

TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TIỆN CÓ SỰ TRỢ GIÚP CỦA RUNG ĐỘNG SIÊU ÂM

REVIEW OF ULTRASONIC ASSISTED TURNING

Hoàng Trung Kiên

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

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu một công nghệ được thế giới rất quan tâm trong những năm gần đây trong việc gia công những vật liệu khó cắt gọt, đó là tiện có tích hợp rung siêu âm. Trong công nghệ này, một rung động siêu âm tần số cao, biên độ nhỏ được cung cấp cho dụng cụ cắt trong quá trình tiện. Nhờ cơ chế cắt gián đoạn thay thế cắt liên tục, tỷ lệ tiếp xúc giữa dao và phôi nhỏ, lẹo dao không hình thành mà lực cắt giảm đáng kể, chất lượng bề mặt và độ chính xác chế tạo chi tiết được nâng cao, tính gia công của vật liệu được cải thiện, mòn dụng cụ giảm kèm theo một số lợi ích đáng kể khác. Mục tiêu chính của bài báo này là làm nổi bật những ưu điểm của UAT, chỉ ra nhược điểm, đồng thời đưa ra những khuyến nghị để các nhà khoa học, các nhà sản xuất tham khảo và từng bước đưa công nghệ này vào áp dụng trong sản xuất tại Việt Nam.

Từ khóa: Tiện rung; Nhám bề mặt; Phoi; Mòn dụng cụ; UAT, 1 D UAT, 2 D UAT.

ABSTRACT

This paper introduces an application Ultrasonic assisted turning (UAT) of machining difficult-to-cut materials. UAT adds small-amplitude, high-frequency tool displacement to the cutting motion of the tool. Many researchers have reported that in UAT the usual continuous interaction between the cutting tip and the work-piece was replaced by intermittent cutting, the tool-workpiece contact ratio (TWCR) decreased, the built up edge (BUE) was absence, that why the cutting forces were decreased, tool life was extened, the surface quality and geometric accuracy were improved and other significant benefits. The main objective of the present review article is to highlight the advantages and disadvantages in UAT and give recommendations to apply in Vietnam.

Keywords: Ultrasonic assisted turning, Surface roughnes, Chip, Tool wear, Forces, UAT, 1 D UAT, 2 D UAT.

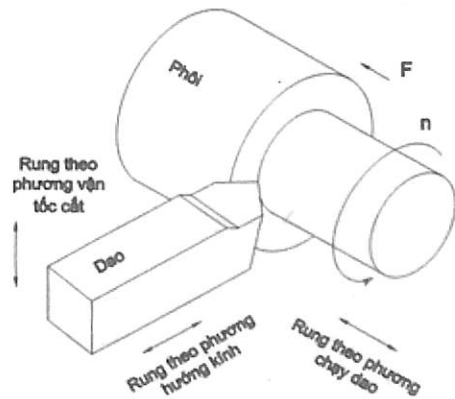
1. GIỚI THIỆU

Gia công những loại vật liệu mới ứng dụng trong ngành Hàng không vũ trụ, quốc phòng, y tế, công nghiệp hóa chất... có độ cứng, khả năng chống mài mòn, độ bền nhiệt cao, khả năng chống ăn mòn hóa học tốt tạo ra những thách thức lớn cho các nhà nghiên cứu. Trở ngại chính trong việc thương mại hóa những loại vật liệu này là tính gia công kém. Mòn dụng cụ quá lớn, khó khăn trong tạo phoi, chất lượng bề mặt thấp, nhiệt cắt, lực cắt lớn [1-4], là những trở ngại khi gia công bằng phương pháp tiện truyền thống [5-8]. Hơn nữa, tính dẫn nhiệt thấp, nhiệt dung riêng cao, và sự biến cứng cao kết hợp với phản ứng hóa học với hầu hết vật liệu làm dụng cụ cắt cũng là nguyên nhân gây khó khăn trong việc gia công các vật liệu kỹ thuật này.

