

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA RUNG ĐỘNG SIÊU ÂM TÍCH HỢP KHI TIỆN CỨNG ĐẾN ĐỘ CHÍNH XÁC HÌNH DÁNG HÌNH HỌC CỦA CHI TIẾT

INVESTIGATE THE EFFECT OF ULTRASONIC VIBRATION PARAMETERS ASSISTED HARD TURNING ON GEOMETRIC ACCURACY

Hoàng Trung Kiên

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong bài báo này, ưu điểm của quá trình tiện cứng có hỗ trợ của rung động siêu âm được khảo sát, tập trung vào ảnh hưởng của thông số rung siêu âm đến độ tròn, độ trụ của chi tiết sau gia công. Các thí nghiệm được tiến hành cho cả quá trình tiện cứng thông thường và tiện cứng có trợ giúp của rung siêu âm với thép 9CrSi đã tôi đạt độ cứng 58-60 HRC. Thiết bị tạo rung cho đầu dao tiện gắn mảnh CBN là một Piezo có tần số rung 28KHz, biên độ 2-10 μm . Số liệu thực nghiệm được phân tích so sánh thông qua kiểm nghiệm so sánh t (2 sample t-test) trên 18 mẫu đo. Kết quả cho thấy, tiện cứng có sự trợ giúp của rung động siêu âm giúp độ tròn, độ trụ tăng. Quá trình gia công không sử dụng dung dịch trơn nguội giúp giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Từ khóa: Tiện cứng; Thép 9CrSi; Rung động trợ giúp tiện cứng; Độ tròn; Độ trụ.

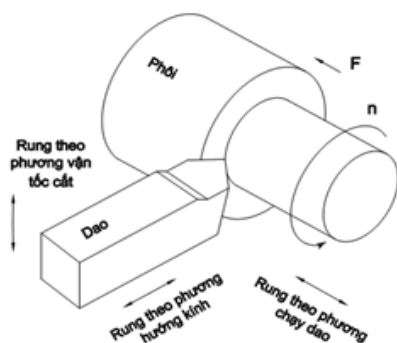
ABSTRACT

In this paper, the advantages of Ultrasonic assisted hard turning (UAHT) process have been investigated, focusing on the impact of Ultrasonics vibration parameters on roundness and cylindricity of machined component. Several experiments have been performed on 58-60HRC hardened steel 9CrSi for both Conventional hard turning (CHT) and UAHT. Vibration source is an Piezoelectric Transducer at frequency 28KHz and amplitude 2-10 μm . Roundness and cylindricity obtained from 18 samples were then analyzed and compared using the 2 sample t-test method. The results obtained show that the ultrasonic vibration can improve the roundness and cylindricity. The UAHT has been also carried out under dry conditions in order to meet the stringent environmental obligations.

Keywords: Hard turning; 9CrSi steel; Ultrasonic assisted hard turning; Roundness; Cylindricity.

1. GIỚI THIỆU

Tiện cứng là quá trình tiện vật liệu có độ cứng từ 45-70 HRC [1, 2]. Tiện cứng tuy có ưu điểm vượt trội và có thể thay thế mài trong nhiều trường hợp [3, 4] nhưng vẫn còn tồn tại một số trở ngại lớn. Do phôi có độ cứng cao nên lực cắt lớn, dụng cụ cắt mòn nhanh; tại vùng cắt nhiệt phát sinh cao làm giảm chất lượng bề mặt và độ chính xác hình dáng hình học của chi tiết gia công [5 - 8]. Để khắc phục những nhược điểm nêu trên của tiện cứng, tiện cứng có trợ giúp của rung động siêu âm là phương pháp thay thế phù hợp [9,10]. Nguyên tắc chung của phương pháp này là bổ sung một nguồn rung động với tần số và biên độ phù hợp lên dao tiện theo phương vận tốc cắt, phương chạy dao hoặc phương hướng kính trong quá trình tiện [11, 12] (Hình 1); trong đó rung động theo phương vận tốc cắt được chứng minh là cho chất lượng bề mặt chi tiết tốt nhất [13, 14]. Rung động được sử dụng thường là rung siêu âm có tần số cao (20-40 KHz) và biên độ nhỏ (2-10 μ m).



