

**MỐI QUAN HỆ GIỮA CHẾ ĐỘ CẮT VÀ TUỔI BỀN CỦA DAO PHAY CẦU PHỦ TiAlN KHI GIA CÔNG THÉP Cr12MoV QUA TÔI**  
**RELATIONSHIP BETWEEN CUTTING PARAMETERS AND TOOL LIFE OF TiAlN COATED BALL END MILLS USING TO MACHINE HARDENED Cr12MoV STEEL**

*Nguyễn Quốc Tuấn*  
 Đại học Thái Nguyên

**TÓM TẮT**

Việc sử dụng dao phay đầu cầu, đặc biệt là dao phay phủ bay hơi các vật liệu CBN, TiAlN, TiN... trên các máy phay CNC nhiều trục cho phép gia công các bề mặt phức tạp với năng suất và giá thành hạ hơn so với các phương pháp gia công không truyền thống như: Gia công bằng tia lửa điện, gia công điện hoá, gia công bằng siêu âm... Tuy nhiên, mối quan hệ giữa chế độ cắt và tuổi bền của dao phay đầu cầu khi phay thép hợp kim cao còn nhiều vấn đề cần nghiên cứu. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về mối quan hệ giữa chế độ cắt và tuổi bền của dao phay đầu cầu khi cắt ở đỉnh dao khi gia công vật liệu Cr12MoV qua tôi. Kết quả nghiên cứu giúp các nhà kỹ thuật có thể tham khảo để sử dụng dao phay đầu cầu phủ TiAlN một cách hợp lý.

**ABSTRACT**

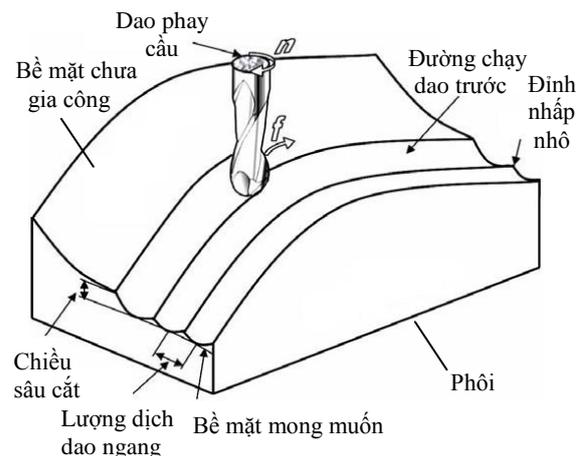
In practice, the use of ball end mills especially coated ones with different coated materials such as CBN, TiAlN or TiN... permits to machine extremely complicating surfaces, increasing the cutting tool performance, reducing the machining cost in comparison with advanced machining methods such as electrodischarge machining, electrochemical machining, ultrasonic machining... However, the relation between the cutting parameters and life of a such tool has not been well understood. This paper presents a research involving with the relation between the cutting parameters and the ball endmill life when machining hardened Cr12MoV steel at the tool top. The results of the research allow technicians to use as a reference for a better performance of the ball end mill.

**I. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Trong ngành chế tạo máy và ngành công nghiệp khuôn mẫu nhiều chi tiết có bề mặt cong phức tạp được sử dụng. Không những có bề mặt phức tạp mà những chi tiết này còn làm bằng vật liệu khó gia công như hợp kim có độ bền cao, thép chịu nhiệt, thép không gỉ, thép đã tôi... Hiện nay, việc gia công những bề mặt phức tạp này có một số phương pháp như: Gia công bằng điện hoá, gia công bằng siêu âm, gia công bằng tia lửa điện [1]. Những phương pháp gia công này tồn tại một số nhược điểm đó là: Giá thành đầu tư cao, năng suất gia công thấp dẫn đến giá thành của chi tiết gia công cao.

Việc chế tạo ra dao phay đầu cầu, đặc biệt là sử dụng dao phay đầu cầu phủ các vật liệu CBN, TiAlN, TiN... trên các máy CNC nhiều trục cho phép gia công các bề mặt phức tạp, với năng suất gia công cao hơn rất nhiều so với các phương pháp gia công không truyền thống. So với dụng cụ cắt thông thường thì dao

phay đầu cầu, đặc biệt là dao phay đầu cầu phủ có giá thành cao hơn nhiều.