Trong quá trình tiện truyền thống, khi gia công các hợp kim độ bền cao thường phải chọn chiều sâu cắt nhỏ, lượng chạy dao nhỏ làm ảnh hưởng đến tốc độ bóc tách vật liệu (MRR). Trong gia công các hợp kim như vậy, Zhou và Hu (2015) [9] đã chỉ ra rằng lực cắt lớn tác dụng lên dụng cụ cắt làm tăng đáng kể ứng suất, khuyết tật và nhiệt độ trong vùng cắt, điều này làm ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt đã gia công. Tính năng kỹ thuật của các chi tiết sử dụng trong ngành công nghiệp cao cấp bị ảnh hưởng lớn bởi tính chất của lớp bề mặt được tạo ra nhờ quá trình gia công. Ahmed, Mitrofanov, Babitsky và Silberschmidt (2006) [10] đã tìm ra rằng, ứng suất dư kéo đi kèm với biến dạng dẻo trong tiện truyền thống dẫn đến sự phá hỏng sớm và giảm tuổi thọ của các chi tiết gia công. Hơn nữa, Maurotto, Muhammad, Roy, Babitsky và Silberschmidt (2012) [11] đã chỉ ra dụng cụ cắt chịu sự mài mòn do cào xước trên mặt trước bởi sự hiện diện của các hạt carbua siêu cứng trong cấu trúc tế vi

của hợp kim Ni-based và mòn khuếch tán đi kèm với lẹo dao (BUE) dẫn đến những vấn đề nghiêm trọng trong tiện truyền thống hợp kim Ti-based.

Để khắc phục những hạn chế của tiện truyền thống trong gia công vật liệu khó cắt gọt, tiện có tích hợp rung siêu âm được đề xuất từ rất sớm và ngày nay tiếp tục được quan tâm hoàn thiện và phát triển [12-15]. Bản chất của phương pháp này là tích hợp một rung động siêu âm với tần số và biên độ phù hợp lên phôi hoặc dụng cụ cắt. Hai hướng thường được khai thác là lựa chọn thông số rung (tần số, biên độ) tối ưu hoặc chọn phương rung hợp lý. Với quá trình tiện, việc tích hợp rung động lên phôi chuyển động quay gặp nhiều khó khăn nên rung động sẽ được cấp cho dụng cụ cắt. Rung động có thể được cung cấp theo 1 trong 3 phương: Phương vận tốc cắt, phương chạy dao hoặc phương hướng kính (Hình 1) [16-19].



Hình 1. Mô hình tiện với rung động trợ giúp

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để tìm kiếm dữ liệu và xử lý thông tin liên quan đến những công trình nghiên cứu cùng lĩnh vực đã được xuất bản, bài báo sử dụng phương pháp tổng quan hệ thống do Denyer và Tranfeld (2009) đề xuất [20]. Phương pháp này liên quan đến việc xác định các nghiên cứu liên quan đã tồn tại, xác định những đóng góp

của các tác giả khác nhau và cung cấp những kết luận rõ ràng cũng như hướng nghiên cứu tiếp theo trong tương lai. Phương pháp này đã trở thành phương pháp luận được sử dụng rộng rãi trong các bài báo tổng quan.

a. Xác định các nghiên cứu trước

Đối với các nghiên cứu từ Science direct, scopus và web khoa học đã được sử dụng để các bài báo tổng quan cùng lĩnh vực dựa trên 2 từ khóa: 1D UAT, 2DUAT và Ultrasonic Assisted machining. Việc lựa chọn từ khóa sử dụng trong cơ sở dữ liệu điện tử dựa trên việc giữ bản chất của các vấn đề nghiên cứu đã được đề xuất. Bảng 1, trình bày bài báo có sẵn trong các nguồn khác nhau một cách rõ ràng chính xác.

Bảng 1. Những nghiên cứu khảo sát từ những nguồn khác nhau:

| Search strings in abstract, title and keywords | Electronic database search | | |
|---|----------------------------|----------------|--------|
| | Science direct | Web of science | Scopus |
| String 1: One dimensional ultrasonic assisted turning | 218 | 88 | 118 |
| String 2: Ultrasonic assisted machining | 675 | 179 | 416 |
| Total | 893 | 269 | 534 |

b. Lựa chọn và xử lý thông tin

Bước này dựa trên các tiêu chí lựa chọn rõ ràng để tìm các tạp chí học thuật mà có thể đề địa chỉ các vấn đề nghiên cứu như trình bày ở phần giới thiệu.

