

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO ĐẦU RUNG SIÊU ÂM TRỢ GIÚP TIỆN LỖ

Ngô Quốc Huy^{*}, Chu Ngọc Hùng, Nguyễn Văn Dự
 Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Gia công cắt gọt có sự trợ giúp của rung động đã được khẳng định có nhiều ưu điểm nổi trội so với gia công truyền thống. Một vấn đề tồn tại khi khai thác rung động trợ giúp gia công tiện lỗ là khó bố trí đầu rung trên đài dao máy tiện truyền thống. Báo cáo này trình bày một số kết quả thiết kế, chế tạo và thử nghiệm đánh giá đầu rung siêu âm hỗ trợ quá trình tiện lỗ. Một đầu rung siêu âm mang dao tiện lỗ có kết cấu thuận tiện cho việc gá kẹp trên đài dao máy tiện đã được thiết kế, chế tạo và thử nghiệm. Kết cấu được đánh giá kiểm tra về tần số cộng hưởng, trở kháng cơ và biên độ rung động tại vị trí đầu dụng cụ. Gia công thử nghiệm tiên cứng 20 lỗ đường kính 12 mm trên vật liệu thép làm khuôn Cr12Mo có độ cứng 60 - 62 HRC cho thấy, rung động trợ giúp gia công làm lực cắt giảm từ 20% đến 30%, nhám bề mặt Ra giảm 40% đến 71 % so với tiện thường. Các kết quả thu được đóng vai trò cơ sở quan trọng cho việc phát triển nghiên cứu thiết kế, chế tạo hoàn chỉnh dụng cụ cho gia công tiện lỗ có rung động trợ giúp.

Từ khóa: Đầu rung siêu âm, Tiện cứng; Tiện lỗ; Gia công có rung động trợ giúp; Cộng hưởng

GIỚI THIỆU

Gia công có rung động trợ giúp là một kỹ thuật gia công mới, bổ sung một rung động cưỡng bức có điều khiển vào quá trình gia công cắt gọt kim loại. Bản chất là khai thác năng lượng và đập nhằm thay đổi tương tác giữa dụng cụ cắt và phôi, dẫn đến thay đổi theo hướng tích cực các hiện tượng vật lý trong vùng cắt qua đó làm giảm lực cắt, giảm ma sát trong vùng cắt, v.v. Gia công có rung động trợ giúp đã được khẳng định là có thể nâng cao năng suất, chất lượng bề mặt gia công, tuổi bền của dụng cụ cắt, đặc biệt rất hữu dụng để gia công một số vật liệu khó gia công [1-3]. Nguồn rung động có biên độ nhỏ (khoảng từ vài đến vài chục micromet), có tần số siêu âm (từ 15 đến 80 kHz) được bổ sung cưỡng bức vào chuyển động tương đối giữa dụng cụ cắt và chi tiết gia công. Gia công có rung động trợ giúp có thể áp dụng cho cả gia công cắt gọt truyền thống (chẳng hạn tiện, khoan, phay, bào, cưa) [4,5] và gia công không truyền thống (chẳng hạn gia công tia lửa điện, cắt dây, gia công bằng tia nước, hạt mài).

Trong gia công tiện, rung động cưỡng bức có thể được bổ sung theo các phương khác nhau (Hình 1): a) phương hướng kính, b) phương

vận tốc cắt, c) phương dọc trục phôi, d) kết hợp a) và b) để tạo rung ellip.

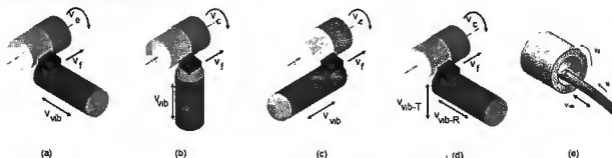
Các phương án bố trí rung động như trên chỉ có thể áp dụng cho tiện ngoài. Bổ sung rung động cho tiện lỗ hiện chỉ có thể thực hiện theo phương dọc trục theo chuyển động chạy dao như minh họa trên hình 1(e) [4,6]. So với nghiên cứu ứng dụng rung động trợ giúp gia công tiện nói chung, rung động trợ giúp khi tiện lỗ, đặc biệt là lỗ nhỏ vẫn ít được công bố. Lý do có thể là, các đầu phát rung thường có kích thước, khối lượng lớn, thường được bố trí trên một đồ gá riêng. Đồ gá này hoặc được lắp đặt bổ sung bên ngoài, hoặc được lắp thế chỗ cho đài dao máy tiện. Việc loại bỏ đài dao hay gá đặt thêm đồ gá phụ bên ngoài làm giảm đi rất nhiều tính linh hoạt cần thiết khi gia công tiện lỗ, đặc biệt khi tiện lỗ cân bằng cách bằng cách xoay xiên bàn trượt dọc phụ trên đài dao. Báo cáo này giới thiệu kết quả nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và thử nghiệm đầu rung được gá trên đài dao của máy tiện để gia công lỗ nhỏ. Kết quả cho thấy, nhám bề mặt chi tiết sau gia công tiện lỗ khi có rung trợ giúp cao hơn so với tiện truyền thống ít nhất 1 cấp độ nhám.

