

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI PHAY CAO TỐC TRÊN MÁY 5 TRỤC UCP600

Nguyễn Thanh Bình^{1, *}, Nguyễn Huy Ninh², Hoàng Tiến Dũng³

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vinh, Số 117, Nguyễn Viết Xuân,
Hung Dũng, TP.Vinh, Nghệ An

²Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Số 1, Đại Cồ Việt, Hà Nội

³Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Km 13, Đường 32, Xã Minh Khai, Huyện Từ Liêm,
TP. Hà Nội

*Email: ntbinhspktvinh@gmail.com

Đến Tòa soạn: 24/9/2014; Chấp nhận đăng: 07/5/2015

TÓM TẮT

Nâng cao chất lượng bề mặt sản phẩm là một trong những vấn đề rất quan trọng của ngành công nghệ chế tạo máy nhằm tạo ra các sản phẩm, máy móc thiết bị đạt độ chính xác cao, bền lâu và đạt các hiệu quả về kinh tế và kỹ thuật.

Phương pháp phay cao tốc (PCT) chẳng những có năng suất vượt trội, mà còn đạt độ chính xác và độ bóng bề mặt cao ngay cả khi gia công các chi tiết bằng vật liệu cứng.

Trong thực nghiệm này chúng tôi tiến hành đánh giá ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt $v(200 \div 400 \text{ m/ph})$, $s(0,03 \div 0,07 \text{ mm/răng})$, $t(0,4 \div 0,6)$ đến độ nhám bề mặt Ra khi gia công thép làm khuôn SKD11 bằng dao phay mặt đầu cao tốc của hãng Sandvik.

Từ khóa: phay cao tốc, độ nhám bề mặt.

1. VÀI NÉT VỀ PHAY CAO TỐC

Phay cao tốc (PCT), là một phương pháp gia công đặc biệt, không chỉ là với tốc độ cắt cao. Trên thực tế, nó chỉ có thể được thực hiện một cách hiệu quả với thiết bị sản xuất đặc biệt. PCT là một trong những công nghệ hiện đại, có nhiều điểm khác biệt so với các phương pháp gia truyền thống. Trong quá trình gia công tốc độ cao, hầu hết lượng nhiệt sinh ra tập trung vào phôi, do đó, nhiệt độ của dụng cụ và phôi không tăng nhiều [1]. Điều này rất có lợi vì sẽ không tăng nhiệt và lực cắt tác động vào chi tiết gia công, nên có thể dễ dàng đạt độ bóng, độ chính xác kích thước và hình dáng của chi tiết trong quá trình gia công.

Một số ưu điểm của PCT [2]:

- Các lực cắt có thể giảm do chiều sâu cắt nhỏ, do đó, sự biến dạng hệ thống cũng ít. Kết quả là tăng cả độ chính xác gia công và gia tăng tuổi thọ dao cụ. Hơn nữa, việc bảo trì máy công cụ cũng dễ dàng.

- Trong phay cao tốc, do rút ngắn được thời gian tiếp xúc, nhiệt độ của các dụng cụ cắt và phôi giảm.
- Đạt được hiệu quả cao khi tiến hành các nguyên công gia công tinh và có thể đạt được chất lượng bề mặt tốt (thường là nó có thể đạt đến $R_a = 0,2 \mu\text{m}$).
- Có khả năng đạt được hình dạng chính xác cao mà không cần qua mài. Hơn nữa, nó cũng làm giảm đáng kể thời gian của quá trình đánh bóng bằng tay cho các bề mặt cần có độ bóng cao.
- Trong gia công khuôn, nó có khả năng gia công đạt hiệu quả kinh tế từ thô đến tinh trên thép cứng và vật liệu khó gia công.
- Có khả năng gia công các sản phẩm phức tạp (gia công các vách siêu mỏng với biên dạng phức tạp) và bề mặt lớn.
- Có khả năng phát huy lợi thế của các thiết bị, dụng cụ cắt hiện đại như: vật liệu lưỡi cắt, cơ cấu kẹp dao và các máy công cụ với tính năng CAD/CAM đặc biệt, có thể đáp ứng các công nghệ mới và phương pháp cắt mới.

2. MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT TRONG QUÁ TRÌNH GIA CÔNG CAO TỐC

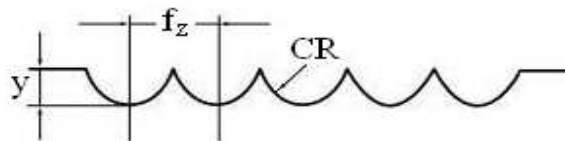
Về cơ bản, các yếu tố hình thành bề mặt trong gia công tốc độ cao tương tự như gia công thông thường. Tuy nhiên, có khác biệt về sự phân bố nhiệt trong vùng cắt (chi tiết - phôi - dụng cụ) cũng như sự giảm lực cắt khi tốc độ vượt quá một giới hạn cụ thể. Nó sẽ giúp làm giảm độ nhám bề mặt cũng như tăng độ chính xác gia công.

2.1. Độ nhám bề mặt gia công

Vết gia công tạo ra khi phay bằng dao mặt đầu có góc lượn ở lưỡi cắt được biểu diễn trong Hình 1. Chiều cao nhấp nhô bề mặt được tạo ra do sự in dập hình học của lưỡi cắt trên có thể được tính gần đúng công thức: [3]

$$Y = CR - \frac{\sqrt{CR^2 - f_z^2}}{4} \approx \frac{f_z^2}{8CR} \quad (1)$$

trong đó y là chiều cao nhấp nhô, CR là bán kính góc dao và F_z là lượng tiến dao răng. Để cải thiện độ nhám bề mặt, nên được giảm lượng tiến dao và tăng bán kính góc lượn.



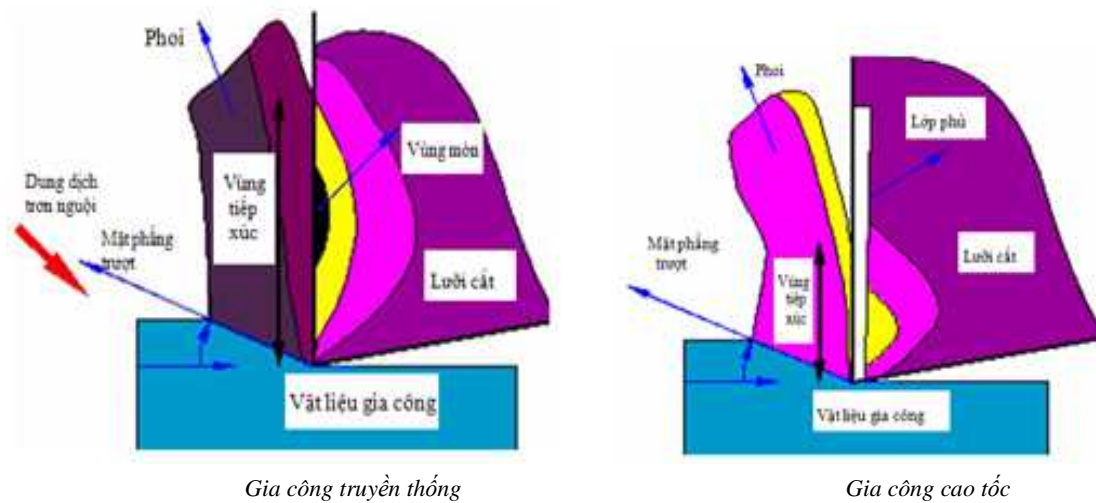
Hình 1. Lượng tiến dao và bán kính của các dụng cụ cắt ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt.

Các yếu tố khác, kể cả sự hình thành lẹo dao, độ sắc của lưỡi cắt và độ mòn ở mặt sau dao cũng ảnh hưởng đến bề mặt trong phay mặt đầu. Đặc biệt sự mài mòn mặt sau và lẹo dao có thể có tác động tổng hợp đến độ nhám bề mặt [4].