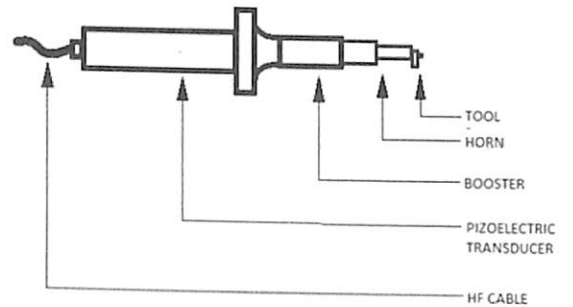
Bảng 2 Tiêu chí để phân loại bài báo:

| Criterion | Inclusion | Exclusion |
|---------------------|---|---|
| Publication type | Peer reviewed Journal and conference articles | Books and periodicals |
| Research discipline | Engineering | Irrelevant articles not related to the field of engineering. |
| Time period | 1984-2015 | No relevant paper was found prior to 1982. The research article related to cryogenic treatment appeared in this year only |
| Sector | Manufacturing industry in particular turning | Milling, drilling, finishing, EDM |
| Language | English | Any other language |
| Relevance | Articles related to the advancements in turning having one dimensional motion of the cutting tool | Articles related to the ultrasonic assisted machining but not involving turning process in specific |

3. HỆ THỐNG TIỆN RUNG

3.1. Nguyên lý và thiết bị tạo rung

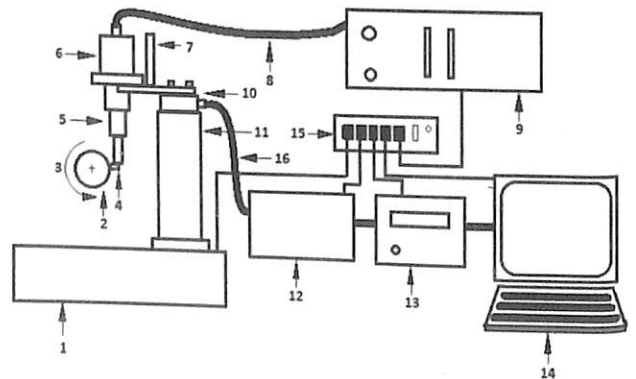
Thiết bị tạo rung bao gồm Piezoelectric transducer, phần khuếch đại, cổ dao và đầu dao như trên Hình 2. Vật liệu làm Piezoelectric là thạch anh, khi đặt lên chúng một hiệu điện thế sẽ tạo ra rung động siêu âm với tần số và biên độ theo yêu cầu. Phần khuếch đại có chức năng phóng đại biên độ rung động, đầu dao không thể lắp trực tiếp trên phần khuếch đại nên cổ dao được sử dụng, nó cũng có chức năng khuếch đại biên độ rung.



Hình 2. Cấu tạo của đầu rung

3.2. Hệ thống công nghệ

Hệ thống công nghệ khi tiện rung nói chung được thể hiện trên Hình 3, bao gồm các thành phần chính là: Máy tiện, dao tiện, đồ gá, phôi, máy phát xung, thiết bị đo lực, bộ chuyển đổi, máy tính.



Hình 3. Hệ thống thiết bị tiện rung

1. HMT NH-26 lathe
2. Workpiece rotate anti-clockwise
3. Anti-clockwise rotation of workpiece
4. Carbide insert tool connected to stepped horn by screw
5. Stepped horn connected to transducer
6. Transducer
7. L-shape bracket for holding transducer
8. HF (high frequency) cable

4. ĐỘNG HỌC QUÁ TRÌNH TIỆN TÍCH HỢP RUNG SIÊU ÂM

Phương pháp tiện rung thường được phân loại dựa trên hình thức cung cấp rung siêu âm cho dụng cụ cắt (Hình 4).

- 1 D UAT: Hệ thống này hoạt động trong một mặt phẳng song song với bề mặt của phôi chứa lực cắt.

- 2 D UAT: Hệ thống này, tạo ra một chuyển động hình elip của dụng cụ cắt, trong đó trục lớn của Elip cùng phương với lực cắt, trục nhỏ theo phương lực đẩy. Biên độ của rung động trong mỗi trục có thể giống hoặc không giống nhau và được mô tả là biên độ rung của trục A.

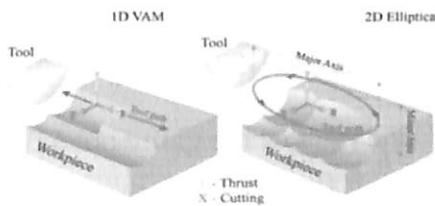


Fig.1. Types of VAM based on modes of vibration (a) 1-Dimensional VAM, (b) 2-Dimensional VAM [33].

Hình 4. Phân loại phương pháp tiện rung

Hình 5, thể hiện hệ trục tọa độ sử dụng trong nghiên cứu, trong đó trục X theo phương vận tốc cắt, trục Y theo phương chạy dao và

9. Ultrasonic generator
10. Dynamometer (Kistler model 9272)
11. Height adjustable cylindrical column
12. Charge amplifier model 5070A
13. Data acquisition system
14. PC (control system)
15. Power supply
16. Dynamometer cable

trục Z theo phương lấy chiều sâu cắt.

