

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI TIỆN CAO TỐC HỢP KIM TITAN BT14 BẰNG PHƯƠNG PHÁP BỀ MẶT ĐÁP ỨNG (RSM)

STUDY ON THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS IN HIGH SPEED TURNING TITANIUM ALLOY BT14 USING THE RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)

KS. Đỗ Văn Toàn

Nhà máy Z183, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt chi tiết khi tiện cao tốc hợp kim Titan BT14 trên máy tiện CNC. Các thông số công nghệ ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt được nghiên cứu trong bài báo là tốc độ cắt, lượng chạy dao và chiều sâu cắt. Các tác giả đã sử dụng phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) với thiết kế cấu trúc tổ hợp (CCD) để xác định phương trình quan hệ của 3 thông số trên với độ nhám. Kết quả nghiên cứu là các đồ thị ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt chi tiết gia công. Phân tích cho thấy, các thông số công nghệ trên đều có ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt Ra, trong đó lượng chạy dao có ảnh hưởng lớn nhất. Giá trị Ra nhỏ nhất đạt được theo dự đoán của mô hình là 0,25 μm trong khi giá trị này thu được từ thực nghiệm kiểm chứng là 0,259 μm , sai lệch nhỏ hơn 5% cho thấy sự tin cậy của kết quả nghiên cứu.

Từ khóa: Hợp kim titan, hợp kim titan BT14, tiện cao tốc, độ nhám bề mặt, thông số công nghệ, RSM, CCD, tối ưu hóa.

ABSTRACT

This paper presents the research results about the influence of technological parameters on the surface roughness with high speed turning Titanium alloy BT14 on a CNC lathe. The technological parameters studied in the paper are cutting speed, feed rate and depth of cut. The authors have used Response Surface Methodology (RSM) with central composite design (CCD) to determine the relationship of three above parameters and the surface roughness. The research results are the graphs, which show the influence of technological parameters on the surface roughness of the workpiece. Analysis showed that all of the above technological parameters have effect on the surface roughness Ra, but the feed rate has the greatest effect. The minimum value Ra is predicted by the model is 0,25 μm , while the value of examining experiment is 0,259 μm , the 5% less deviation indicates the reliability of the research results.

Keywords: Titanium alloys, titanium alloy BT14, high speed turning, surface roughness, technological parameters, RSM, CCD, Optimization.

1. MỞ ĐẦU

Nhờ các đặc tính như: Độ bền riêng cao, độ bền nhiệt cao, chống ăn mòn, kháng từ... nên hợp kim titan được ứng dụng ngày càng nhiều trong các ngành Công nghiệp hàng không, không gian, vũ khí, ô tô, y tế... Tuy nhiên, do modun đàn hồi nhỏ, hệ số truyền nhiệt thấp, độ bền và bền nhiệt cao nên hợp kim titan là vật liệu khó gia công bởi dao bị mòn nhanh dẫn đến chất lượng bề mặt thấp... Một giải pháp đã được các nhà nghiên cứu ứng dụng để khắc phục nhược điểm này là công nghệ gia công cao tốc.

Đã có khá nhiều công trình nghiên cứu về gia công cao tốc hợp kim titan, trong đó có những nghiên cứu về ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt. Che-Haron [1], thực hiện các nghiên cứu thực nghiệm về gia công hợp kim titan sử dụng dụng cụ cacbit vonfram đơn thuần. Khi đánh giá ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt, nghiên cứu đã cho thấy rằng, độ nhám bề mặt sẽ cao hơn nếu gia công ở tốc độ cắt nhỏ hơn 60 m/phút. Ngược lại, tốc độ cắt tăng lên đến 90 m/phút, độ nhám sẽ giảm. Các phản ứng hóa học của vật liệu gia công tiếp tục tăng lên với tốc độ cắt cao hơn 110 m/phút và do đó dẫn đến sự phá hủy nhanh chóng của dụng cụ cắt. Kết quả là độ nhám bề mặt tăng lên. Zoya và Krishnamurthy [2] khi nghiên cứu về tiện cao tốc hợp kim titan đã lưu ý rằng, các bề mặt gia công tinh sẽ được nâng cao chất lượng với tốc độ cắt 185 m/phút. Nhưng trên tốc độ cắt này, độ nhám bề mặt tăng theo cấp số nhân. Ribeiro et al [3], trong khi gia công với dụng cụ hợp kim cứng không tráng phủ đã cho thấy rằng độ nhám bề mặt giảm khi tốc độ cắt tăng từ 55 m/phút đến 90 m/phút. Ngược lại, các tác