Hình 1. Mô hình tiện với rung động trợ giúp

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, khi tiện có tích hợp rung siêu âm, quá trình cắt liên tục được thay bởi quá trình cắt gián đoạn [15], tỷ lệ tiếp xúc giữa phôi và dụng cụ cắt giảm [16], không hình thành lẹo dao [17], điều kiện bề phôi được cải thiện, vì vậy, lực cắt giảm, tuổi bền dụng cụ tăng, chất lượng bề mặt [18, 19]

và độ chính xác hình dáng hình học chi tiết gia công được nâng cao [20]. Tuy nhiên, các thiết bị tạo rung nói trên có kết cấu cồng kềnh, phức tạp và đắt tiền. Chính vì vậy, ứng dụng khai thác ưu điểm của rung động trợ giúp gia công tiện vẫn còn hạn chế.

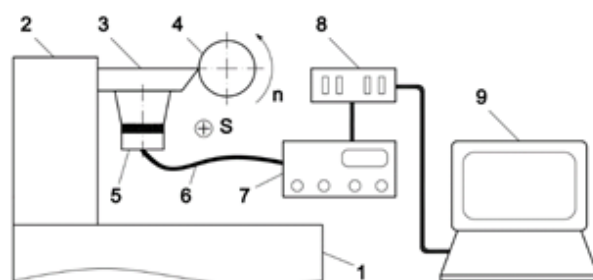
Bài báo này, giới thiệu một nghiên cứu thực nghiệm nhằm khai thác cơ cấu rung siêu âm tần số cao $f = 28$ KHz, biên độ nhỏ $a = 5\mu$ m, cấp rung theo phương của vận tốc cắt vào quá trình tiện mác thép thông dụng 9CrSi đã tôi đạt độ cứng 58 - 60 HRC. Các thí nghiệm được tiến hành cho cả quá trình tiện cứng thông thường và tiện cứng có tích hợp rung siêu âm. Kết quả được phân tích thông qua kiểm nghiệm so sánh t cho thấy nhám bề mặt và độ tròn, độ trụ khi tiện cứng có rung được cải thiện rõ rệt so với tiện cứng truyền thống. Quá trình cắt cũng không sử dụng dung dịch trơn nguội nên giảm chi phí gia công, thân thiện với môi trường.

2. THIẾT KẾ VÀ TRIỂN KHAI THÍ NGHIỆM

2.1. Hệ thống công nghệ và đồ gá tạo rung

a) Hệ thống công nghệ

Hệ thống công nghệ của phương án tiện có rung động trợ giúp được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Hệ thống công nghệ tiện rung:

- 1) Máy tiện; 2) Đài gá dao; 3) Dao tiện; 4) Phôi;
5) Piezo; 6) Cấp dữ liệu; 7) Máy phát xung;
8) Bộ chuyển đổi; 9) Máy tính.

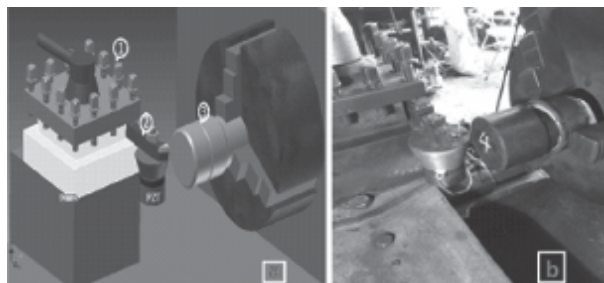


b) Nguyên tắc tạo rung động bổ sung

Nguồn tạo rung là các PZT (Piezoelectric Transducers) dựa trên cơ sở của hiệu ứng áp điện. Khi đặt lên các PZT này một điện áp xoay chiều thì các tinh thể bị biến dạng tạo ra chuyển vị, từ đó hình thành một rung động siêu âm. Ưu điểm của phương pháp này là có thể tạo ra rung động với công suất rất lớn, tần số rung cao, biên độ nhỏ, ổn định, rất phù hợp với quá trình tiện cứng để nâng cao chất lượng bề mặt và độ chính xác hình dáng hình học chi tiết gia công.