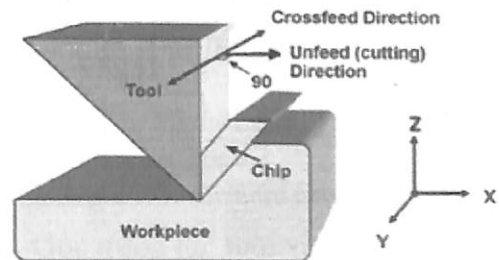


Fig. 1. Coordinate system.

Hình 5. Hệ trục tọa độ sử dụng trong nghiên cứu

4.1. 1D UAT systems

Động học quá trình tiện rung 1D lý tưởng được thể hiện trên Hình 5, dụng cụ cắt rung di chuyển theo quỹ đạo là một đường thẳng cùng với phương vận tốc cắt. Khi phôi quay, ở vận tốc cắt V, vị trí của dụng cụ cắt và vận tốc được xác định bởi công thức:

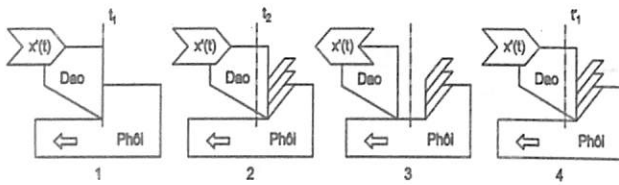
$$x(t) = a \cdot \sin(\omega t) + V \cdot t \quad (1)$$

$$x'(t) = \omega \cdot a \cdot \cos(\omega t) + V \quad (2)$$

Với $x(t)$ và $x'(t)$ là vị trí và vận tốc tức thời tại thời điểm t, a là biên độ của rung của dụng cụ, tần số góc ω được xác định thông qua tần số rung f, $\omega = 2\pi f$.

Chu kỳ gia công bao gồm 4 giai đoạn. Ở giai đoạn 1, mặt trước của dao tiếp xúc với

phôi và bắt đầu quá trình cắt, t_1 là thời điểm bắt đầu xảy ra quá trình cắt. Sau đó, ở giai đoạn 2, vào thời điểm t_2 , dụng cụ cắt đạt vị trí giới hạn lớn nhất trong quỹ đạo chuyển động rung với vận tốc bằng 0 và chuẩn bị chuyển động ngược lại. Ở giai đoạn 3, dụng cụ cắt được rút ra khỏi phôi và ở giai đoạn 4 dụng cụ lại tiến vào tiếp xúc với phôi để bắt đầu một chu kỳ gia công mới, t_1' là thời gian bắt đầu của chu kỳ gia công mới. Thời gian của toàn bộ chu kỳ là T , bằng $1/f$. Thời gian xảy ra quá trình cắt là $t_2 - t_1$.



Hình 5. Động học quá trình tiện với rung động trợ giúp

Các thông số đặc trưng của quá trình tiện rung 1D:

Vận tốc cắt giới hạn: Từ phương trình (2) có thể rút ra khái niệm về vận tốc cắt giới hạn V_{crit} mà ở giá trị đó mặt trước của dụng cụ cắt luôn tiếp xúc với bề mặt phôi chưa gia công, $V_{crit} = 2\pi fA$. Nếu $V < V_{crit}$ thì quá trình cắt gián đoạn chu kỳ xảy ra ở tần số f và sẽ đạt được những lợi ích (kéo dài tuổi thọ của dụng cụ cắt, cải thiện chất lượng bề mặt chi tiết gia công...) của quá trình cắt có rung. Đây là điều chúng ta mong muốn. Nếu $V > V_{crit}$, quá trình cắt liên tục xảy ra khiến việc cung cấp rung siêu âm vào quá trình tiện không mang lại hiệu quả.

Sự tiếp xúc gián đoạn giữa dụng cụ cắt và phôi như trên hình 2 có thể được xác định thông qua 2 biến: t_1 khi dụng cụ cắt tiếp xúc với phôi và t_2 khi dụng cụ tách ra.

$$A \sin(2\pi f t_1) = A \sin\left(\arccos\left(\frac{-V}{2\pi f A}\right)\right) - V\left(t_1 - \frac{\arccos(-V/2\pi f A)}{2\pi f}\right) \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{\arccos(-V/2\pi f A)}{2\pi f} \quad (5)$$

F_{up} là khoảng cách giữa các điểm tương đương trên quỹ đạo rung của dụng cụ cắt trong chu kỳ kế tiếp. Nó bằng khoảng cách dịch chuyển bởi dụng cụ cắt trong một chu kỳ dao động.