Hình 1. Phay bằng dao phay cầu

Quá trình cắt bằng dao phay đầu cầu rất phức tạp vì lưỡi cắt của dao phay được bố trí trên mặt cầu. Khi gia công bề mặt phức tạp bằng dao phay đầu cầu, bề mặt gia công được

hình thành theo sự điều khiển vị trí tương đối giữa dao và phôi như ở hình 1. Do dao có hình dạng chòm cầu nên trên bề mặt của chi tiết gia công giữa 2 đường chạy dao còn một dải kim loại không cắt được tạo nên giữa hai đường cắt. Giảm lượng dịch dao ngang và tăng đường kính đầu cầu sẽ giảm được chiều cao nhấp nhô.

Khi cắt bằng dao phay đầu cầu, thường ít khi đường kính lớn nhất của dao tham gia cắt gọt, mà chỉ có chiều dài ngắn của lưỡi cắt tham gia vào quá trình cắt gọt ở đường kính hiệu quả, đường kính này được dùng để tính toán tốc độ quay của trục chính và để xác định đường kính cắt gọt thực tế ở chiều sâu cắt ap như được mô tả ở hình 2, theo [2] tốc độ cắt thể tính toán theo công thức sau:

- Với kiểu cắt dùng lưỡi cắt bên để cắt, tính toán tốc độ cắt ở điểm P ta có :

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot \sin \theta \cdot n}{1000} \text{ (m/ phut)} \quad (1)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{D_1 - 2ap}{D_1} \right) + 90 - \alpha \quad (2)$$

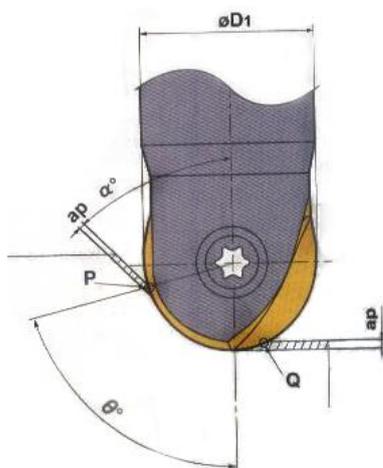
- Với kiểu cắt dùng đỉnh dao cắt, tính toán chế độ cắt cho điểm Q ta có:

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot \sin \theta \cdot n}{1000} \text{ (m/ phut)} \quad (3)$$

Ở đây: n là tốc độ quay của trục chính (vòng/phút).

$D_1$  là đường kính dao phay đầu cầu.

ap là chiều sâu cắt.



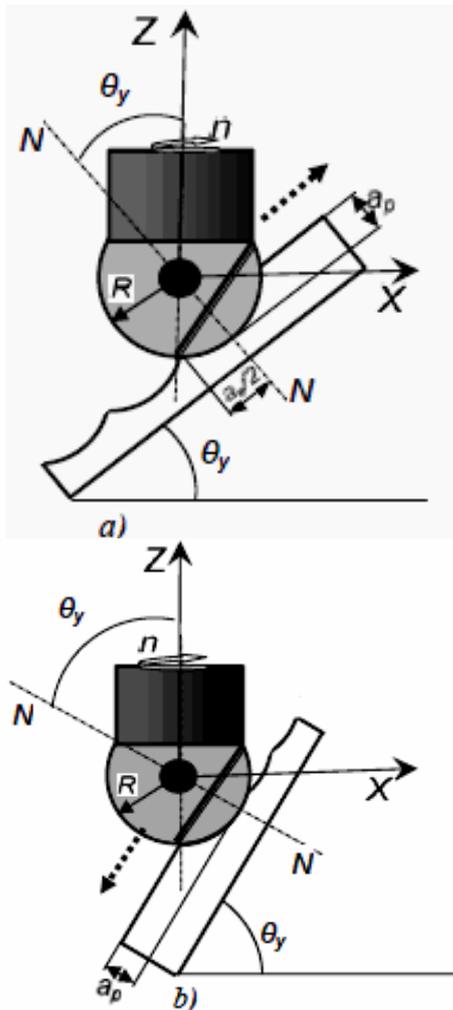
Hình 2. Sơ đồ xác định tốc độ cắt

Như vậy, nếu với cùng một số vòng quay của trục chính thì khi vị trí cắt thay đổi tốc độ cắt cũng thay đổi, để tốc độ cắt không thay đổi thì phải thay đổi số vòng quay của trục chính. Trong quá trình cắt gọt tốc độ cắt tại đỉnh dụng cụ luôn bằng không [3]. Đây là lý do tại sao khi gia công bề mặt bằng đỉnh dao thì dụng cụ cắt nhanh mòn và khi gia công tinh sử dụng máy phay CNC ba trục thì vị trí tương quan giữa trục dụng cụ và bề mặt gia công là rất quan trọng để đạt được chất lượng bề mặt tối ưu, tuổi thọ dụng cụ lớn nhất.