c) Thiết kế đồ gá tiện khai thác rung

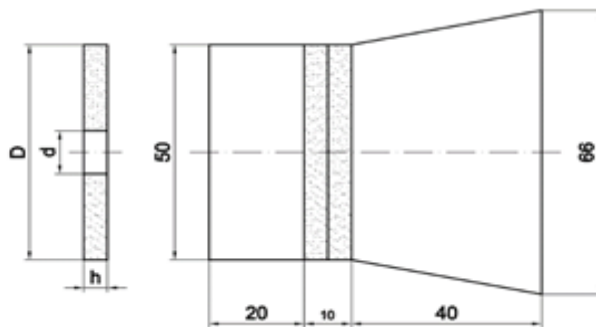
Dựa trên nguyên tắc tạo rung đã trình bày ở trên, mô hình gá rung đã được thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh. Hình 3, trình bày kết cấu của hệ thống gá đặt tiện rung này.



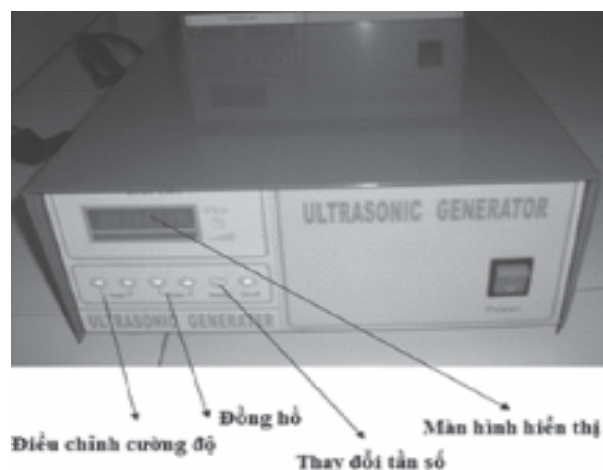
Hình 3. a) Mô hình thiết kế và (b) thiết bị gá rung thực tế

Trên Hình 3 (a), Piezo được gắn trên phần đầu của dao tiện để tạo ra một rung động siêu âm cho mảnh dao theo phương vận tốc cắt. Ở đây, sử dụng 2 tấm PZT loại PZT-4 dạng vành khăn, kích thước $D \times d \times h = 50 \times 11 \times 5$ mm, tần số rung lớn nhất là 28 KHz, biên độ $2 \div 10 \mu\text{m}$ (Hình 4). Dao tiện (2) và Piezo được gá cách điện trên đài dao (1) của máy tiện. Hai cực của Piezo được nối với máy phát điện áp xung tần số cao (Hình 5). Máy phát điện áp xung tần số cao được sử dụng là máy

Ultrasonic Generator do Beijing Ultrasonic sản xuất với công suất 1200W, tần số phát điện áp xung lớn nhất là 40 KHz. Máy chạy điện áp đầu vào 110-120V/60Hz, dòng định mức là 4.5A. Phôi số (3) được kẹp cách điện trên mâm cặp. Ảnh chụp đồ gá lắp trên máy được minh họa trên hình 3(b).



Hình 4. Hình dáng và kích thước Piezo



Hình 5. Máy phát điện áp xung

2.2. Kế hoạch thí nghiệm

Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm là nhằm so sánh độ tròn, độ trụ của chi tiết sau gia công giữa 2 phương pháp tiện cứng truyền thống và tiện cứng có rung động trợ giúp. Vì vậy, số mẫu thí nghiệm cần thiết được xác định theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm so sánh [21]. Các số liệu thí nghiệm được xử lý bằng phần mềm thiết kế thí nghiệm Minitab®.

