) của bề mặt chi tiết. Các thông số công nghệ được sử dụng trong nghiên cứu này là vận tốc đá dẫn (v_{dd}), lượng chạy dao hướng kính (S_k) và góc cao tâm của chi tiết (β). Kết quả cho thấy qui luật ảnh hưởng của các thông số đó đến Δ của bề mặt chi tiết khi mô phỏng phù hợp với khi thí nghiệm. Từ qui luật đó cho phép xác định được khoảng giá trị của các thông số này (v_{dd} , S_k , β) đảm bảo bề mặt chi tiết gia công có Δ nhỏ. Đồng thời trong bài báo này cũng trình bày hướng phát triển cho các nghiên cứu tiếp theo.

Từ khóa: Mài vô tâm chạy dao hướng kính; độ không tròn; vận tốc đá dẫn; lượng chạy dao hướng kính; góc cao tâm của chi tiết; mô phỏng.

Influence - rule of technical parameters on roundness error of workpiece in plunge centerless grinding by simulation

Abstract: This paper presents the research on the influence rule of technical parameters on roundness error of workpiece (Δ) in plunge centerless grinding by simulation. Technical parameters which are considered in this paper are control wheel velocity (v_{dd}), plunge feed rate (S_k) and center height angle of workpiece (β). Results of experiments and simulations prove that the theoretical predictions are in agreement with the experimental results, and the expected results are very close to those of the experiments. The application of the simulation program allows estimating and assuring the approximate values of some parameters (v_{dd} , S_k , β) when processing a workpiece with small Δ and are relatively stable in specific conditions. Finally, suggestions for further research are given.

Keywords: Plunge centerless grinding; roundness error; control wheel velocity; plunge feed rate; center height angle of workpiece; simulation.

Nhận ngày 10/5/2017, sửa xong 8/6/2017, chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 8, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Trong gia công cơ khí, mài vô tâm là một phương pháp cho năng suất cao hơn nhiều lần so với mài có tâm nhờ thời gian gá đặt và tháo dỡ chi tiết ít; độ cứng vững của máy mài vô tâm cao hơn so với máy mài có tâm. Đây là một phương pháp gia công được sử dụng rộng rãi để chế tạo các chi tiết tròn xoay, đặc biệt là trong ngành công nghiệp ô tô, vòng bi, một số chi tiết của động cơ, ... [1-3]. Cũng như các phương pháp gia công tinh khác, trong phương pháp mài vô tâm, Δ của bề mặt chi tiết là một trong những thông số kỹ thuật quan trọng quyết định chất lượng vật mài. Tuy nhiên, khi mài vô tâm chạy dao hướng kính, để xác định và điều chỉnh giá trị các thông số của quá trình gia công đảm bảo gia công được chi tiết có Δ nhỏ là một công việc phức tạp và tốn nhiều thời gian ngay cả đối với thợ có tay nghề cao [4,5]. Với mong muốn xác định được khoảng giá trị của các thông số công nghệ đảm bảo khi gia công bề mặt chi tiết có Δ nhỏ trong từng điều kiện cụ thể, đã có một số nghiên cứu áp dụng phương pháp phân tích động học vật mài của Rowe và Barash [6] để mô phỏng dự đoán qui luật ảnh hưởng của một số thông số của quá trình gia công đến Δ : ảnh hưởng của S_k và sai số trên bề mặt đá dẫn [7]; ảnh hưởng của β [8]; ảnh hưởng của β và vận tốc chi tiết (v_{ct}) [9,10]; ảnh hưởng của vận tốc đá mài (v_{dm}) và S_k [11]; ảnh hưởng của sai số trên bề mặt đá dẫn [12]; ảnh hưởng của β và v_{dd} [13]... Tuy nhiên, những nghiên cứu kể trên mới chỉ xét đến khía cạnh động học của vật

¹TS, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

²KS, Trường Cao đẳng Kinh tế Kỹ thuật - Đại học Thái Nguyên.