Trong công nghiệp khuôn mẫu, vật liệu Cr12MoV được dùng phổ biến. Để đạt được yêu cầu kỹ thuật của khuôn mẫu, nhiều khi phải gia công khi phôi đã được tôi cứng đạt độ cứng HRC40-45, gia công vật liệu này có thể sử dụng các loại dao phay đầu cầu phủ CBN, TiAlN [2]. Loại dao phủ TiAlN được dùng nhiều vì có giá thành thấp hơn loại phủ CBN. Chế độ cắt của dao phay phủ TiAlN đã được nhà sản xuất dụng cụ hướng dẫn sử dụng, tuy nhiên chế độ cắt này có khoảng rất rộng và không có ứng dụng cụ thể. Đã có một số nghiên cứu về mòn và tuổi thọ của dao phay đầu cầu [4, 5], nhưng nghiên cứu mòn và tuổi bền của dao phay đầu cầu phủ TiAlN khi gia công thép Cr12MoV đã tôi cứng thì chưa có tài liệu nói đến. Bài báo này chỉ trình bày những nghiên cứu về mối quan hệ giữa chế độ cắt và tuổi bền của dao phay đầu cầu phủ TiAlN khi cắt ở đỉnh trong trường hợp gia công thép Cr12MoV đã tôi, từ đó phép chọn chế độ cắt hợp lý để nâng cao tuổi bền của dao, hạ giá thành sản phẩm.

## II. ĐIỀU KIỆN ĐỂ ĐỈNH DAO CẦU THAM GIA CẮT

Như trên đã nói, đoạn lưỡi cắt của dao phay đầu cầu tham gia cắt phụ thuộc vào vị trí tương quan giữa trục dao và bề mặt gia công. Để xác định điều kiện để đỉnh dao tham gia cắt có thể sử dụng sơ đồ cắt hình 3. Ở sơ đồ này vị trí của dao phay được xác định trong hệ tọa độ đề các theo tiêu chuẩn ISO R-841-1968 đối với máy phay CNC, góc tọa độ là tâm của chòm cầu. Vị trí tương quan giữa dao và phôi được xác định thông qua góc nghiêng  $\theta_y$  là góc hợp bởi bề mặt pháp tuyến với bề mặt gia công và trục dao phay (quay quanh trục Y).



Hình 3. Phương thức chuyển dao khi phay bằng dao phay cầu.

a- Chuyển dao từ dưới lên.

b- Chuyển dao từ trên xuống.

Điều kiện của góc nghiêng để đỉnh dao phay đầu cầu tham gia cắt là:

- Trường hợp chạy dao theo đường nằm ngang, hướng cắt từ dưới lên trên (Hình 2a).

$$\theta_y \leq \arcsin\left(\frac{a_e}{2R}\right), \quad (4)$$

- Trường hợp chạy dao theo đường nằm ngang, hướng cắt từ dưới lên trên (Hình 2a).

$$\theta_y \leq \arcsin\left(\frac{R - a_p}{R}\right), \quad (5)$$

Ở đây:  $a_e$  là lượng dịch dao ngang,  $R$  là bán kính của dao phay đầu cầu,  $a_p$  là chiều sâu cắt.

### III. THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH MỐI QUAN HỆ GIỮA CHẾ ĐỘ CẮT VÀ TUỔI BỀN CỦA DỤNG CỤ CẮT

#### 3.1 Trang thiết bị thí nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành trên Trung tâm gia công VMC-85S của hãng Maximart; Dụng cụ cắt được sử dụng là dao phay đầu cầu  $\phi 10$  phủ TiAlN hai lưỡi cắt VP15TF của hãng Mitsubishi - Nhật Bản, số lưỡi cắt  $Z = 2$ , thông số hình học  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 5^\circ$ ; Dụng cụ đo kiểm sử dụng cho thí nghiệm gồm máy đo nhám bề mặt SJ 201 của Mitutoyo và kính hiển vi điện tử; Vật liệu phôi là thép hợp kim Cr12MoV, có thành phần hoá học (%) như bảng 1. Phôi được tôi thể tích, độ cứng của phôi khoảng HRC 40 - 45.