Số mẫu thí nghiệm cần thiết được xác định là 18 mẫu cho mỗi phương pháp tiện (Hình 6).

Power and Sample Size				
2-Sample t Test				
Testing mean 1 = mean 2 (versus >)				
Calculating power for mean1=mean2 + difference				
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1				
	Sample	Target		
Difference	Size	Power	Actual Power	
1	18	0.9	0.902272	
The sample size is for each group.				

Hình 6. Tính toán số lượng mẫu thí nghiệm cần thiết

2.3. Triển khai thí nghiệm

Dựa vào số lượng mẫu cần thiết đã xác định, tiến hành thí nghiệm tiện cứng 18 bề mặt ở chế độ tiện không có rung trợ giúp, 18 bề mặt khác được tiện trong điều kiện có rung bổ sung. Các mẫu phôi thép 9CrSi đã tôi có cùng chiều dài phần cắt 40 mm, đường kính 63 mm (Hình 3b). Cơ tính của phôi được liệt kê trong bảng 1; thành phần hóa học của vật liệu phôi được trình bày trong bảng 2.

Bảng 1. Cơ tính của phôi Thép 9CrSi độ cứng 58 - 60 HRC:

Mác vật liệu	Độ bền (MPa)	Độ cứng (HRC)	Độ dẫn dài tương đối (%)	Mô đun đàn hồi (GPa)
Thép 9CrSi	214	58 - 60	5	70,3

Bảng 2. Thành phần hóa học của phôi Thép 9CrSi, độ cứng 58 - 60 HRC:

Nguyên tố hoá học	C	Si	P	Mn	Ni	Cr	Mo
Hàm lượng (%)	0,8623	1,2351	0,0241	0,58613	0,03216	1,113	0,01917

Cả 2 chế độ tiện thường và tiện rung cùng được thực hiện trên máy tiện MAZAK. Dao tiện gắn mảnh CBN có góc trước là 15^0 ; góc sau 12^0 ; góc nghiêng chính 15^0 ; góc nghiêng phụ 10^0 . Tất cả các bề mặt phôi được tiện với cùng chế độ cắt ở tốc độ quay của trục chính $n = 1050$ v/p, lượng chạy dao $S = 0.2$ mm/vg; gia công không tưới nguội. Phôi sau khi tiện được đo độ tròn bằng Panme Mitutoyo 293-342-30, độ phân giải 0.001mm. Độ trụ được đo bằng đồng hồ so Mitutoyo 543-491B, độ phân giải 0.001mm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thực nghiệm

Bảng 3. Sai lệch độ tròn và độ trụ của các bề mặt tiện:

Số phôi	Sai lệch độ tròn		Sai lệch độ trụ	
	Tiện thường (mm)	Tiện rung (mm)	Tiện thường (mm)	Tiện rung (mm)
1	0,01	0,005	0,05	0,03
2	0,01	0,010	0,04	0,03
3	0,04	0,005	0,05	0,03
4	0,015	0,005	0,03	0,03
5	0,01	0,005	0,05	0,03
6	0,01	0,005	0,05	0,03



7	0,01	0,005	0,03	0,03
8	0,01	0,010	0,06	0,03
9	0,01	0,005	0,05	0,02
10	0,02	0,005	0,04	0,02
11	0,02	0,005	0,04	0,03
12	0,01	0,005	0,05	0,02
13	0,02	0,005	0,05	0,02
14	0,01	0,005	0,04	0,02
15	0,01	0,005	0,04	0,03
16	0,01	0,005	0,06	0,02
17	0,01	0,005	0,05	0,02
18	0,01	0,005	0,05	0,03

Kết quả thực nghiệm chứng minh và chỉ ra, đó là khi tiện rung siêu âm với tần số cao và biên độ nhỏ, độ tròn và độ trụ được cải thiện đáng kể (Bảng 3).