Trong PCT, sự hình thành lẹo dao được loại bỏ bởi vì tốc độ cắt được sử dụng là cao hơn nhiều so với tốc độ mà lẹo dao có thể được tạo ra. Như vậy, độ nhám bề mặt trong PCT có thể được giảm đáng kể so với phay thông thường.

2.2. Nhiệt cắt và lực cắt trong gia công cao tốc

Quá trình gia công cắt gọt kim loại chỉ có hiệu quả khi độ cứng và độ ổn định nhiệt độ của vật liệu dụng cụ cắt vượt trội so với vật liệu gia công. Tăng tốc độ cắt cũng dẫn đến sự gia tăng của nhiệt độ ở vùng cắt, nó phụ thuộc vào tốc độ cắt kim loại và cường độ của lực ma sát giữa phoi và dụng cụ. Khi phoi bị biến dạng trên mặt phẳng trượt, nhiệt độ của nó thay đổi đột ngột. Nhiệt độ cũng được tăng thêm bởi sự ma sát giữa các phoi và mặt trước của dao cắt. Sự hình thành phoi và phân bố nhiệt trong vùng cắt khi PCT có thể được thấy rõ khi so sánh với quá trình gia công truyền thống (Hình 2) [5].



Hình 2. So sánh giữa gia công truyền thống và PCT.

Gia công cao tốc được thực hiện bởi những dụng cụ cắt được chế tạo từ những vật liệu cứng, có lớp phủ, khỏe và chịu nhiệt tốt, quá trình cắt diễn ra trong điều kiện nhiệt độ phoi gần với nhiệt độ nóng chảy của vật liệu gia công. Tới một tốc độ cắt gọt nhất định, có sự thay đổi đột ngột trong tính chất cơ, lí hoá của phoi, làm giảm áp lực của phoi trên mặt trước của dao cắt. Lực ma sát và tất cả các yếu tố cản trở sự hình thành phoi cũng được giảm đi, góc của mặt phẳng trượt tăng lên, mặt cắt phoi mỏng hơn và tốc độ thoát phoi ở khu vực tiếp xúc tăng lên. Phoi được bóc tách chuyển thành “màu đỏ” và do đó lực pháp tuyến trên mặt trước của dao giảm. Mặt khác, khi diện tích tiếp xúc giảm, sự tăng nhiệt độ sinh ra bởi ma sát của phoi với mặt trước cũng nhỏ đi.

PCT nâng cao khả năng cắt vật liệu, chất lượng bề mặt và độ bền của dụng cụ cắt nhờ việc tăng tốc độ cắt, giảm tiết diện phoi cũng như lực ma sát. Ở vận tốc cắt thường, khi tăng tốc độ cắt lực cắt cũng tăng theo. Tuy nhiên, khi tốc độ vượt quá một giới hạn nhất định, các lực cắt bắt đầu giảm [6]. Nguyên nhân là do các lực cắt chịu tác động đồng thời của cả hai yếu tố nhiệt độ và biến dạng, kết quả cuối cùng do ảnh hưởng tổng hợp của biến dạng, độ đàn hồi của vật liệu.

3. THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT TỚI CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT KHI GIA CÔNG CAO TỐC

Mục tiêu của thực nghiệm là xác định ảnh hưởng của chế độ cắt khi gia công cao tốc tới chất lượng bề mặt gia công mà ở đây là sai lệch profile trung bình R_a bằng cách thay đổi các thông số của chế độ cắt s, t, v tiến hành phay các mẫu thí nghiệm sau đó đo R_a của các bề mặt gia công.

3.1. Mô hình thực nghiệm

Thực nghiệm được tiến hành dưới các điều kiện sau:

- Máy gia công: Máy phay cao tốc CNC 5 trục Mikron UCP600. Tốc độ trục chính từ 1-19600 vòng/phút. Hệ điều hành của máy là Heidenhain iTNC530.

- Dụng cụ cắt: Dụng cụ cắt được sử dụng là dao phay mặt đầu của hãng Sandvik. Các thông số của dao được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của dụng cụ cắt.