giả cũng đã nhận thấy sự gia tăng đột ngột của độ nhám bề mặt ở tốc độ lớn hơn 110 m/phút. Nabhani [4] nghiên cứu tác động của các loại dụng cụ cắt đến độ nhám bề mặt khi tiện hợp kim titan TA48 cán và ủ với các dụng cụ là PCBN và PCD. Kết quả cho thấy chất lượng bề mặt của phôi đạt được bằng dụng cụ PCD là tốt hơn so với PCBN và các loại hợp kim cứng có lớp phủ khác.

Có thể nhận thấy, do các thí nghiệm được thực hiện chủ yếu với mác hợp kim Ti6Al4V (BT6) nhưng trên các mô hình khác nhau, nên các nhận định đưa ra chỉ có sự thống nhất tương đối về định tính. Để có thể ứng dụng các nghiên cứu này vào một mô hình gia công cụ thể với mác hợp kim khác nhau, bằng những dụng cụ khác nhau cần thiết phải có những thử nghiệm riêng.

Với mục đích đó, tác giả bài báo đã thực hiện nghiên cứu này nhằm góp phần giúp các nhà máy quốc phòng làm chủ công nghệ chế tạo các chi tiết được chế tạo từ hợp kim titan BT14 của Tên lửa IGLA và một số loại Tên lửa khác, rộng hơn nữa là các chi tiết trong ngành Hàng không, vũ trụ, y tế v.v..

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Vật liệu của mẫu sử dụng cho nghiên cứu này là hợp kim titan BT14, thuộc nhóm $(\alpha+\beta)$, độ cứng đo theo thang Brinen là 320 HB. Thành phần hóa học theo Bảng 1, cơ tính theo Bảng 2. Mẫu có đường kính $\Phi 50\text{mm}$. Một đầu được tiện hạ bậc để gá trên mâm cặp, một đầu có lỗ chống tâm, chiều dài phần dùng cho tiện thực nghiệm là 40mm. Lớp ngoài được tiện trắng, hết các khuyết tật trước khi tiến hành thí nghiệm.

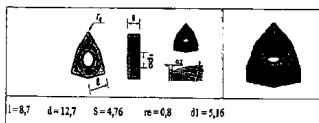
Bảng 1. Thành phần hóa học của hợp kim BT14

Fe	C	Si	Mo	V	N	Ti	Al	Zr	O	H	Tạp chất
max 0,25	max 0,1	max 0,15	2,5-3,8	0,9-1,9	max 0,05	86,85-92,8	3,5-6,3	max 0,3	max 0,15	max 0,015	max 0,3

Bảng 2. Cơ tính của phối cân thanh hợp kim BT14

σ_b (Mpa)	δ (%)	ψ (%)	a_z (KJ/m ²)
865-1080	> 8	25-35	450-500

Dụng cụ dùng cho thí nghiệm là mũi dao có ký hiệu *WNMG 080408-ZF của hãng Tungaloy (hình 1). Mũi dao có phủ lớp TiCN + Al₂O₃(α), được thiết kế dùng cho gia công tinh.



Hình 1. Mũi dao *WNMG 080408-ZF và các thông số chính

Thiết bị dùng cho thí nghiệm là máy tiện CNC Takisawa EX-108. Máy dùng hệ điều khiển Fanuc 21i-TB, tốc độ tối đa của trục

chính là 4200 vòng/phút. Thiết bị đo độ nhám có ký hiệu TR200. Các thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện có sử dụng phương pháp bôi trơn, làm nguội dạng lũ với dung dịch dầu khoáng hòa tan trong nước.