CƠ SỞ THIẾT KẾ

Sơ đồ cơ cấu rung siêu âm trợ giúp gia công được minh họa trên Hình 2. Bộ chuyển đổi siêu âm (1) có nhiệm vụ biến nguồn năng

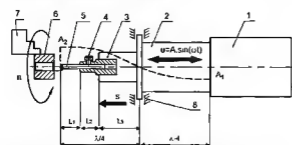
^{*}Tel: 0969 365247, Email: ngoquochuy24@gmail.com

lượng điện ở dạng xung thành rung động siêu âm. Đầu khuếch đại biên độ rung (2) vừa có nhiệm vụ truyền sóng siêu âm đến đầu dao (5), vừa làm nhiệm vụ gá đỡ cho cụm đầu rung. Dao tiện lỗ (5) được lắp với ống gá (3) bằng vít (4). Phôi (6) gá trên mâm cặp (7). Cả bộ đầu rung được kẹp trên đĩa (8), gắn cùng đai dao.

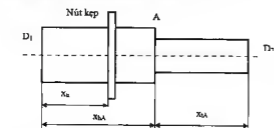


Hình 1. Các nguyên tắc bổ sung rung động trợ giúp tiện [4,6]

Trên hình 2, đường nét đứt biểu diễn biên độ rung động siêu âm tại các mặt cắt ngang của bộ phận khuếch đại và dao.



Hình 2. Sơ đồ kết cấu cụm đầu rung khi gia công
Đầu phát rung, tương tự như trong nhiều nghiên cứu về rung động trợ giúp gia công khác, sử dụng một đầu phát rung thương mại, thường dùng trong công nghệ hàn siêu âm. Các kích thước của đầu khuếch đại (2) được lựa chọn theo yêu cầu khuếch đại biên độ rung, khả năng lắp ghép với các bộ phận kẹp dao và nối với nguồn tạo rung (1), bổ sung kết cấu cho phép gá đặt bộ đầu rung trên đai gá dao. Sơ đồ tính toán các kích thước đầu khuếch đại được minh họa trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ tính kích thước đầu khuếch đại

Cơ sở tính toán dựa trên phương trình truyền sóng tổng quát dọc theo phần tử của một thanh có dạng sau [7]:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

Phương trình mô tả quan hệ chiều dài các bậc được phát triển từ (1) có dạng:

$$x_{n1} = \frac{c}{\omega} \tan^{-1} \left[\frac{-S_1}{S_2} \tan \left(\frac{\omega x_{n1}}{c} \right) \right] \quad (2)$$

trong đó, c là vận tốc truyền sóng của vật liệu đầu khuếch đại (m/s), ω là vận tốc góc của rung động, ω = 2πf (rad/s) với f là tần số rung động (Hz); S₁, S₂ là diện tích mặt cắt 2 bậc trụ.

Biên độ dao động tại hai vị trí bất kỳ trên đoạn trụ nhỏ (u₁) và trên đoạn trụ lớn (u_n) được xác định như sau [7]:

$$u_1 = A_2 \cdot \cos \left(\frac{-\omega x_1}{c} \right) \cdot \cos(\omega t) \quad (3)$$

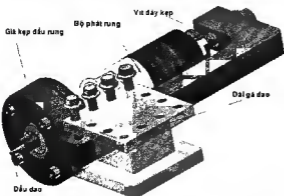
$$u_n = A_1 \cdot \cos \left(\frac{\omega x_n}{c} \right) \cdot \cos(\omega t)$$

Hệ số khuếch đại biên độ được tính:

$$G = \frac{A_2}{A_1} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{\cos \left(\frac{\omega x_{n1}}{c} \right)}{\cos \left(\frac{-\omega x_{n1}}{c} \right)} \quad (4)$$