3.2. Phân tích và đánh giá

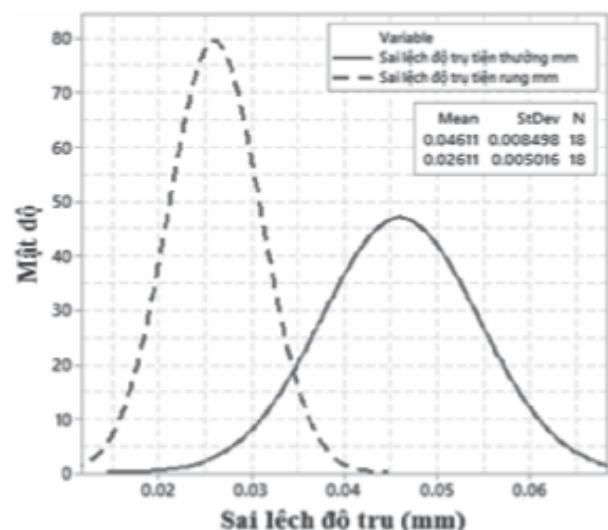
Để đánh giá độ chính xác về hình dáng hình học của chi tiết sau gia công, độ tròn và độ trụ được khảo sát (Bảng 3). Sử dụng phép phân tích thực nghiệm so sánh “2 samples t-test” ta thu được kết quả của phép so sánh độ tròn và độ trụ bề mặt tiện như sau:

Two-Sample T-Test and CI: Sai lệch độ tròn tiện thường mm, Sai lệch độ tròn tiện rung mm					
Two-sample T for Sai lệch độ tròn tiện thường mm vs Sai lệch độ tròn tiện rung mm					
	N	Mean	StDev	SE Mean	
Sai lệch độ tròn tiện th	18	0.01361	0.00763	0.0018	
Sai lệch độ tròn tiện ru	18	0.00556	0.00162	0.00038	
Difference = μ (Sai lệch độ tròn tiện thường mm) - μ (Sai lệch độ tròn tiện rung mm)					
Estimate for difference: 0.00806					
95% lower bound for difference: 0.00487					
T-Test of difference = 0.0048 (vs >): T-Value = 1.77					
P-Value = 0.047 DF = 18					

Hình 7. Kết quả so sánh sai lệch độ tròn

Từ kết quả thống kê trên Hình 7, có thể thấy sai lệch độ tròn trung bình của các bề mặt tiện thường là 0,01361 mm; trong khi giá trị này ở tiện rung là 0,00556 mm. Nghĩa là, sai lệch độ tròn của tiện rung chỉ bằng khoảng gần

1/3 lần so với sai lệch độ tròn khi tiện thường.



Hình 8. Phân bố sai lệch độ tròn; nét liền cho bề mặt tiện thường, nét đứt cho bề mặt tiện rung

Hình 8 chỉ ra rằng sai lệch độ tròn bề mặt tiện rung so với tiện thường không những có giá trị trung bình nhỏ hơn (0,00556 mm so với 0,01361 mm) mà còn có phạm vi phân tán nhỏ hơn hẳn (Độ lệch chuẩn chỉ là 0,0016 so với 0,0076). Điều này khẳng định lại rằng tập các bề mặt trụ ngoài của tiện rung có giá trị ổn định hơn nhiều so với các bề mặt trụ tiện thường.