Thiết kế thực nghiệm sử dụng phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM - Response Surface Methodology) với thiết kế cấu trúc có tâm (CCD - Central Composite Design) được tích hợp trong phần mềm Design Expert. Trong tùy chọn của CCD, chọn phương án trực giao cấp hai (Orthogonal Quadratic) với số điểm tâm là 1, giá trị mở rộng α sẽ được tự động tính toán bằng 1,215. Trị số các mức của các thông số chế độ cắt theo CCD được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông số chế độ cắt và các mức của nó dùng trong thực nghiệm:

Biến thực	Biến mã hóa	Đơn vị	Mức nghiên cứu				
			-1,215	-1	0	+1	+1,215
Vận tốc cắt Vc	A	m/phút	95	110	180	250	265
Lượng chạy dao: S	B	mm/vòng	0,023	0,05	0,175	0,3	0,327
Chiều sâu cắt: t	C	mm	0,025	0,1	0,45	0,8	0,875

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ma trận và kết quả thực nghiệm

Để đảm bảo số bậc tự do của lỗi thuần (pure error) lớn hơn 4 và tăng độ chính xác khi tính toán độ cong của bề mặt đáp ứng, số điểm tâm sẽ được chèn thêm 5 điểm so với ban đầu. Như vậy, sẽ có 20 thí nghiệm cần phải thực hiện. Kết quả thực nghiệm được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Bảng ma trận và kết quả thực nghiệm theo thiết kế cấu trúc có tâm:

TI	A	B	C	Ra (μm)
1	-	-	-	0.393
2	+	-	-	0.344
3	-	+	-	1.825
4	+	+	-	1.715
5	-	-	+	0.362
6	+	-	+	0.305
7	-	+	+	2.237
8	+	+	+	2.176
9	$-\alpha$	0	0	0.905
10	$+\alpha$	0	0	0.723
11	0	$-\alpha$	0	0.309
12	0	$+\alpha$	0	2.437
13	0	0	$-\alpha$	0.657
14	0	0	$+\alpha$	0.945
15	0	0	0	0.805
16	0	0	0	0.785
17	0	0	0	0.836
18	0	0	0	0.743
19	0	0	0	0.857
20	0	0	0	0.812

Kết quả nghiên cứu được phân tích bằng phần mềm Design- Expert 8.0.5, Stat- Ease, Inc., Minneapolis, USA.

3.2. Phân tích ANOVA

Phân tích sự phù hợp của mô hình và sự có nghĩa của mô hình được đánh giá qua phân tích ANOVA (bảng 5) và các chỉ số tương quan (bảng 6). Sự có nghĩa của các hệ số hồi quy được kiểm định bởi chuẩn Fisher: F, với các giá trị $P < 0,05$ cho biết các hệ số hồi quy có nghĩa. Như vậy, bảng 6 cho thấy giá trị $F_{\text{của}}$ mô hình là 486,34 và mô hình hoàn toàn có ý nghĩa thống kê với độ tin cậy lớn hơn 99,99% ($P < 0,0001$). Các yếu tố A; B; C; BC; B² có giá trị $P < 0,05$ là các yếu tố có nghĩa. Các yếu tố AB; AC, A²; C² có giá trị $P > 0,05$ là các yếu tố không có nghĩa. Thêm vào đó, chuẩn F cho sự không tương thích (Lack of Fit) bằng 1,52 ứng với giá trị $P = 0,3294 > 0,05$, điều đó chứng tỏ mô hình hoàn toàn tương thích với thực nghiệm. Kết quả phân tích ANOVA cũng cho thấy giá trị R² (R- Squared) bằng 0,9977 (bảng 6) gần bằng 1, hơn nữa giá trị R² dự đoán (Pre R- Square) là 0,9878 phù hợp với R² hiệu chỉnh (Adj R- Squared) là 0,9957 (độ lệch là 0,0079 < 0,2) chứng tỏ mô hình tương thích với thực nghiệm. Tỷ lệ tín hiệu so với nhiễu (Adeq- Precisor) là 65,949 > 4, thể hiện tín hiệu đã đầy đủ. Mô hình này có đủ điều kiện để ứng dụng.