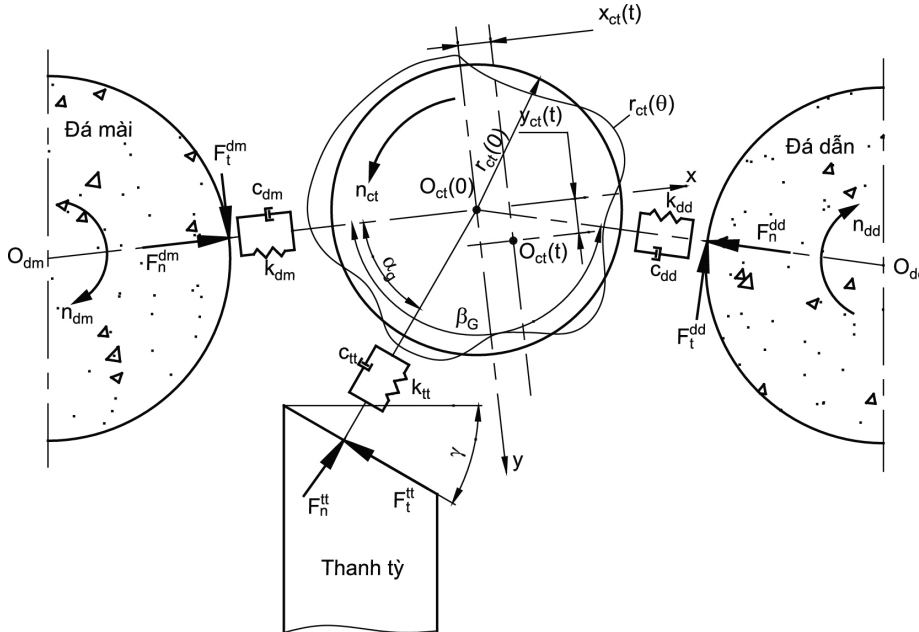
*Tác giả chính. E-mail: dotrung.th@gmail.com.



mài, làm cho qui luật ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến Δ khi mô phỏng thường chưa sát so với khi thí nghiệm. Trong bài báo này, tiến hành nghiên cứu mô phỏng dự đoán qui luật ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến Δ dựa trên việc phân tích động lực học vật mài. Kết quả cho thấy qui luật ảnh hưởng của các thông số v_{dm} , S_k , β đến Δ khi mô phỏng phù hợp với khi thực nghiệm. Từ qui luật đó cho phép xác định được khoảng giá trị của các thông số v_{dm} , S_k , β đảm bảo bề mặt chi tiết gia công có Δ nhỏ. Đồng thời hướng phát triển cho các nghiên cứu tiếp theo cũng được đề cập đến trong bài báo này.

2. Xây dựng thuật toán

Thuật toán được xây dựng trên cơ sở kế thừa và bổ sung nghiên cứu của Krajnik và cộng sự [14].



Hình 1. Sơ đồ phân tích động lực học chi tiết gia công [14]

Krajnik và cộng sự [14] tiến hành phân tích động lực học vật mài với sơ đồ phân tích như trên Hình 1, từ đó họ đưa ra các phương trình (1) đến (13). Trên cơ sở những phương trình đó họ đã xây dựng thuật toán để dự đoán được các thông số đầu ra của quá trình mài, bao gồm: mức độ ổn định hình học (G_n); lượng dịch tâm chi tiết (x_{ct} , y_{ct}); độ lớn của vấu lồi trên bề mặt chi tiết (Ar_{ct}) và hình dạng bề mặt chi tiết ($r_{ct}(\theta)$).

$$m_{ct}\ddot{x}_{ct}(t) = F_n^{dm} + F_n^{tt} \cos \alpha_g - F_t^{tt} \sin \alpha_g + F_n^{dd} \cos \beta_G + F_t^{dd} \sin \beta_G \quad (1)$$

$$m_{ct}\ddot{y}_{ct}(t) = F_t^{dm} - F_n^{tt} \sin \alpha_g - F_t^{tt} \cos \alpha_g - F_n^{dd} \sin \beta_G + F_t^{dd} \cos \beta_G \quad (2)$$

$$F_n^{dm} = k_{dm}(x_{ud}(t) - x_{ct}(t) + \Delta r_{ct}(t, 0)) + c_{dm} \left(\dot{x}_{ud}(t) - \dot{x}_{ct}(t) + \frac{\partial \Delta r_{ct}}{\partial t}(t, 0) \right) \quad (3)$$

$$F_t^{dm} = \mu_{dm} F_n^{dm} \quad (4)$$

$$F_n^{tt} = k_{tt}(-x_{ct}(t) \cos \alpha_g + y_{ct}(t) \sin \alpha_g + \Delta r_{ct}(t, \alpha_g)) + c_{tt} \left(-\dot{x}_{ct}(t) \cos \alpha_g + \dot{y}_{ct}(t) \sin \alpha_g + \frac{\partial \Delta r_{ct}}{\partial t}(t, \alpha_g) \right) \quad (5)$$