Chọn trước các kích thước đường kính của đầu khuếch đại D₁ = 50, D₂ = 30. Kích thước D₁ lấy bằng đường kính đầu ra của đầu phát rung. Kích thước D₂ được chọn nhằm đảm bảo đường kính lỗ kẹp dao và độ dày cần thiết để tạo ren cho vít kẹp. Với chênh lệch đường kính như trên, hệ số khuếch đại biên độ thu được sẽ vào khoảng (D₁/D₂) = (50/30) = 2,78. Đầu phát rung được chọn có tần số làm việc f₁ = 20 kHz; biên độ A₁ = 15 μm. Chọn vật liệu

đầu khuếch đại rung là hợp kim nhôm Al7075 với các thông số: $E=71,7$ GPa; $\rho=2800$ kg/m³. Vận tốc truyền sóng âm qua vật liệu đầu khuếch đại $c=\sqrt{E/\rho}=5060$ m/s. Từ đó, chiều dài của đầu khuếch đại tính với chiều dài cộng hưởng nửa bước sóng $\lambda/2$ $c/4f=5060/(4*20000)=63,25$ mm. Khi thiết kế chọn điểm nút cách đầu phát rung một khoảng $x_n=x_{HA}=\lambda/2+3,25=66,5$ mm (Với 3,25mm là chiều dày của tai kẹp). Sử dụng phần mềm hỗ trợ giải phương trình (2), xác định được: $x_{A1}=L_1+L_2+L_3=61,3$ mm. Để đảm bảo gia công hết chiều dài lỗ và có không gian kẹp vít cố định dao, các kích thước L_1, L_2 được lấy $L_1=22$ mm; $L_2=16,3$ mm. Từ đó tính ra chiều dài bậc nhỏ $L_3=23$ mm. Hình 4 mô tả kết cấu đầu rung đề xuất.



Hình 4. Kết cấu gá đầu rung dùng cho tiện lỗ

ĐÁNH GIÁ CÁC THÔNG SỐ

Đầu rung sau khi được chế tạo với các thông số thiết kế như trên đã được tiến hành đánh giá trước khi sử dụng. Có hai thông số quan trọng cần đánh giá là tần số cộng hưởng và biên độ dao động tại đầu mũi của dao. Tần số cộng hưởng rung động chịu sự ảnh hưởng bởi giá trị tổng trở của đầu khuếch đại.

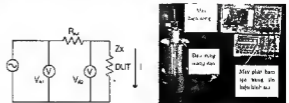
Tần số cộng hưởng của cơ hệ, bao gồm đầu phát rung và đầu khuếch đại có gắn dao, được đo kiểm bằng phương pháp đo tổng trở kháng. Chi tiết của phương pháp này đã được trình bày chi tiết trong [8].

Nguyên lý đo kiểm được minh họa trên hình 5. Máy phát hàm Protek GD-005N DOS

Function generator dùng để tạo xung tín hiệu điện truyền cho đầu rung (có trở kháng Z_x). Hai kênh đo CH1 và CH2 của máy hiện sóng được sử dụng để đo điện áp hai đầu điện trở phụ R_{ref} . Điện trở R_{ref} được cố định ở mức 10 kΩ trong suốt quá trình thí nghiệm, tín hiệu được hiển thị trên một máy hiện sóng Protek 5100 - 1000MHz, 500MSa/s. Nguồn điện áp 6 vôn Vpp được cấp cho mạch đo với các giá trị tần số khác nhau nằm trong dải từ 11 đến 40 kHz nhờ máy phát hàm. Khi tổng trở của thiết bị đạt cực đại hoặc cực tiểu thì tại đó đầu rung sẽ xảy ra hiện tượng cộng hưởng hoặc phản cộng hưởng. Tổng kháng của thiết bị cần đo được xác định theo công thức:

$$Z_x = \frac{V_{A2} R_{ref}}{\sqrt{V_{A1}^2 - 2V_{A1}V_{A2} \cos\theta + V_{A1}^2}} \quad (5)$$

Trong đó, θ là góc lệch pha của V_{A2} so với V_{A1} . Khi quan sát trên máy hiện sóng, thời điểm cộng hưởng xảy ra được phản ánh qua độ lệch pha giữa 2 kênh (bằng không).