Hệ số vận tốc HSR là tỷ số giữa vận tốc cắt và giá trị lớn nhất của vận tốc rung của dụng cụ cắt.

$$F_{UP} = \frac{V}{f} \quad (6)$$

$$HSR = \frac{V}{2\pi f A} \quad (7)$$

F_{up} và HSR là hai thông số quan trọng đặc trưng cho chu kỳ gia công khi tích hợp rung siêu âm.

Hệ số chu kỳ của tiện rung 1D xác định dựa trên thời gian xảy ra quá trình cắt trong cả chu kỳ làm việc [21-23]:

$$DC_1 = \frac{t_2 - t_1}{T} = f(t_2 - t_1) \quad (8)$$

Hình 6a giải thích chuyển động tương đối giữa dụng cụ cắt và phôi trong thời gian xảy ra quá trình cắt. Hình 6b thể hiện ảnh hưởng của HSR đến hệ số chu kỳ.

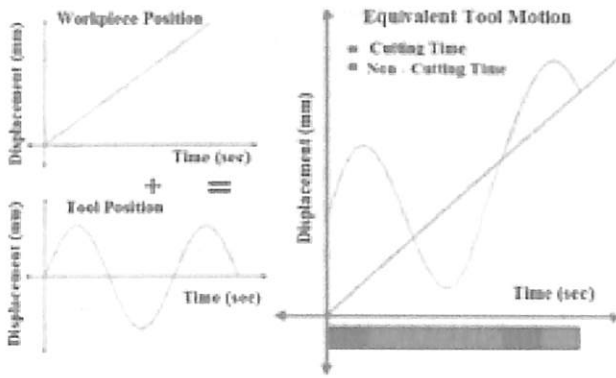


Fig.4 (a) Duty cycle (amount of cutting time).

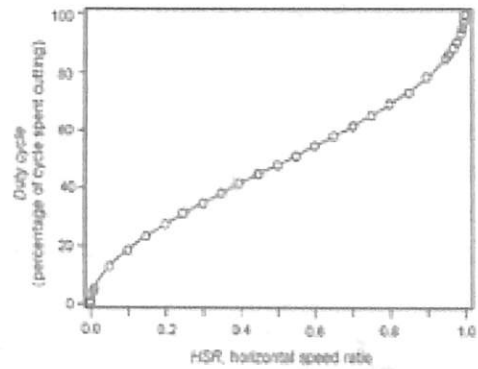


Fig.4 (b) Effect of HSR on duty cycle [1].

Hình 6a. Chuyển động tương đối giữa dụng cụ cắt và phôi;
6b ảnh hưởng của HSR đến hệ số chu kỳ

4.2. 2D UAT system

Trong tiện rung 2D, rung động được cung cấp theo hai phương để mũi dao chuyển động theo quỹ đạo là 1 đường tròn hoặc elip như mô tả trên hình 7. Vị trí và vận tốc của dụng cụ cắt tương đối so với phôi lần lượt tương ứng là $z(t)$ và $z'(t)$. B là biên độ rung động theo phương thẳng đứng, A là biên độ rung theo phương ngang; A, B lần lượt là chiều dài một nửa của trục lớn, trục nhỏ của quỹ đạo chuyển động hình Elip.

Vị trí tương đối của dụng cụ cắt so với phôi được xác định như sau:

$$x(t) = -A \cos(\omega t) + Vt \quad (9)$$

$$z(t) = -B \sin(\omega t) \quad (10)$$

Vận tốc tương đối so với phôi:

$$x'(t) = \omega A \sin(\omega t) + V \quad (11)$$

$$z'(t) = -\omega B \cos(\omega t) \quad (12)$$

Hình 7 cho thấy một có vị trí θ với $\theta = \omega t$. Phương trình 9-12 được tham chiếu tới trường hợp $\theta = 0$ ở vị trí như trên hình 4. Phương tức thời của chuyển động tương đối của dụng cụ

cắt so với phôi $\chi(t)$ được xác định như sau:

$$\chi(t) = \arctan \left(\frac{-\omega B \cos(\omega t)}{\omega A \sin(\omega t) + V} \right) \quad (13)$$

Góc trước tức thời $\gamma(t)$ và góc sau $\alpha(t)$.