$$F_t^{tt} = \mu_{tt} F_n^{tt} \quad (6)$$

$$F_n^{dd} = k_{dd}(-x_{ct}(t) \cos \beta_G + y_{ct}(t) \sin \beta_G + \Delta r_{ct}(t, \beta_G)) + c_{dd} \left(-\dot{x}_{ct}(t) \cos \beta_G + \dot{y}_{ct}(t) \sin \beta_G + \frac{\partial \Delta r_{ct}}{\partial t}(t, \beta_G) \right) \quad (7)$$

$$F_t^{dd} = \mu_{tt} F_n^{tt} - \mu_{dm} F_n^{dm} \quad (8)$$

trong đó: m_{ct} là khối lượng của chi tiết; $x_{ct}(t)$, $y_{ct}(t)$ là lượng dịch chuyển của tâm chi tiết theo thời gian t theo phương x phương y ; F_n^{dm} , F_n^{tt} , F_n^{dd} là các thành phần lực pháp tuyến trên bề mặt đá mài, bề mặt thanh tỳ và bề mặt đá dẫn tại điểm tiếp xúc với bề mặt chi tiết; F_t^{dm} , F_t^{tt} , F_t^{dd} là các thành phần lực tiếp tuyến trên bề mặt đá mài, bề mặt thanh tỳ và bề mặt đá dẫn tại điểm tiếp xúc với bề mặt chi tiết; α_g là góc hợp bởi pháp tuyến chung của bề mặt đá mài - bề mặt chi tiết và pháp tuyến chung của bề mặt thanh tỳ - bề mặt chi tiết; β_G là góc hợp bởi pháp tuyến chung của bề mặt đá mài - bề mặt chi tiết và pháp tuyến chung của bề mặt

đá dẫn - bề mặt chi tiết; K_{dm}, K_{dd}, K_{tt} là độ cứng đàn hồi của bề mặt đá mài, bề mặt đá dẫn và bề mặt thanh tỳ; c_{dm}, c_{dd}, c_{tt} là hệ số giảm chấn của bề mặt đá mài, bề mặt đá dẫn và bề mặt thanh tỳ; $\mu_{dm}, \mu_{dd}, \mu_{tt}$ là hệ số ma sát tại điểm tiếp xúc giữa bề mặt chi tiết - bề mặt đá mài, bề mặt chi tiết - bề mặt đá dẫn và bề mặt chi tiết - bề mặt thanh tỳ.

Trong đó, theo Krajnik và cộng sự [14]: các hệ số $K_{dm}, K_{dd}, K_{tt}, c_{dm}, c_{dd}, c_{tt}, \mu_{dm}, \mu_{dd}, \mu_{tt}$ là những hệ số thường gặp nhiều khó khăn khi xác định giá trị của chúng. Tuy nhiên những hệ số đó ảnh hưởng không nhiều đến các thông số đầu ra của chương trình mô phỏng; $x_{ud}(t)$ là lượng dịch chuyển của ụ đá theo phương pháp tuyến với bề mặt chi tiết tại điểm tiếp xúc với đá mài sau khoảng thời gian t . Biên dạng chi tiết gia công được thể hiện như sau:

$$r_{ct(\theta)} = \sqrt{(r_{ct(\theta)}^* \cos \theta + x_{ct(\theta)})^2 + (r_{ct(\theta)}^* \sin \theta - y_{ct(\theta)})^2} \quad (9)$$

trong đó: $r_{ct(\theta)}^*$ biểu diễn biên dạng bề mặt chi tiết tại thời điểm ban đầu ($r_{ct(\theta)}^* = r_{ct(0)}$); $x_{ct(\theta)}, y_{ct(\theta)}$ là lượng dịch chuyển tâm chi tiết theo phương x và phương y (Hình 1) và được xác định theo:

$$x_{ct(\theta)} = \frac{2 \int_0^{2\pi} r_{ct(\theta)}^3 \cdot \cos(\theta) d\theta}{3 \int_0^{2\pi} r_{ct(\theta)}^2 d\theta} \quad (10)$$

$$y_{ct(\theta)} = \frac{2 \int_0^{2\pi} r_{ct(\theta)}^3 \cdot \sin(\theta) d\theta}{3 \int_0^{2\pi} r_{ct(\theta)}^2 d\theta} \quad (11)$$