Bảng 1. Thành phần hoá học của thép Cr12MoV.

C	Si	P	S	Cr	Cu	V	Mo	Mn
1.57	0.29	0.020	0.019	11.46	0.19	0.19	0.44	0.25

#### 3.2 Chế độ công nghệ

- Vận tốc cắt  $V = 50 \div 110$ (m/phút).

- Lượng chạy dao  $S = 0,1 \div 0,3$  (mm/răng)

- Nghiên cứu tuổi bền của dao tại đỉnh của dao ứng với chiều sâu cắt  $a_p = t = 0,5$  mm.

- Sử dụng tưới nguội dung dịch Emusil: Mira EM40 5%.

#### 3.3 Mô hình toán học

Mô hình toán học để xác định tuổi bền của dao phay đầu cầu phủ TiAlN khi gia công thép hợp kim Cr12MoV trong nghiên cứu này được lựa chọn trên cơ sở phương trình cơ bản tuổi bền của Taylor [6]:

$$V \cdot T^n = C_t \quad (6)$$

trong đó:

-  $T$  là tuổi bền (phút)

-  $V$  là vận tốc cắt (m/phút)

-  $C_t$  là hằng số.

Phương trình Taylor mở rộng bao gồm cả ảnh hưởng của lượng chạy dao và chiều sâu cắt được viết như sau phương trình sau:

$$T = a_0 V^{a_1} \cdot S^{a_2} \cdot t^{a_3} \quad (7)$$

Trên cơ sở đó khi cố định chiều sâu cắt  $t = 0,5$  (mm) ta có:

$$\ln T = a_0 + a_1 \ln V + a_2 \ln S \quad (8)$$

Phương trình 8 là mô hình toán học được lựa chọn để xác định tuổi bền của dao phay đầu cầu.

Tuổi bền của dao phay đầu cầu có thể được xác định bắt đầu từ khi dao bắt đầu cắt cho đến khi bắt đầu diễn ra giai đoạn mòn khốc liệt ứng với mỗi chế độ cắt xác định. Quá trình mòn của dụng cụ ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt gia công và được thể hiện rõ qua sự thay đổi về độ nhám bề mặt. Khi dao tiến đến giai đoạn mòn khốc liệt là lúc giá trị độ nhám bề mặt có sự thay đổi lớn. Đó là cơ sở dùng để xác định tuổi bền của dụng cụ.

Bảng 2. Độ nhám của chi tiết gia công ứng với các chế độ cắt khác nhau.

Thời gian (Phút)	$v = 50$ (m/p) $s = 0,1$ (mm/r)		Thời gian (Phút)	$v = 110$ (m/p) $s = 0,1$ (mm/r)	
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )		Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
0,5	1,12	4,17	0,5	0,76	2,15
1,5	1,21	4,29	1,5	0,85	2,57
3,0	1,36	4,57	2,5	0,98	3,02
5,0	1,78	5,27	3,0	1,12	3,67
6,0	1,85	6,89	3,5	1,29	4,43
7,0	2,18	7,45	4,0	1,48	5,74
7,2	2,31	8,12	4,5	1,86	7,08
7,5	3,35	13,06	4,8	3,32	13,54

Thời gian (Phút)	$v = 50$ (m/p) $s = 0,3$ (mm/r)		Thời gian (Phút)	$v = 110$ (m/p) $s = 0,3$ (mm/r)	
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )		Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
0,5	5,67	24,76	0,5	1,67	7,79
1,0	5,76	25,17	1,0	1,85	8,37
2,0	6,03	25,75	2,0	2,09	9,74
3,0	6,31	26,21	2,5	2,45	11,07
4,5	6,78	27,56	3,0	2,84	13,11
5,0	7,15	28,71	3,5	3,68	15,21
5,2	8,09	29,87	4,0	5,39	17,28
5,5	16,12	44,68	4,1	9,74	39,75