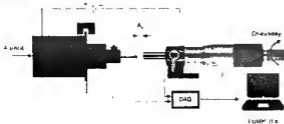


Hình 5. Sơ đồ xác định tổng trở và tần số cộng hưởng của đầu rung

Kết quả khảo sát thu được tần số cộng hưởng của đầu rung là $f_r = 20,92$ kHz; tần số phản cộng hưởng $f_a = 21,87$ kHz, gần với giá trị dùng cho thiết kế ban đầu.

Biên độ rung động thực tế lớn nhất được xác định bằng phép đo tĩnh, sử dụng một panme đo ngoài 0,001 mm, một máy phát nguồn công suất. Tình trạng bắt đầu xảy ra tiếp xúc giữa đầu panme và đầu rung được đánh giá bằng nhờ cơ cấu tiếp xúc điện. Sơ đồ đo biên độ được mô tả như hình 5. Cụm đầu rung và panme được nối với một nguồn điện 1 chiều 6V. Khi quay tiến Panme chạm vào đầu dụng cụ làm mạch điện sẽ được đóng kín, tín hiệu điện được truyền đến bộ thu thập dữ liệu DAQ kết nối với phần mềm LabView, hiển

thị xung trên giao diện máy tính. Để tiến hành xác định giá trị biên độ: trước tiên khi chưa cấp rung, tiến dụng cụ lại đầu dao xác định và ghi nhớ vạch chỉ trước (tín hiệu xung điện báo thời điểm chạm). Sau đó quay lùi đầu panme ra một khoảng 1 mm (lớn hơn nhiều so với biên độ rung thông thường là vài chục μm). Kích thích đầu rung với tần số cần khảo sát và vận panme cho đầu đo tiến về phía đầu dao. Thời điểm tiếp xúc giữa đầu đo của panme với đầu rung được xác định nhờ tín hiệu điện hiển thị trên màn hình máy tính. Ghi nhận giá trị vạch chỉ sau của panme. Kết quả biên độ thu được sẽ bằng độ lệch giữa chỉ số đầu và chỉ số sau.



Hình 6. Sơ đồ mạch đo biên độ kiểu tiếp xúc

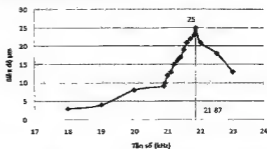
Trên hình 7 minh họa kết quả đo biên độ rung động thu được ở đầu dao ứng với một số giá trị tần số rung động khác nhau. Có thể thấy, biên độ rung đạt giá trị lớn nhất khi tần số có giá trị 21,87 kHz, khá gần với kết quả đo kiểm tần số đã thu được. Nói cách khác, biên độ dao động lớn nhất khi cấp cho đầu rung một nguồn xung kích thích có tần số bằng tần số cộng hưởng của hệ. Biên độ khoảng 25 μm cũng khá phù hợp với giá trị dự đoán từ hệ số khuếch đại khi thiết kế đầu khuếch đại. Biên độ rung 25 μm cũng đủ lớn để thử nghiệm đánh giá ảnh hưởng tích cực của rung động trợ giúp gia công.

KẾT QUẢ GIA CÔNG THỬ NGHIỆM

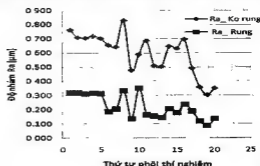
Để đánh giá khả năng ứng dụng của bộ đầu rung được chế tạo, 20 thí nghiệm tiện lỗ đã được thực hiện. Các phôi mẫu dùng vật liệu làm khuôn X12M, được tạo lỗ thô với đường kính ban đầu 12 mm, nhiệt luyện đạt độ cứng $60 \div 62 \text{ HRC}$. Các phôi sau nhiệt luyện được mài tròn ngoài đạt đường kính $23 \pm 0,01$ và sau đó tiện móc lỗ đạt đường kính $12,5 \pm 0,05$.

Chiều dài mỗi lỗ được gia công theo hai chế độ: không có rung động trợ giúp và có rung động trợ giúp. Thứ tự có hay không có rung trợ giúp được thực hiện ngẫu nhiên. Chế độ cắt được chọn theo khuyến nghị của nhà cung cấp dao. Nhám bề mặt lỗ được chọn làm tiêu chí đánh giá chất lượng bề mặt lỗ.

Bảng 1 trình bày kết quả đo nhám của các mẫu. Kết quả cho thấy trong dài thí nghiệm độ nhám khi tiện có rung đều cao hơn ít nhất một cấp độ nhám (Theo TCVN 2215-95) so với tiện truyền thống.