Độ lớn của vấu lồi hình thành trên bề mặt chi tiết (Ar_{ctm}) là khoảng cách từ đỉnh của vấu lồi đến kích thước danh nghĩa, được xác định theo công thức sau:

$$Ar_{ctm} = \sqrt{\left(\frac{2}{N} \sum_{\zeta=1}^N r_{ct(\theta_\zeta)} \sin(n\theta_\zeta) \right)^2 + \left(\frac{2}{N} \sum_{\zeta=1}^N r_{ct(\theta_\zeta)} \cos(n\theta_\zeta) \right)^2} \quad (12)$$

trong đó: $\theta_\zeta = \zeta \Delta \theta$; ($\zeta = 0, 1, \dots, m$); $\Delta \theta = 2\pi/m$

Với m là số phần chia trên chu vi đường kính chi tiết (giá trị của m được chọn phụ thuộc vào người viết chương trình mô phỏng). Số vấu lồi hình thành trên bề mặt chi tiết được xác định thông qua mức độ ổn định hình học G_n . Ứng với $n=i$ mà G_i có giá trị nhỏ nhất thì bề mặt chi tiết sẽ có dạng i vấu lồi. G_n là một đại lượng không thứ nguyên, được xác định thông qua các thông số hình học của hệ thống công nghệ theo công thức sau:

$$G_n = 1 + \frac{\sin(\alpha_g) \cdot \cos(n \cdot \beta_g) - \sin(\beta_g) \cos(n \cdot \alpha_g)}{\sin(\beta_g - \alpha_g)} \quad (13)$$

Trong nghiên cứu này, các phương trình (1) đến (13) của Krajnik và cộng sự [14] được sử dụng để xây dựng thuật toán mô phỏng quá trình mài vô tâm chạy dao hướng kính với sơ đồ khối như trong Hình 2. Với thuật toán này, ngoài việc dự đoán được các thông số $G_n, x_{ct}, y_{ct}, Ar_{ct}$ và $r_{ct(\theta)}$ như trong nghiên cứu của Krajnik và cộng sự thì còn dự đoán được Δ của bề mặt chi tiết.



3. Kết quả và thảo luận

Chương trình mô phỏng được viết bằng ngôn ngữ Visual Basic trong Excel với thuật toán trên Hình 2 để dự đoán các thông số $G_n, x_{ct}, y_{ct}, Ar_{ct}, r_{ct(\theta)}$ và Δ . Tuy nhiên, trong nghiên cứu này chỉ trình bày qui luật ảnh hưởng của các thông số v_{dd}, S_k, β đến Δ , sau đó so sánh với kết quả thí nghiệm. Giá trị các thông số đầu vào của chương trình mô phỏng được trình bày trong Bảng 1.

Việc xác định, lựa chọn giá trị của các thông số trong Bảng 1 dựa theo cơ sở sau:

- Vì theo Krajnik và cộng sự [14] thì các hệ số $K_{dm}, K_{dd}, K_{tt}, c_{dm}, c_{dd}, c_{tt}, \mu_{dm}, \mu_{dd}, \mu_{tt}$ là những hệ số thường gặp nhiều khó khăn khi xác định giá trị của chúng. Tuy nhiên những hệ số đó ảnh hưởng không nhiều đến các thông số đầu ra của chương trình mô phỏng. Do đó các hệ số này được chọn theo các tài liệu đã công bố như sau: các thông số K_p, c_i được chọn theo Krajnik và cộng sự [14].