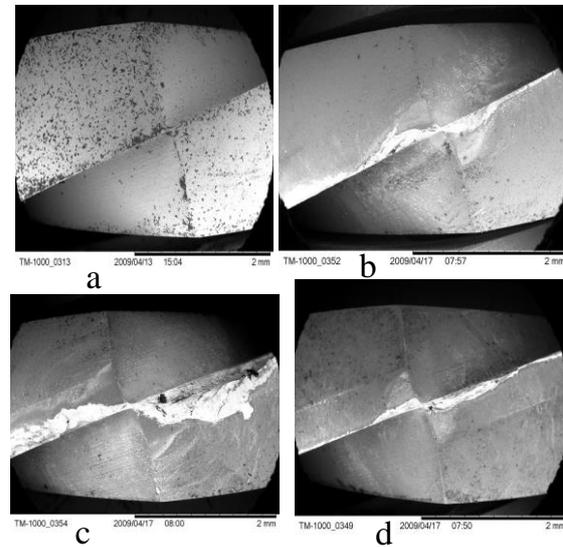
  

Thời gian (Phút)	$v = 80$ (m/p) $s = 0,2$ (mm/r)		Thời gian (Phút)	$v = 80$ (m/p) $s = 0,2$ (mm/r)	
	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )		Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
0,5	0,57	4,52	0,5	0,58	4,54
1,5	0,81	4,87	1,5	0,85	4,88
2,5	1,26	5,46	2,5	1,29	5,49
3,5	1,84	6,75	3,5	1,91	6,79
4,5	2,67	7,84	4,5	2,67	7,94
5,0	3,08	9,05	5,0	3,08	9,15
6,1	3,85	10,67	6,0	3,85	10,87
6,2	9,98	28,58	6,1	9,98	29,53

### 3.4 Thí nghiệm và xử lý kết quả.

Bảng 2 là kết quả đo độ nhám trên chi tiết gia công theo phương chuyển động chạy dao ứng với các chế độ cắt khác nhau và thời gian gia công khác nhau.

Trong quá trình gia công đỉnh của dao phay đầu cầu bị mòn, các hình 4 a, b, c, d là ảnh chụp bằng kính hiển vi điện tử ở một số chế độ cắt và thời gian cắt thí nghiệm.



Hình 4. a - Đỉnh dao khi chưa gia công; b-Đỉnh dao sau 3,0 phút gia công với  $V = 110$  (m/phút),  $S = 0,3$ (mm/ răng); c-Đỉnh dao sau 4,1 phút gia công với  $V = 110$  (m/phút),  $S = 0,3$ (mm/ răng); d -Đỉnh dao sau 7 phút gia công với  $V = 50$  (m/phút),  $S = 0,1$ (mm/ răng).

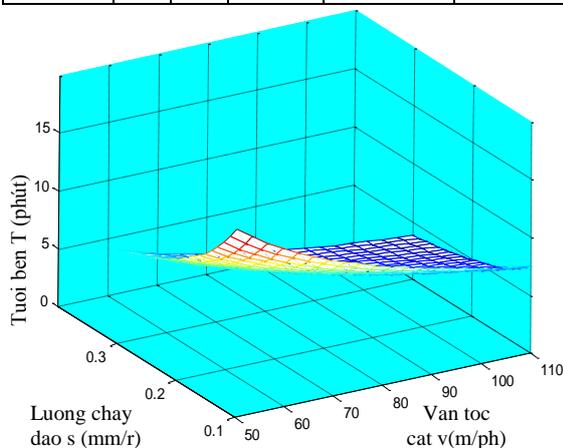
Qua thí nghiệm và ảnh chụp bằng kính hiển vi điện tử cho thấy việc xác định tuổi bền của dao phay đầu cầu thông qua chỉ tiêu độ nhám bề mặt là hoàn toàn hợp lý. Các ảnh chụp vết mòn của đỉnh dao phay đầu cầu bằng kính hiển vi (Hình 4) và bảng 2 cho thấy ở chế độ cắt  $V = 110$  (m/phút)  $S = 0,3$ (mm/ răng),  $t = 0.5$ mm, khi cắt đến thời gian 3,5 phút  $Rz = 15,21\mu\text{m}$ ; khi cắt đến thời gian 4,0 phút  $Rz = 17,28\mu\text{m}$ ; khi cắt đến thời gian 4,1 phút  $Rz$  thay đổi đột ngột  $Rz = 39,75\mu\text{m}$ . Như vậy, tuổi bền của dao là 4,0 phút, khi này dao mòn đến cuối giai đoạn 2 của quá trình mòn, nếu cắt thêm một thời gian ngắn nữa thì phôi sẽ bị phá hủy. Hình 4d khi cắt đến thời gian 4,1 phút thì lưỡi cắt bị phá hủy.