Hình 7. Kết khảo sát biên độ với các tần số khác nhau



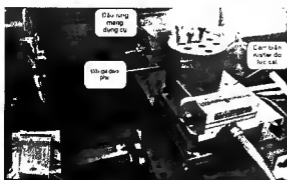
Hình 8. Tương quan độ nhám khi tiện có rung hỗ trợ so với tiện truyền thống

Kết quả trong bảng 1 được minh họa bằng đồ thị trên Hình 8. Có thể thấy ở tất cả các lỗ thí nghiệm, bề mặt lỗ khi tiện có rung động trợ giúp luôn có độ nhám bề mặt cao hơn ít nhất một cấp nhám so với quá trình tiện truyền thống. Với bộ thí nghiệm này, chế độ cắt rung cho phôi thứ 19 thu được độ nhẵn bóng bề mặt cao nhất, đạt $Ra = 0,089 \mu\text{m}$.

Sơ đồ đo lực cắt được mô tả trên hình 9. Đầu đo lực cắt 3 thành phần Kistler được gá trên bàn dao ngang, đầu dao phụ dùng để kẹp đầu rung siêu âm gá trên bề mặt cảm biến đo lực. Thiết bị được kết nối trực tiếp với máy tính, qua giao diện của phần mềm NI SignalExpress 2014.

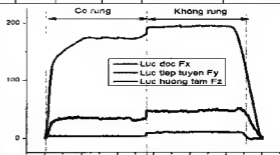
Bảng 1. Kết quả thí nghiệm đo nhám với các mẫu tiện lỗ khi có rung hỗ trợ so với tiện truyền thống

STT	Tốc độ quay n	Lượng chạy dao v	Chiều sâu cắt t	Nhám khi tiện thường		Nhám R _a khi tiện rung		Số cấp độ nhám tăng	Mức độ giảm nhám bề mặt
	v/ph	mm/v	mm	Ra (μm)	Cấp độ	Ra (μm)	Cấp độ	Tiện rung - Tiện thường	%
1	1750	0.085	0.075	0.760	7	0.319	9	2	58
2	1750	0.0675	0.1	0.708	7	0.319	9	2	54.9
3	1750	0.0675	0.075	0.703	7	0.311	9	2	55.8
4	1750	0.0675	0.075	0.716	7	0.316	9	2	55.9
5	1750	0.0675	0.075	0.700	7	0.313	9	2	55.3
6	2000	0.0675	0.075	0.654	7	0.187	9	2	71.4
7	1750	0.05	0.075	0.640	7	0.204	9	2	68.1
8	1500	0.085	0.1	0.827	7	0.334	8	1	59.6
9	1500	0.05	0.05	0.476	8	0.137	10	2	71.2
10	2000	0.085	0.1	0.587	7	0.351	8	1	40.2
11	1500	0.085	0.05	0.684	7	0.164	9	2	76
12	1750	0.0675	0.075	0.509	8	0.155	10	2	69.5
13	2000	0.05	0.1	0.503	8	0.144	10	2	71.4
14	2000	0.05	0.05	0.645	7	0.207	9	2	67.9
15	1750	0.0675	0.075	0.629	8	0.178	9	1	71.7
16	2000	0.085	0.05	0.694	7	0.235	9	2	66.1
17	1750	0.0675	0.05	0.490	8	0.189	9	1	61.4
18	1750	0.0675	0.075	0.358	8	0.119	10	2	66.8
19	1500	0.05	0.1	0.304	9	0.089	11	2	70.7
20	1500	0.0675	0.075	0.351	8	0.135	10	2	61.5



Hình 9. Sơ đồ giả thiết bị đo lực cắt khi tiện lỗ có rung động siêu âm trợ giúp.

Đồ thị thể hiện giá trị các thành phần lực cắt khi tiện lỗ trong hai trường hợp có rung và không có rung, với chế độ cắt khảo sát: tốc độ quay trục chính $n = 1500$ v/ph; lượng chạy dao $s = 0,065$ mm/vòng; chiều sâu cắt $t = 0,1$ mm; được thể hiện trên hình 10. Qua đồ thị trên Hình 10, dễ thấy tiện lỗ có rung động siêu âm trợ giúp có các thành phần lực cắt đều nhỏ hơn so với tiện không rung.