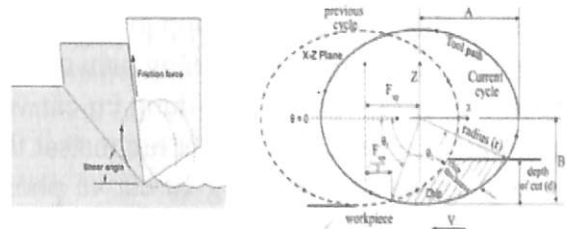


Fig.5. 2D-VAM and its tool path [1].

Hình 7. Quỹ đạo chuyển động của mũi dao trong 2D VAM

5. Lợi ích của UAT

Các thực nghiệm trên thế giới chỉ ra rằng, tiện có tích hợp rung động cường bức có nhiều ưu điểm vượt trội so với tiện cứng truyền thống [24-37]: Giảm ô nhiễm môi trường, lực cắt giảm, sản phẩm đạt độ chính xác cao, nhiệt cắt thấp, tuổi thọ của dụng cụ cắt tăng, quá trình cắt ổn định, không tạo nên hiện tượng lẹo dao, tăng độ bền mỗi, khả năng chống ăn mòn, mài mòn của chi tiết sau gia công.

5.1. Thân thiện với môi trường

Để đáp ứng những yêu cầu nghiêm ngặt về mặt môi trường, các nghiên cứu khoa học trong những năm gần đây, tập trung áp dụng những công nghệ gia công tạo ra sản phẩm sạch hơn và ít ảnh hưởng tới môi trường (Chetan, Ghosh và Venkateswara Rao (2015) [38] và Sharma and Pandey (2016) [39]. Với tiện rung, Quá trình gia công thường không dùng dung dịch bôi trơn làm nguội nên có thể giảm thiểu ô nhiễm môi trường, tiết kiệm chi phí.

5.2. Lực cắt

Cơ chế của 1D-VAM và 2D VAM làm thay đổi hình thái phoi cũng như tương tác giữa phôi và và mặt trước của dụng cụ cắt khiến phoi mỏng và ngắn hơn, vì vậy lực cắt trung bình cần thiết để bóc tách kim loại giảm xuống. Hơn nữa, lực cắt giảm làm ứng suất giảm và việc cắt gián đoạn theo chu kỳ cũng giúp giảm ứng suất trong điều kiện nóng, kết quả tăng hiệu quả làm nguội. Ngoài ra, vận tốc của dụng cụ cắt vượt quá vận tốc của phoi tạo ra một lực ma sát theo phương ngược lại giữa dụng cụ cắt và phoi vì vậy làm giảm lực đẩy (lực dọc trục).

5.3. Nhám bề mặt

VAM sử dụng dụng cụ với mũi cắt tròn để chày va đập, lực dọc trục nhỏ hơn làm giảm biên độ của rung động dụng cụ cắt tương đối so với phôi. Chu kỳ luân phiên đồng đều giữa dụng cụ và phoi tạo ra những vết nứt đồng đều và tốc độ bóc tách vật liệu giới hạn. Ma sát thấp gây ra nhiệt cắt thấp và giảm sự nứt bề mặt, phoi ngắn hơn làm giảm nhám bề mặt.

5.4. Mòn dụng cụ

Lực cắt, ứng suất giảm và sự không tiếp

xúc định kỳ giúp dụng cụ cắt gây ra ứng suất mà sẽ tạo ra sự cải thiện tuổi bền dụng cụ, đặc biệt là trong trường hợp gia công vật liệu khó cắt gọt. Sự tiếp xúc không liên tục giữa dao và vật liệu phoi trong VAM giảm, thời gian dành cho các phản ứng mòn giảm và cho phép làm mát dụng cụ một cách đáng kể.

6. NHƯỢC ĐIỂM CỦA UAT

Bên cạnh những ưu điểm nổi bật, UAT vẫn còn tồn tại một số mặt hạn chế [10]. Nhược điểm của UAT là chi phí đầu tư ban đầu cho hệ thống thiết bị cao, thông số của rung siêu âm sẽ thay đổi khi thay dụng cụ cắt thay đổi, định dao phải được điều chỉnh phù hợp với tần số rung. Hệ thống công nghệ yêu cầu phải cứng vững.

Khi tiện tích hợp rung theo phương tiếp tuyến với phôi, vận tốc cắt sẽ bị giới hạn bởi vận tốc rung. $V_c = \pi DN < V_t = 2\pi af$. Sự giảm lực cắt sẽ ít dần khi cắt ở tốc độ cao và tới một tốc độ cắt giới hạn, việc tích hợp rung không ảnh hưởng đến lực cắt.