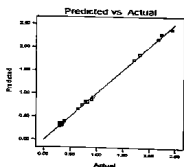
Bảng 5. Bảng phân tích ANOVA

Yếu tố	Tổng bình phương	Bậc tự do	Trung bình bình phương	Giá trị F	Giá trị P Prob > F	
Mô hình	8.75	9	0.97	486.34	< 0.0001	Tin cậy
A- Vc	0.023	1	0.023	11.33	0.0072	
B- S	7.62	1	7.62	3809.12	< 0.0001	
C- t	0.12	1	0.12	60.68	< 0.0001	
AB	5.281E-004	1	5.281E-004	0.26	0.6185	
AC	2.101E-004	1	2.101E-004	0.11	0.7525	
BC	0.11	1	0.11	55.58	< 0.0001	
A ²	3.251E-005	1	3.251E-005	0.016	0.9011	
B ²	0.76	1	0.76	382.19	< 0.0001	
C ²	6.847E-004	1	6.847E-004	0.34	0.5714	
Phần dư	0.020	10	2.000E-003			
Không tương thích	0.012	5	2.411E-003	1.52	0.3294	Không tin cậy
Sai số thuần	7.947E-003	5	1.589E-003			
Tổng tương quan	8.77	19				

Bảng 6. Kết quả phân tích sự phù hợp của mô hình với thực nghiệm:

Thông số	Giá trị	Thông số	Giá trị
Độ lệch chuẩn	0.045	R ²	0.9977
Giá trị trung bình	1.01	R ² hiệu chỉnh	0.9957
Hệ số biến thiên %	4.43	R ² dự đoán	0.9878
Tổng bình phương phần dư dự đoán (PRESS)	0.11	Tỷ lệ tín hiệu so với nhiễu (Adeq Precision)	65.949

Kết quả so sánh giá trị độ nhám bề mặt Ra theo dự đoán của mô hình và kết quả thực tế được chỉ ra theo Hình 2.



Hình 2. So sánh kết quả Ra dự đoán và thực nghiệm

Phương trình hồi quy: Sau khi loại đi các yếu tố không có nghĩa, phần mềm Design-Expert đưa ra phương trình hồi quy như sau:

$$Ra = 0,81 - 0,045.A + 0,83.B + 0,11.C + 0,12.B.C + 0,38.B^2 \quad (1)$$

Khi đổi từ biến mã hóa sang biến thực, phương trình (1) sẽ trở thành phương trình (2).

$$Ra = 0,52617 - 0,0004,01205.Vc - 2,79524.S - 0,12575.t + 2,69429.S.t + 24,06145.S^2 \quad (2)$$

3.3. Phân tích ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt

3.3.1. Ảnh hưởng độc lập của các thông số

Xét sự ảnh hưởng của một thông số đến độ nhám bề mặt Ra khi hai thông số còn lại giữ nguyên giá trị ở tâm. Mức độ ảnh hưởng của các thông số độc lập có thể được so sánh dựa trên độ dốc của các đường biểu diễn: Vận tốc cắt Vc: A, lượng chạy dao S: B, chiều sâu cắt t: C (hình 3). Chúng ta có thể dễ dàng nhận ra rằng S có ảnh hưởng quyết định đến Ra trong khi Vc và t có ảnh hưởng tương đối nhỏ đến Ra. S, t tăng tỷ lệ thuận với Ra, Vc tỷ lệ nghịch với Ra. Mức độ ảnh hưởng đến Ra tăng lên khi S và Vc tăng lên trong khi điều này lại ngược lại với t. Sự ảnh hưởng của S và Vc đến Ra cho thấy sự phù hợp với lý thuyết gia công kim loại cũng như lý thuyết về công nghệ gia công cao tốc. Sự ảnh hưởng của t cũng chứng minh rằng: với hệ thống công nghệ cứng vững thì ảnh hưởng của t đến độ nhám bề mặt là không đáng kể.

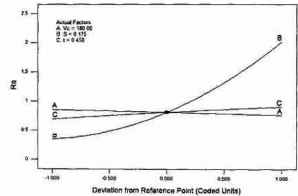
3.3.2. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và lượng chạy dao

Có thể nhận thấy ở trong cả ba giá trị khác nhau của chiều sâu cắt t, đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng của vận tốc cắt Vc và lượng chạy dao S đến độ nhám bề mặt Ra đều có chung

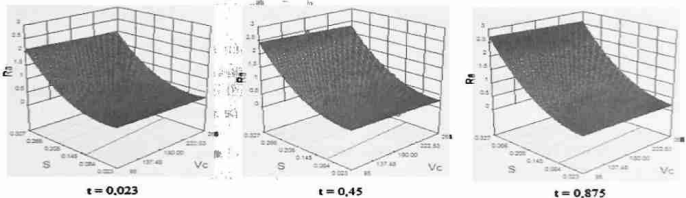
một quy luật (hình 4). Ra cao nhất khi Vc nhỏ nhất và S lớn nhất, khi Vc tăng lên, Ra có xu hướng giảm dần. Ra đạt giá trị thấp nhất khi Vc lớn nhất, S nhỏ nhất.