Two-Sample T-Test and CI: Sai lệch độ trụ tiện thường mm, Sai lệch độ trụ tiện rung mm

Two-sample T for Sai lệch độ trụ tiện thường mm vs Sai lệch độ trụ tiện rung mm

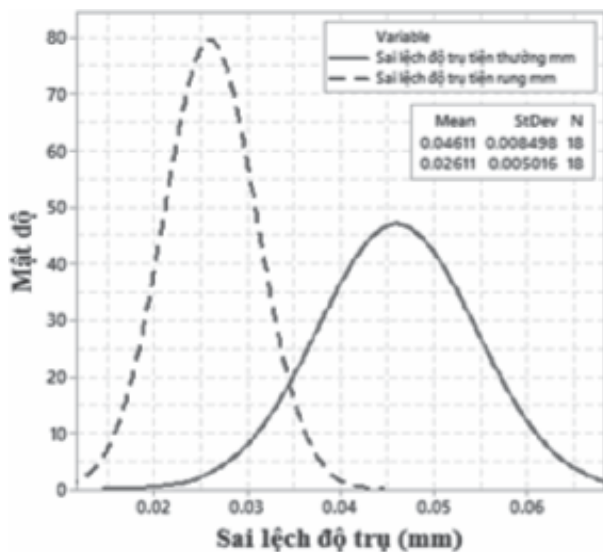
	N	Mean	StDev	SE Mean
Sai lệch độ trụ tiện thường mm	18	0.04611	0.00850	0.0020
Sai lệch độ trụ tiện rung mm	18	0.02611	0.00502	0.0012

Difference = μ (Sai lệch độ trụ tiện thường mm) - μ (Sai lệch độ trụ tiện rung mm)

Estimate for difference: 0.02000
 95% lower bound for difference: 0.01604
 T-Test of difference = 0.016 (vs >): T-Value = 1.72
 P-Value = 0.048 DF = 27

Hình 9. Kết quả so sánh sai lệch độ trụ

Về độ trụ, kết quả thống kê trên hình 9 cho thấy sai lệch độ trụ trung bình của các bề mặt tiện thường là 0,046 mm; trong khi giá trị này ở tiện rung khoảng 0,026 mm. Nghĩa là, sai lệch độ trụ của tiện rung chỉ bằng khoảng gần 1/2 lần so với sai lệch độ trụ khi tiện thường.



Hình 10. Phân bố sai lệch độ trụ; nét liền cho bề mặt tiện thường, nét đứt cho bề mặt tiện rung

Hình 10 cho thấy rằng, sai lệch độ trụ bề mặt tiện rung so với tiện thường không những có giá trị trung bình nhỏ hơn (0,026 mm so với 0,046 mm) mà còn có phạm vi phân tán nhỏ hơn hẳn (Độ lệch chuẩn chỉ là 0,005 so với 0,0085). Từ đó góp phần khẳng định lại kết luận “tập các bề mặt trụ ngoài của tiện rung có giá trị ổn định hơn nhiều so với các bề mặt trụ tiện thường”.

4. KẾT LUẬN

Một cơ cấu rung đơn giản, chi phí thấp, dễ vận hành đã được khai thác để bổ sung rung động siêu âm biên độ nhỏ, tần số cao vào quá trình tiện cứng. Kết quả phân tích cho thấy sử dụng rung động tần số cao trợ giúp gia công tiện cứng đã mang lại những cải thiện rõ rệt: Tăng độ chính xác hình dáng hình học (độ tròn, độ trụ tăng). Các nghiên cứu tiếp theo sẽ phân tích và đánh giá về lực cắt, khả năng bề phoi, mòn dụng cụ của tiện cứng có rung so với tiện cứng truyền thống. ❖

Ngày nhận bài: 16/5/2022

Ngày phản biện: 26/5/2022

Tài liệu tham khảo:

- [1]. König W., Klinger M., Link R. (1990), *Machining Hard Materials with Geometrically Defined Cutting Edges-Field of Applications and Limitations*, Annals of the CIRP, 39, pp. 61-64.
- [2]. Liu X. L., Wen D. H., Li Z. J., Xiao L., Yan F. G. (2002), *Experimental study on hardturning hardened GCr15 steel with PCBN tool*, Journal of Materials Processing Technology, 129, pp. 217-221.
- [3]. Rech J., Moisan A. (2003), *Surface integrity in finish hard turning of case hardened steels*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43, pp. 543-550.
- [4]. Schwach D. W., Guo Y. B. (2005), *Feasibility of producing optimal surface integrity by process design in hard turning*, Materials Science and Engineering A, 395, pp. 116-123.
- [5]. Nguyen Van Du, Cao Thanh Long (2011), *Optimization of cutting temperature in finish turning small holes on hardened X10CR13*, Journal of science and technology, 4, pp. 32-35.
- [6]. Shiple, T., (1982), *Hard Turning—A New Alternative to Grinding*, The Carbide and Tool Journal, Jan.–Feb.



- [7]. Liu C. R., Salah R. Agha. (2000), *Experimental study on the performance of superfinish hard turned surfaces in rolling contact*, Wear, 244, pp. 52-59.
- [8]. Viktoria Bana (2006), *Manufacturing of high preciseion bores*, Doctoral thesis 2006, Delft University of Technology, Holand.
- [9]. Mitrofanov, A.V., Babitsky, V.I., Silberschmidt, V.V., 2003. *Finite element simulations of ultrasonically assisted turning*, Computational Materials Science 28, p. 645.
- [10]. Babitsky, V.I., Mitrofanov, A.V., Silberschmidt, V.V., 2004. *Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study*, Ultrasonics, 42, p. 81.
- [11]. C. Skelton, 1969. *Effect of ultrasonic vibration on the turning process*, Int.J. Mach. Tool Design Res. 9, 363–374.
- [12]. V.I. Babitsky, A.V. Mitrofanov, V.V. Silberschmidt, 2004. *Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study*, Ultrasonics 42, 81-86.
- [13]. Kumabe J. *Vibratory cutting*, Tokyo (in Japanese), 1979.
- [14]. Ahmed N., Mitrofanov A.V., Babitsky V.I., Silberschmidt V.V., 2007. *Analysis of forces in ultrasonically assisted turning*, Journal of Sound and Vibration, Vol. 308: pp. 845 - 854.
- [15]. Suzuki, N., Masuda, S., Haritani, M. and Shamoto, E., 2004. *Ultraprecision micromachining of brittle materials by applying ultrasonic elliptical vibration cutting. Proceedings of the International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science*, Nagoya, Japan, pp.133-138.
- [16]. Patil, S., Joshi, S., Tewari, A., & Joshi, S. S., 2014. *Modelling and simulation of effect of ultrasonic vibrations on machining of Ti6Al4V*. Ultrasonics., 54, 694–705.
- [17]. Nath, C., Rahman, M., & Andrew, S. S. K. (2007). *A study on ultrasonic vibration cutting of low alloy steel*. Journal of Materials Processing Technology, 192–193, 159–165.
- [18]. Uma Maheshwera Reddy Paturi, Yesu Ratnam Maddu, Ramalinga Reddy Maruri, Suresh Kumar Reddy Narala, 2016. *Measurement and analysis of surface roughness in WS2 solid lubricant assisted minimum quantity lubrication (MQL) turning of Inconel 718*, Procedia CIRP 40, pp 138 – 143.
- [19]. Chen Zhang, Ping Guo, Kornel F. Ehmann, Yingguang Li, 2016. *Effects of ultrasonic vibrations in micro-groove turning*, Ultrasonics 67, pp 30–40.
- [20]. Fatih Hayati Cakir, Selim Gurgun, Mehmet Alper Sofuoglu, Osman Nuri Celik, Melih Cemal Kushan, 2015. *Finite Element Modeling of Ultrasonic Assisted Turning of Ti6Al4V Alloy*, Procedia - Social and Behavioral Sciences 195, pp 2839 – 2848.
- [21]. Nguyễn Văn Dữ, Nguyễn Đăng Bình; *Quy hoạch thực nghiệm trong kỹ thuật*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2011.