Bảng 1. Giá trị các thông số đầu vào của chương trình mô phỏng

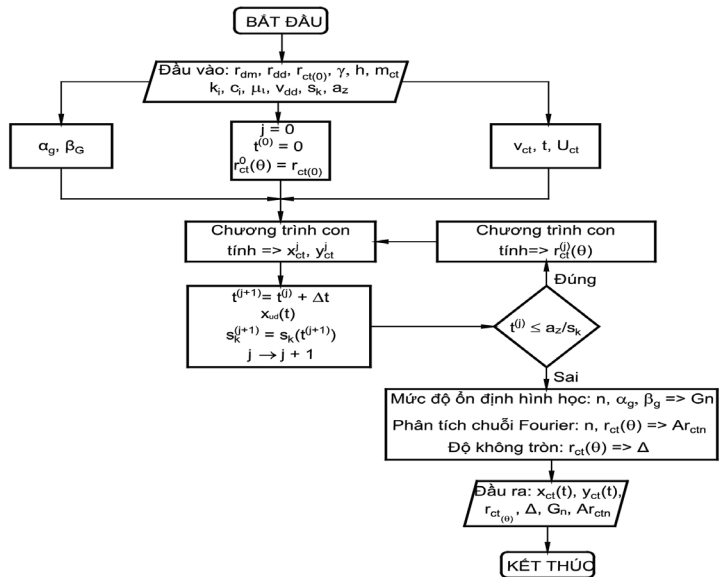
Thông số	Giá trị	Tài liệu	Thông số	Giá trị	Tài liệu
K_{dm} (N/m)	$2,5 \cdot 10^8$	[14]	r_{dm} (mm)	250	Theo điều kiện gia công cụ thể [15,16]
K_{dd} (N/m)	10^9		r_{dd} (mm)	136,5	
K_{tt} (N/m)	$3,33 \cdot 10^8$		r_{ct} (mm)	15	
c_{tt} (Ns/m)	0		m (kg)	0,63	
c_{dm} (Ns/m)	1716		a_z (mm)	0,05	
c_{dd} (Ns/m)	0		γ (°)	30	
μ_{dd}	1		v_{dd} (m/min)	$10,3 \div 53,2$	
μ_{dm}	0,3	S_k ($\mu\text{m/s}$)	$1 \div 21$		
μ_{tt}	0,15	β (°)	$2,4 \div 14,4$		

- Các hệ số μ_i được chọn theo lời khuyên khi gia công tinh trong các tài liệu [3,5,14]; Các thông số còn lại được chọn theo điều kiện gia công cụ thể trong các nghiên cứu thực nghiệm đã công bố [15,16]. Đây cũng chính là những kết quả thực nghiệm được dùng để so sánh với kết quả mô phỏng được trình bày trong bài báo này, được thể hiện trong các Hình 3, 4 và 5.

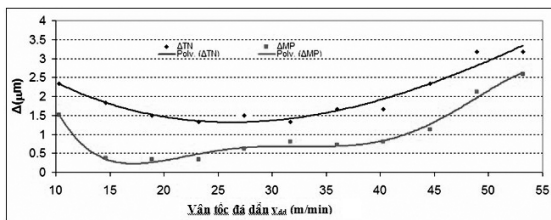
Quan sát các hình (3); (4) và (5) cho thấy:

- Quy luật ảnh hưởng của v_{dd} , S_k , β đến Δ khi mô phỏng phù hợp với khi thí nghiệm.

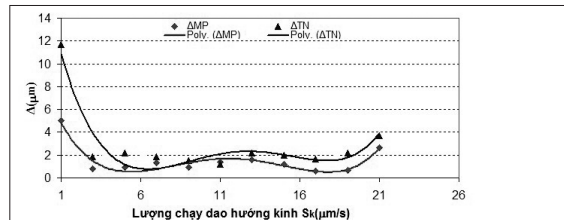
- Ứng với khoảng giá trị của các thông số: $\beta \approx 6 \div 10^\circ$, $S_k \approx 3 \div 20 (\mu\text{m/s})$ và $v_{dd} \approx 15 \div 40 (\text{m/min})$ thì Δ có giá trị nhỏ và tương đối ổn định.



Hình 2. Thuật toán mô phỏng quá trình mài vô tâm chạy dao hướng kính



Hình 3. Ảnh hưởng của v_{dd} đến Δ khi thí nghiệm [15] và khi mô phỏng

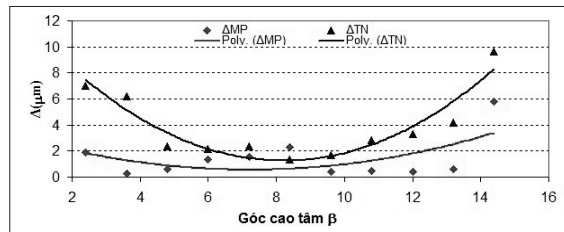


Hình 4. Ảnh hưởng của S_k đến Δ khi thí nghiệm [16] và khi mô phỏng

4. Kết luận

- Đã nghiên cứu bổ sung và hoàn thiện phương pháp mô phỏng của Krajnik và cộng sự để xây dựng thuật toán và chương trình mô phỏng dự đoán quy luật ảnh hưởng của các thông số v_{dd} , S_k , β đến Δ của bề mặt chi tiết.

- Quy luật ảnh hưởng của v_{dd} , S_k , β đến Δ khi mô phỏng phù hợp với khi thực nghiệm. Từ quy luật



Hình 5. Ảnh hưởng của β đến Δ khi thí nghiệm [15] và khi mô phỏng

đó cho phép xác định được khoảng giá trị của các thông số $v_{\text{đđ}}$, S_k , β đảm bảo khi gia công bề mặt chi tiết có Δ nhỏ.