Hình 10. Tương quan lực cắt khi tiện có rung hỗ trợ so với tiện truyền thống

Thành phần lực dọc giảm tới 30 %, lực hướng tâm giảm 25 %, lực tiếp tuyến giảm 20 % so với lực cắt khi tiện không có rung. Kết quả bước đầu cho thấy hiệu quả của thiết bị đầu rung hỗ trợ cho dao tiện lỗ về chất lượng bề mặt chi tiết sau gia công, khả năng giảm lực cắt khi tiện. Đây là tiền đề để hiệu chỉnh, phát triển mẫu đầu rung cho tiện lỗ trụ nhỏ và lỗ côn.

KẾT LUẬN

Một đầu rung siêu âm mang dao tiện lỗ với kết cấu thuận tiện cho việc gá đặt trên đài dao máy tiện, đã được thiết kế, chế tạo và thử

nghiệm. Giá trị biên độ rung động và các tần số cộng hưởng cho đầu rung được thực nghiệm xác định, cho kết quả phù hợp với lý thuyết tính toán. Kết quả cắt thử với đầu rung siêu âm cho quá trình tiện tinh lỗ cho thấy bề mặt khi tiện rung có độ nhám cao hơn so với quá trình gia công truyền thống ít nhất một cấp nhám. Các kết quả thu được đóng vai trò cơ sở quan trọng cho việc phát triển nghiên cứu thiết kế, chế tạo hoàn chỉnh dụng cụ cho gia công tiện lỗ có rung động trợ giúp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Rasidi Ibrahim (2014) "Vibration Assisted Machining: Modelling, Simulation, Optimization, Control and Applications", *A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy*.
2. Maroju Naresh Kumar, Kanmani Subbu S (2014) "Vibration Assisted Conventional and Advanced Machining: A Review. Procedia Engineering", *Vol (97)*, pp. 1577-1586.
3. Wei-Xing Xu and Liang-Chi Zhang (2015) "Ultrasonic vibration-assisted machining:

principle, design and application", *Advances in Manufacturing, Vol 3(3)*, pp. 173-192.

4. Toshiaki Furusawa (2010) "Effect of Flexural Rigidity of Tool on Machining Accuracy during Microgrooving by Ultrasonic Vibration Cutting Method" *Japanese Journal of Applied Physics, Vol 49(12)*, pp. 1-6.
5. Bert Lauwers, Fritz Klocke, et al (2014) "Hybrid processes in manufacturing", *CIRP Annals- Manufacturing Technology, Vol 63(2)*, pp. 561-583.
6. G.-L. Chern, Jia-Ming Liang (2007) "Study on boring and drilling with vibration cutting", *International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol 47(1)*, pp. 133-140.
7. Dale Ensminger, Foster B. Stulen (2009) "Ultrasonics Data, Equations and Their Practical Uses" *Taylor & Francis Group*.
8. Ngô Quốc Huy, Nguyễn Văn Dự, Chu Ngọc Hùng (2016) "Thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của kích thước đầu rung siêu âm công suất lớn đến tần số cộng hưởng rung động", *Tạp chí KHCN Đại học Thái Nguyên*, Số 154(09), tr. 19 – 23.

SUMMARY

DESIGN, MANUFACTURING ULTRASONIC VIBRATORY TOOL ASSISTED HOLE TURNING

Ngô Quốc Huy*, Chu Ngọc Hùng, Nguyễn Văn Dự
University of Technology - TNU

Vibration - Assisted machining has been claimed to be superior to conventional machining. One problem that exists when using vibration assisted hole machining is that it is difficult to fix the ultrasonic vibration parts on the tool post of conventional lathes. This report presents some results of design calculations, manufacturing and verification of ultrasonic vibratory tool used in vibration assisted hole turning, fitted with a cutting tool that facilitates the turning process. An ultrasonic vibrating jig combined with a small boring tool has been designed and tested. The structure was evaluated for electrical resonance frequency, mechanical impedance and vibration amplitude at the cutting edge. Experimental hard-boring tests have been done on 20 samples of holes with 12 mm diameter. The workpieces were made from Cr12Mo steel with hardness of HRC 60-62. The results showed that, vibration assisted hole-turning can reduce cutting force by 20% to 30%. Surface roughness from the new technique have been also improved by 40% to 71 %, compared to traditional method. The results of this study would play an important role in development, design and manufacture of complete tools for vibration assisted machining.

Keywords: *Ultrasonic transducer; Hard turning, Hole turning, Ultrasonic Assistant Turning; Resonance*

Ngày nhận bài: 01/11/2017; Ngày phản biện: 14/11/2017; Ngày duyệt đăng: 29/11/2017

* Tel: 0969 365247, Email: ngoquochuy24@gmail.com