Khi tiện tích hợp rung theo phương hướng kính, lực cắt giảm một chút nhưng lực đẩy lại tăng làm ảnh hưởng xấu đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công.

7. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Để khai thác triệt để ưu điểm, khắc phục nhược điểm và hoàn thiện công nghệ tiện tích hợp rung siêu âm, các hướng nghiên cứu sau có thể được khai thác:

Nghiên cứu cụ thể về động học, động lực học quá trình tiện rung tính đến ảnh hưởng rung động của hệ thống công nghệ.

Hoàn thiện các tính toán, thiết kế đầu

rung về hình dạng, kích thước và sự thanh đổi tương ứng khi thay đổi vật liệu làm đầu rung.

Tập trung nghiên cứu việc sử dụng dung dịch bôi trơn làm nguội, làm nguội tối thiểu, làm nguội đông lạnh để nâng cao hơn nữa hiệu quả của tiện tích hợp rung.

Đề xuất các hệ thống rung mới có chi phí thấp, dễ vận hành.

Ảnh hưởng của rung siêu âm dùng trong gia công đến sức khỏe con người và thiết bị trong hệ thống công nghệ.

8. KẾT LUẬN

Bài báo đã hệ thống lại kiến thức cơ bản về động lực học, hình thái phôi, các vấn đề về thiết bị và thông số rung, thông số công nghệ trong tiện tích hợp rung siêu âm 1D UAT, 2D UAT. Những hạn chế trong gia công các vật liệu khó cắt gọt bằng tiện truyền thống được đề cập, sự cải thiện những hạn chế đó và lý giải trong tiện rung cũng được trình bày để khẳng định UAT công nghệ phù hợp trong gia công những loại vật liệu khó cắt gọt. Các kết luận cụ thể có thể rút ra từ việc tổng hợp những nghiên cứu đã công bố về UAT:

Lực cắt giảm khi tiện các vật liệu khó gia công bằng tiện có tích hợp rung siêu âm. Sự giảm lực cắt là do cơ chế cắt gián đoạn trong tiện rung thay thế cơ chế cắt liên tục trong tiện truyền thống.

Việc lựa chọn thông số rung và thông số công nghệ phù hợp sẽ đóng một vai trò quan trọng trong việc tạo ra trạng thái tách biệt giữa dụng cụ cắt và phôi trong quá trình cắt.

Với những vật liệu gia công có tính dẫn

nhật kém, vấn đề mòn nhanh dụng cụ cắt trong tiện thông thường được khắc phục hiệu quả khi dụng cụ cắt được tích hợp rung siêu âm.

Ứng suất dư nén được tạo ra trong chi tiết sau gia công trong giúp tăng độ bền mỏi của chi tiết máy.

Những phân tích về phôi chỉ ra rằng, lực cắt phát được tạo ra nhỏ hơn và biến dạng dẻo tối thiểu được hình thành trong phôi khi gia công bằng tiện có tích hợp rung. ❖