- Để kết quả mô phỏng càng sát hơn nữa so với kết quả thí nghiệm (về trị số của Δ), cần nghiên cứu đưa thêm vào chương trình mô phỏng những thông số có ảnh hưởng đáng kể đến Δ như: độ chính xác ban đầu của phôi, chế độ sửa đá mài, chế độ sửa đá dẫn, công nghệ trơn nguội,...

Tài liệu tham khảo

1. Lưu Văn Nhàng (2003), *Kỹ thuật Mài kim loại*, Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
2. Nguyễn Văn Tinh (1978), *Kỹ thuật mài*, Nxb Công nhân kỹ thuật, Hà Nội.
3. Marinescu L.D., Uhlmann E., Brian R.W. (2006), *Handbook of machining with grinding wheels*, CRC Press Taylor & Francis Group.
4. Đỗ Đức Trung, Trần Minh Trường, Phạm Văn Đông, Nguyễn Xuân Đĩnh (2015), "Mối quan hệ giữa lượng dịch chuyển của bàn máy với một số thông số hình học của hệ thống công nghệ khi mài vô tâm chạy dao hướng kính", *Tạp chí Khoa học công nghệ Đại học Công nghiệp Hà Nội*, 1(29):26-28.
5. Dzebo S. (2009), *Investigation of methods to improve process performance in centerless grinding of inconel 718 and Ti-6AL-4V superalloys*, In Partial Fulfillment of the Reguiements for the Degree of Master of Science in the George W, Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology.
6. Rowe W.B., Barash M.M. (1964), "Computer method for investigating the inherent accuracy of centerless grinding", *Int. J. Mach. Tool Des. Res*, 1(4):91-116.
7. Pande S.S., Naik A.R., Somasundaram S. (1993), "Computer simulation of the plunge centerless grinding process", *Journal of Materials Processing Technology*, 1(39):179-189.
8. Subramanya Udupa N.G., Shubnmugam M.S., Radhakristinan V. (1987), "Influence of workpiece position on roundness error and surface finish in centerless grinding", *Int. I. Mach. Tools Manufact*, 27(1): 77-89.
9. Yonetsu S. (1959), "Forming mechanism of cylindrical work in centerless grinding, Fujihara Memorial Faculty of Engineering", *Fujihara*, 42(6):203-221.
10. Wu Y., Syoji K., Kuriyagawa T., Tachibana T. (1996), "Studies on Centerless Grinding (2nd Report) – Optimum Grinding Condition", *Journal of the Society for Precision Engineering*, 62(3):433-437.
11. Phan Bùi Khôi, Ngô Cường, Đỗ Đức Trung (2014), "Mô phỏng quá trình mài vô tâm chạy dao hướng kính", *Tạp chí Khoa học công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học công nghệ Việt Nam*, 52(5):617-624.
12. Nakkeeran P.R., Radhakrishnan V. (1990), "A Study on the effect of regulating wheel error on the roundness of workpiece in centerless grinding by computer simulation", *Int. J. Mach - Tools Manufact*, 30(2):191-201.
13. Đỗ Đức Trung, Nguyễn Quốc Tuấn, Phạm Văn Đông (2016), "Mô phỏng ảnh hưởng của một số thông số động - hình học của quá trình gia công đến độ không tròn của chi tiết khi mài vô tâm chạy dao hướng kính", *Tạp chí Khoa học công nghệ - Đại học công nghiệp Hà Nội*, 1(37):43-46.
14. Krajnik P., Drazumeric R., Meyer B., Kopac J., Zeppenfeld C. (2008), "Simulation of workpiece forming and centre displacement in plunge centreless grinding", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1(48):824-831.
15. Ngô Cường, Phan Bùi Khôi, Đỗ Đức Trung (2015), "Ảnh hưởng của vận tốc đá dẫn và góc cao tâm của chi tiết đến độ nhám và độ không tròn của chi tiết khi mài vô tâm chạy dao hướng kính", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 1(86):1-4.
16. Đỗ Đức Trung, Ngô Cường, Phan Bùi Khôi, Phan Thanh Chương, Nguyễn Thành Chung (2014), "Nghiên cứu ảnh hưởng của lượng chạy dao đến chất lượng bề mặt gia công thép 20X thấm Các bon khi mài vô tâm chạy dao hướng kính", *Tạp chí Khoa học công nghệ Đại học Thái Nguyên*, 128(13):17-22.