3.3.3. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và chiều sâu cắt.

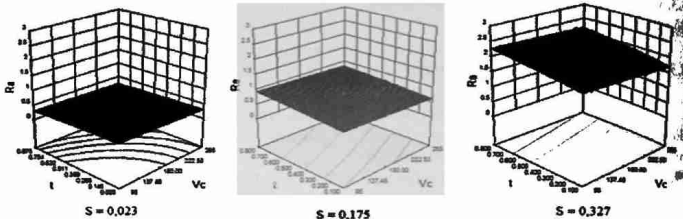
Từ Hình 5 có thể nhận thấy, với ba mức khác nhau của lượng chạy dao S thì đồ thị biểu diễn sự ảnh hưởng của vận tốc cắt Vc, chiều sâu cắt t đến độ nhám bề mặt Ra đều có độ dốc khá nhỏ, điều đó có nghĩa là sự ảnh hưởng của hai yếu tố này đến Ra là không lớn. Ở giá trị S=0,023, Ra có xu hướng giảm xuống khi t và Vc tăng lên, Ra đạt giá trị nhỏ nhất khi Vc và t lớn nhất. Ở hai giá trị còn lại là S = 0,175 và S = 0,372 thì khi t tăng Ra tăng, Vc tăng Ra giảm, trong hai trường hợp này, Ra nhỏ nhất khi t nhỏ nhất và Vc lớn nhất.



Hình 3. So sánh mức độ ảnh hưởng của các yếu tố độc lập với chế độ cắt ở tâm thực nghiệm



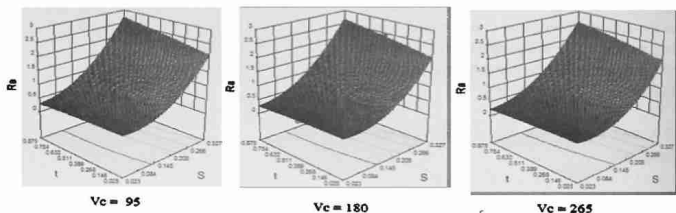
Hình 4. Đồ thị 3D biểu thị ảnh hưởng của Vc và S đến Ra ở 3 mức t khác nhau



Hình 5. Đồ thị 3D biểu thị ảnh hưởng của Vc và t đến Ra ở 3 mức S khác nhau

3.3.4. Ảnh hưởng của lượng chạy dao và chiều sâu cắt

Từ Hình 6 có thể nhận thấy: Độ nhám bề mặt Ra lớn nhất khi lượng chạy dao S lớn nhất và chiều sâu cắt t nhỏ nhất. Ra giảm nhanh khi S giảm. Nếu S ở giá trị lớn nhất khi đó t giảm thì Ra cũng giảm tương đối rõ rệt trong khi với S nhỏ nhất thì sự ảnh hưởng do sự thay đổi của t đến Ra là không rõ nét.

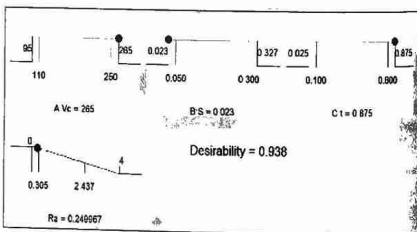


Hình 6. Đồ thị 3D biểu thị ảnh hưởng của S và t đến Ra ở 3 mức Vc khác nhau

4. TỐI ƯU HÓA

* Tối ưu hóa: Tính toán tối ưu chế độ cắt để đạt được độ nhám bề mặt nhỏ nhất bằng phần mềm Design- Expert, kết quả phần mềm tìm được là:

Ra = 0,25 μm ứng với Vc = 265 m/phút; S = 0,023 mm/vòng; t = 0,875 mm (hình 7).