Ngày nhận bài: **15/6/2018**

Ngày phản biện: **08/7/2018**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. 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.
- [2]. Shiplet, T., (1982), Hard Turning—A New Alternative to Grinding, The Carbide and Tool Journal, Jan.–Feb.
- [3]. 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.
- [4]. Viktoria Bana (2006), Manufacturing of high precision bores, Doctoral thesis 2006, Delft University of Technology, Holand.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. 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.
- [8]. 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.
- [9]. Zhou, M., & Hu, L. (2015). Development of an innovative device for ultrasonic elliptical vibration cutting. Ultrasonics, 60, 76–8
- [10]. Ahmed, N. Mitrofanov, A.V., Babitsky, V.I., & Silberschidt, V.V. (2006). Analysis of material response to ultrasonic vibration loading in turning Inconel 718. Materials Science and Engineering A, 424, 318–325.
- [11]. Maurotto, A., Muhammad, R., Roy, A., Babitsky, V.I., & Silberschmidt V.V. (2012a). Comparing machinability of Ti-15-3-3-3 and Ni-625 alloys in UAT. Procedia CIRP, 1, 330–335.
- [12]. Mitrofanov, A.V., Babitsky, V.I., Silberschmidt, V.V., 2003. Finite element simulations of ultrasonically assisted turning, Computational Materials Science 28, p. 645.
- [13]. Babitsky, V.I., Mitrofanov, A.V., Silberschmidt, V.V., 2004. Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study, Ultrasonics, 42, p. 81.
- [14]. Mitrofanov, A.V., Babitsky, V.I., Silberschmidt, V.V., 2004. Finite element analysis of ultrasonically assisted turning of Inconel 718, Journal of Materials Processing Technology 153, p. 233.
- [15]. Mitrofanov, A.V., Ahmed, N., Babitsky, V.I., Silberschmidt, V.V., 2005. Effect of lubrication and cutting parameters on ultrasonically assisted turning of Inconel 718. Journal of Materials Processing Technology 162–163, p. 649.
- [16]. C. Skelton, 1969. Effect of ultrasonic vibration on the turning process, Int.J. Mach. Tool Design Res. 9, 363–374.
- [17]. T. Moriwaki, E. Shamoto, 1991. Ultra precision diamond turning of stainless steel by applying ultrasonic vibration, Ann. CIPR 40 (1) 559–562.
- [18]. Agostino Maurotto, Riaz Muhammad, Anish Roy , Vadim V. Silberschmidt, 2013. Enhanced ultrasonically assisted turning of a b-titanium alloy, Ultrasonics 53, 1242–1250.
- [19] V.I. Babitsky, A.V. Mitrofanov, V.V. Silberschmidt, 2004. Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study, Ultrasonics 42, 81-86.
- [20]. Denyer, D., & Tranfield, .D. (2009). Producing a Systematic Review., The SAGE handbook of organisational research methods, 671–689.
- [21]. Cerniway MA. Elliptical diamond milling: kinematics, force, and tool wear. MS thesis. North Carolina State University; 2001.
- [22]. Klocke F, Demmer A, Heselhaus M. Material removal mechanisms in ultrasonic-assisted diamond turning of brittle materials. Int J Mater Product Technol 2004;20:231–8.
- [23] Rubenach O. From process innovation to product innovation—ultrasonic assisted diamond turning of optical glass. Ind Diamond Rev 2003:41–7.
- [24]. 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.
- [25]. V.K. Astashev, 1992. Effect of ultrasonic vibrations of a single point tool on the process of cutting, J. Mach. Manuf. Reliability 5 (3) pp. 65–70.
- [26]. T. Moriwaki, E. Shamoto, K. Inoue, 1992. Ultra precision ductile cutting by applying ultrasonic vibration, Ann. CIPR 41 (1) pp. 141–144.
- [27]. 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.
- [28]. 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

- [29]. 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.
- [30]. Chen Zhang, Ping Guo, Kornel F. Ehmann, Yingguang Li, 2016. Effects of ultrasonic vibrations in micro-groove turning, *Ultrasonics* 67, pp 30–40
- [31]. Zhang, R.a, Steinert, P.a,*, Schubert, A, 2014. Microstructuring of surfaces by two-stage vibration-assisted turning, *Procedia CIRP* 14, pp 136 – 141.
- [32]. Andreas Nestler, Andreas Schubert, 2014. Surface Properties in Ultrasonic Vibration Assisted Turning of Particle Reinforced Aluminium Matrix Composites, *Procedia CIRP* 13, pp 125 – 130.
- [33] Vadim V. Silberschmidt, Sameh M. A. Mahd, Moustafa A. Goud, Ahmed Naseer, Agostino Maurotto, Anish Roy, 2014. Surface-roughness improvement in ultrasonically assisted turning, *Procedia CIRP* 13, pp 49 – 54.
- [34]. Naseer Ahmed, 2013. Ultrasonically Assisted Turning: Effects on Surface Roughness, *World Applied Sciences Journal* 27 (2), pp: 201-206
- [35]. 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.
- [36]. Ding-Yeng Chen, Chung-Chen Tsao, Mao-Yong Lin, Che-Hsiung Tsai, Chun-Yao Hsu, 2012. Ultrasonic-assisted on the turning of Inconel 718 by Taguchi method, *Advanced Materials Research Vol* 579, pp 160-173.
- [37]. B. Azarhoushang, J. Akbari, 2007. Ultrasonic-assisted drilling of Inconel 738-LC, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47, pp 1027–1033.
- [38]. Chetan, Ghosh, S., & Venkateswara Rao, P. (2015). Application of sustainable techniques in metal cutting for enhanced machinability: a review. *Journal of Cleaner Production*, 100, 17–34.
- [39]. Sharma, V., & Pandey, P. (2016). Study of ultrasonic assisted turning of 4340 steel with plane and self-lubricating cutting inserts. Accepted in the Proceedings of the 2016 Manufacturing Science and Engineering Conference.