Bảng 3 là các thông số thí nghiệm áp dụng phương pháp bình phương cực tiểu. Bố trí thí nghiệm sao cho có tính chất của ma trận trực giao cấp 1. Từ các thông số thực nghiệm xác định được phương trình hồi quy (11) và xây dựng được đồ thị (hình 5) thể hiện quan hệ giữa chế độ cắt V, S với tuổi bền của dao phay cầu phủ TiAlN, trong trường hợp gia công thép hợp kim Cr12MoV qua tôi đạt độ cứng 40–45HRC khi t = 0,5 (mm).

$$T = e^{5,875} \cdot V^{-0,925} \cdot S^{-0,575} \text{ (phút)} \quad (11)$$

Bảng 3: Các thông số thí nghiệm.

STT	Biến thực nghiệm				
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	V (m/p)	S (mm/r)	T (phút)
1	-1	-1	50	0,1	7,2
2	+1	-1	110	0,1	4,5
3	-1	+1	50	0,3	5,2
4	+1	+1	110	0,3	4,0
5	0	0	80	0,2	6,1
6	0	0	80	0,2	6,0



Hình 5. Đồ thị biểu thị quan hệ giữa v, s khi t = 0,5 mm với tuổi bền của dao

#### IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu mối quan hệ giữa chế độ cắt và tuổi bền của dao phay đầu cầu phủ TiAlN khi cắt ở đỉnh trong trường hợp gia công thép hợp kim X12M qua tôi đạt độ cứng 40 – 45 HRC có nhận xét sau:

- ❖ Dao phay đầu cầu phủ TiAlN có khả năng gia công được thép đã tôi, có thể sử dụng tốt để gia công các bề mặt phức tạp trong lĩnh vực chế tạo máy, đặc biệt là trong lĩnh vực chế tạo khuôn mẫu khi vật liệu gia công đã được tôi cứng.
- ❖ Xác định được điều kiện để tránh hiện tượng đỉnh dao phay đầu cầu tham ra vào quá trình cắt gọt.
- ❖ Xác định được mối quan hệ giữa chế độ cắt và tuổi bền của dao phay đầu cầu phủ TiAlN khi cắt ở đỉnh trong trường hợp gia công thép hợp kim Cr12MoV qua tôi đạt độ cứng 40 – 45 HRC (công thức 11), từ đó có thể khai thác việc sử dụng dao cầu một cách hợp lý.
- ❖ Cơ chế cắt của dao phay đầu cầu rất phức tạp, vị trí của lưỡi cắt thay đổi phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa dao và phôi, quá trình mòn của từng vị trí của lưỡi cắt khác nhau. Vì vậy, để sử dụng hiệu quả dao phay đầu cầu cần xác định mối quan hệ giữa tuổi bền của dao và chế độ cắt cho từng vị trí trên chiều dài của lưỡi cắt.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Dr. V. Babeş; Geometric method of undeformed chip study in ball nose end milling; The International conference of the carpathian Euro-region specialists in industrial systems - 2007.
2. MITSUBISHI; Turning tools, rotating tools, tooling solutions; General catalogue - 2008.
3. Marius Cosma; Horizontal path strategy for 3D-CAD analysis of chip area in 3 – axes ball nose end milling; International multidisciplinary conference, Romania, May 17-18, 2007 ISSN-1224-3264.
4. Hiroyasu Iwabe and Kazufumi Enta; Tool Life of Small Diameter Ball End Mill for High Speed Milling of Hardened Steel– Effects of the Machining Method and the Tool Materials; Int. J. of Automation Technology Vol.2No.6, 2008.
5. D.K.Aspinwall, R.C.Dews; The influence of cutter orientation and workpiece angle on machinability when high-speed milling Inconel 718 under finishing conditions; International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume 47(2007) 1839 – 1846.
6. Milton C.Shaw; Metal cutting principles; Second Edition, Oxford university press - 2005.

Địa chỉ liên hệ: Nguyễn Quốc Tuấn - Tel: 0913.364.889, Email: quoctuan\_dcdvl@yahoo.com