Hình 7. Điều kiện tối ưu hóa độ nhám bề mặt

* Thực nghiệm kiểm chứng: Thực nghiệm kiểm chứng được thực hiện lặp lại 3 lần ở cùng mô hình thực nghiệm, điều kiện thực nghiệm như đã tiến hành. Kết quả được thể hiện trong Bảng 7. Độ lệch của giá trị Ra dự đoán so với kết quả kiểm chứng là 0,009 bằng 3,47% giá trị kiểm chứng. Điều này một lần nữa khẳng định tính đúng đắn của mô hình dự đoán.

Bảng 7. Bảng kết quả thực nghiệm kiểm chứng chế độ tối ưu

TT	Vc m/ph	S mm/vòng	t mm	Ra µm
1	265	0.023	0.025	0.238
2	265	0.023	0.025	0.263
E	265	0.023	0.025	0.275
	Trung bình			0.259

5. KẾT LUẬN

Sự ảnh hưởng của chiều sâu cắt đến độ nhám bề mặt là không lớn khi hệ thống công nghệ còn đảm bảo sự cứng vững. Đồ thị ảnh hưởng của chiều sâu cắt cũng như kết quả tối ưu hóa để đạt độ nhám nhỏ nhất đã chứng minh điều này. Như vậy, kinh nghiệm rút ra cho quá trình gia công là: Nên chọn chiều sâu cắt theo độ cứng vững của hệ thống công nghệ, không nhất thiết phải chọn chiều sâu cắt nhỏ khi gia công tinh. Muốn có năng suất cao, cần thiết phải thiết kế hệ thống công nghệ đảm bảo độ cứng vững.

Khi dụng cụ cắt có khả năng chịu mài mòn, chịu nhiệt tốt nên chọn vận tốc cắt lớn để tăng năng suất cũng như cải thiện độ nhám bề mặt.

Lượng chạy dao có ảnh hưởng rất lớn đến độ nhám bề mặt, khi lượng chạy dao không quá nhỏ, hai yếu tố này có sự thay đổi tỷ lệ thuận với nhau. Muốn thay đổi độ nhám

bề mặt, cách hiệu quả nhất là điều chỉnh lại lượng chạy dao.

Hợp kim titan BT14 về lý thuyết là vật liệu khó gia công nhưng nếu hệ thống công nghệ cứng vững, chọn dụng cụ có độ bền nhiệt cao, chọn chế độ cắt hợp lý thì vẫn có thể gia công tương đối dễ dàng. Điều đó được chứng minh bằng độ nhám có thể lên đến cấp 9; 10 mà các thí nghiệm đã đạt được.

Tính chính xác của mô hình đã xây dựng đã được chứng minh qua phân tích ANOVA cũng như qua sự so sánh kết quả giữa dự đoán và thực nghiệm. Mô hình này hoàn toàn có thể ứng dụng trong thực tế để dự đoán giá trị độ nhám Ra dựa trên các thông số của chế độ cắt khi gia công hợp kim BT14. Nếu đảm bảo sự tương đồng của mô hình gia công với mô hình thực nghiệm thì có thể đạt đến độ nhám cấp 10. ❖

Ngày nhận bài: 08/01/2017

Ngày phản biện: 15/02/2017

Tài liệu tham khảo:

- [1]. C.H. CheHaron, (2001), *Tool life and surface integrity in turning Titanium alloy*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 118.
- [2]. Z.A.Zoya, R.Krishnamurthy, (2000), *The performanc of CBN tools in the machining of Ti-Alloys*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 100.
- [3]. M.V. Ribeiro, M.R.V. Moreira, J.R. Ferreira, (2003), *Optimization of titanium alloy (6Al-4V) machining*, J Mater Process Technol, vol. 143-144.
- [4]. Farhad Nabhani, (2001), *Machining of aerospace titanium alloys*, Robot and Comp Inte Manuf, vol. 17.
- [5]. G.A. Ibrahim, C. H. Che Haron and J. A. Ghani, (2009), *The effect of dry machining on surface integrity of titanium alloy Ti-6Al-4 ELI*, J of app sci, vol. 9 (1).