Tên gọi	Kí hiệu
Cán dao	345-040A32-13L
Mảnh lưỡi cắt	345-1305M-PM 4230
Đường kính dao	Ø32
Tốc độ cắt khuyến cáo	180-400 m/phút

- Máy đo độ nhám: Máy Mitutoyo SJ301.

- Mẫu thí nghiệm: Các thông số của mẫu thí nghiệm được chỉ ra trên Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số của mẫu thí nghiệm

Vật liệu	SKD 11
Kích thước (Dài × Rộng × Cao)	70 × 70 × 100
Số mẫu	8

3.2. Kết quả thực nghiệm

Mẫu gia công được gá lên máy bằng ê tô và tiến hành phay với các chế độ cắt khác nhau trong phạm vi điều chỉnh được chỉ trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông số chế độ cắt thực nghiệm.

Thông số cắt gọt	Phạm vi điều chỉnh
Tốc độ cắt (m/phút)	200, 300, 400
Bước tiến dao S (mm/r)	0,03, 0,05, 0,07
Chiều sâu cắt t (mm)	0.2, 0.4, 0.6

Giá trị các yếu tố đầu vào của thí nghiệm được lựa chọn các mức như trong Bảng 4.

Bảng 4. Giá trị các yếu tố biến thiên trong thực nghiệm.

Các yếu tố	X ₁ (t)	X ₂ (s)	X ₃ (v)
Mức trên +1	0,6	0,07	400
Mức dưới -1	0,2	0,03	200
Mức cơ sở 0	0,4	0,05	300
Khoảng biến thiên	0,2	0,02	100

Chuyển các biến từ biến tự nhiên sang biến mã hóa không thứ nguyên. Với thí nghiệm đầu vào là ba yếu tố gồm; tốc độ cắt v, lượng chạy dao s, chiều sâu cắt t, theo quy hoạch thực nghiệm ta sẽ thực nghiệm với 8 thí nghiệm với các giá trị như Bảng 5.

Để thống nhất kí hiệu và thuận tiện trong quá trình thiết lập thử nghiệm, tiến hành mã hóa với X₁ là t, X₂ là s và X₃ là v.

Bảng 5. Ma trận thí nghiệm các thông số đầu vào.

TT	Biến mã hoá			Biến thực nghiệm		
	X ₁	X ₂	X ₃	t(mm)	S(mm/r)	V(m/ph)
1	-1	-1	-1	0,2	0,03	200
2	+1	-1	-1	0,6	0,03	200
3	-1	+1	-1	0,2	0,07	200
4	+1	+1	-1	0,6	0,07	200
5	-1	-1	+1	0,2	0,03	400
6	+1	-1	+1	0,6	0,03	400
7	-1	+1	+1	0,2	0,07	400
8	+1	+1	+1	0,6	0,07	400

Sau khi gia công xong, bề mặt chi tiết được lau sạch và đo độ nhám bằng máy Mituyo SJ301, kết quả đo như trong Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả độ nhám bề mặt Ra.

TT	Biến mã hoá			Biến thực			Kết quả độ nhám bề mặt Ra(μm)				Ghi chú
	X ₁	X	X	t(mm)	S(mm/r)	V(m/p)	R _{a1}	R _{a2}	R _{a3}	R _{atb}	
1	-1	-1	-1	0,2	0,03	200	0,1620	0,1624	0,1625	0,1623	
2	+1	-1	-1	0,6	0,03	200	0,4481	0,4487	0,4490	0,4486	
3	-1	+1	-1	0,2	0,07	200	0,4092	0,4095	0,4101	0,4096	
4	+1	+1	-1	0,6	0,07	200	0,1334	0,1336	0,1338	0,1336	
5	-1	-1	+1	0,2	0,03	400	0,4425	0,4434	0,4446	0,4435	
6	+1	-1	+1	0,6	0,03	400	0,4142	0,4153	0,4149	0,4148	
7	-1	+1	+1	0,2	0,07	400	0,1287	0,1281	0,1292	0,1285	
8	+1	+1	+1	0,6	0,07	400	0,1673	0,1678	0,1674	0,1675	

Mô hình toán học nhám bề mặt khi gia công cao tốc bằng dao phay mặt đầu có dạng như sau:

$$R_a = C \cdot t^m \cdot s^n \cdot v^p \quad (1)$$

trong đó: R_a : độ nhám bề mặt; t : chiều sâu cắt (mm); s : lượng chạy dao (mm/r); v : tốc độ cắt (m/ph). C, m, n, k : hệ số được xác định trong quá trình thực nghiệm. Để xác định hằng số và số mũ của phương trình, mô hình toán học này được tuyến tính hóa bằng hàm logarit và phương trình được viết lại như sau:

$$\ln R_a = \ln C + m \cdot \ln t + n \cdot \ln s + p \cdot \ln v \quad (2)$$

Và mô hình tuyến tính của phương trình có dạng như sau:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 \quad (3)$$

Sử dụng phương pháp qui hoạch thực nghiệm [7] để nghiên cứu và xử lý số liệu thí nghiệm, Tuy nhiên để rút ngắn thời gian tính toán tác giả đã sử dụng phần mềm quy hoạch thực nghiệm DX6. Kết quả tính toán các giá trị b_j bằng phần mềm được thể hiện như trên Bảng 7.

Bảng 7. Các giá trị b_j tại tốc độ 400 m/ph.

b_0	b_1	b_2	b_3
0.2930	0.02275	0,00975	-0.1465

Như vậy hàm số độ nhám phụ thuộc chiều sâu cắt, lượng chạy dao và tốc độ cắt tại tốc độ $v = 300$ m/ph được thể hiện như công thức sau:

$$R_a = 0,2930 + 0,02275 X_1 + 0.00975 X_2 - 0.1465 X_3 \quad (4)$$

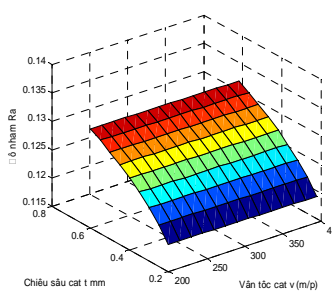
Kiểm tra sự phù hợp của mô hình theo chuẩn Fisher, kết quả tính toán từ phần mềm cho thấy $F_{tn} = 351,97 < 5624,5833$. Như vậy mô hình toán học đã lựa chọn là phù hợp với thực nghiệm.

Quy đổi từ giá trị mã hóa sang giá trị thực thì phương trình (4) có dạng như phương trình (5)

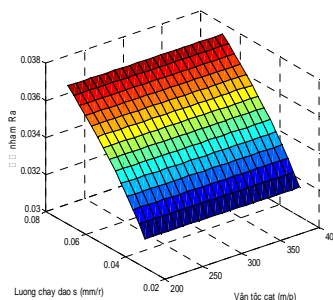
Do vậy, mối quan hệ giữa R_a và t, s, v được thực hiện theo phương trình (5)

$$R_a = 0.2871 \cdot t^{0.1138} \cdot s^{0.4875} \cdot v^{-0.0015} \quad (5)$$

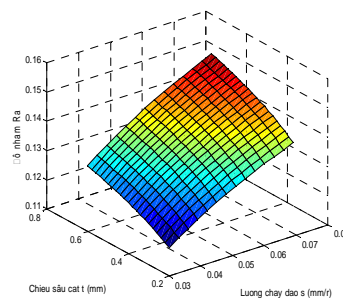
Đồ thị ảnh hưởng của chế độ cắt tới R_a của phương trình (5) được thể hiện ở Hình 3, 4, 5.



Hình 3. Ảnh hưởng của v, s đến R_a khi $t = 0,2$.



Hình 4. Ảnh hưởng của v, t đến R_a khi $s = 0,03$.



Hình 5. Ảnh hưởng của s, t đến R_a khi $v = 400$ m/ph.

4. KẾT LUẬN

Trong thực nghiệm về ảnh hưởng của chế độ cắt đến độ nhám bề mặt khi PCT, ta thấy khi tăng lượng chạy dao s_z và chiều sâu cắt t thì chiều cao nhấp nhô tế vi bề mặt R_a tăng. Tuy nhiên ảnh hưởng của chiều sâu cắt t đến độ nhám bề mặt nhỏ hơn so với ảnh hưởng của s và v . Điều này có thể lí giải vì khi phay cao tốc lực cắt nhỏ hơn phay thông thường mà ảnh hưởng của t đến độ nhám chủ yếu do yếu tố biến dạng. Còn khi tăng vận tốc cắt thì độ nhám bề mặt giảm đi. Điều này cũng phù hợp với những phân tích ở trên về ảnh hưởng tổng hợp của các yếu tố lực cắt và nhiệt cắt khi PCT. Đây chính là ưu điểm của gia công cao tốc, khi tăng v vừa tăng được năng suất cắt và lại tăng được độ bóng bề mặt. Ở dải PCT chúng tôi khảo sát thì độ nhám bề mặt xấp xỉ bằng độ nhám bề mặt khi gia công bằng phương pháp mài (cao hơn hẳn so với phay trên máy CNC thông thường).

Nếu sử dụng dao cắt ở dải tốc độ cao hơn nữa thì PCT có thể là phương pháp gia công lần cuối hữu hiệu, nó có thể thay thế cho nguyên công mài và rút ngắn thời gian đánh bóng bằng tay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Fallbohmer P., Rodriguez C. A., Ozel T., Altan T. - High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing, Journal of Materials processing technology **98** (2000) 104-115.
2. Productivity in die and mould making, ww2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/dm-cat/003-031.pdf, pp. 16.
3. DeGarmo E. Paul - Materials and processes in manufacturing, Prentice Hall College Div; 8th edition, January 1997, pp. 663.
4. Đặng Vũ Giao, Lê Văn Tiến, Nguyễn Đắc Lộc, Nguyễn Đức Năm, Nguyễn Thế Đạt - Công nghệ chế tạo máy, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội, 1976, tr. 26.
5. Jana Novakova, Lenka Petrkovska, Josef Brychta, Robert Cep, and Lenka Ocnasova - Influence of High Speed Parameters on the Quality of Machined Surface, World Academy of Science, Engineering and Technology **56** (2009) 274-277.
6. Ekanayake R. A. and Mathew P. - An Experimental Investigation of High Speed End Milling, 5th Australasian Congress on Applied Mechanics, ACAM 2007 10-12 December 2007, Brisbane, Australia, pp. 1.
7. Trần Văn Địch - Nghiên cứu độ chính xác gia công bằng thực nghiệm, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2003, tr. 161.

ABSTRACT

**AN INVESTIGATION ABOUT THE EFFECT OF CUTTING CONDITIONS TO SURFACES
ROUGHNESS WHEN HIGH-SPEED MILLING ON THE 5-AXIS MACHINE UCP600**

Nguyen Thanh Binh^{1,*}, Nguyen Huy Ninh², Hoang Tien Dung³

¹*Vinh University of Technology Education, No. 117, Nguyen Viet Xuan, Hung Dung,
Vinh City, Nghe An*

²*Hanoi University of Science and Technology, No. 1, Dai Co Viet, Hanoi*

³*Hanoi University of Industry, 13th km, 32 Road, Minh Khai commune, Tu Liem District, Hanoi*

*Email: *ntbinhspktvinh@gmail.com*

Improving the machining surface quality is one of the most significant aspects in the field of manufacturing technology and only by improving it, machines can achieve high accuracy, long duration and high efficiency in both economic and technological aspects. The High Speed Machining (HSM) can deliver not only outstanding productivity but also high accuracy and required roughness even in the condition of hard materials.

In this report, we evaluate the effect of the cutting conditions: $v(200 \div 400 \text{ m/min})$, $s(0.02 \div 0.06 \text{ mm/tooth})$, $t(0.3 \div 0.7 \text{ mm})$ to surface roughness Ra when machining SKD11 steel by the Sandvik face milling tool.

Keyword: high speed milling, surface roughness.