

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến sự hình thành và biến dạng của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061

The Effects of Cutting Parameters on the Characteristics of Chip and Cutting Force in High-Speed Milling of A6061 Aluminum Alloy

Phạm Thị Hoa¹, Nguyễn Đức Toàn^{2*}

¹ Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên, Dân Tiến, Khoái Châu, Hưng Yên

² Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1 Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

Đến Tòa soạn: 07-8-2017; chấp nhận đăng: 28-9-2018

Tóm tắt

Bài báo này nghiên cứu thực nghiệm quá trình phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 nhằm xác định dạng phoi hình thành, cơ chế hình thành phoi và cấu trúc bề mặt phoi. Từ những hình ảnh chụp SEM cấu trúc bề mặt của phoi, đã xác định cơ chế hình thành phoi là phoi phân đoạn. Phân tích đặc điểm các vùng biến dạng trên bề mặt phoi cho thấy vùng biến dạng này ảnh hưởng trực tiếp tới ma sát sinh ra trên bề mặt tiếp xúc khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061. Nghiên cứu cũng phân tích, đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chiều rộng phoi, cấu trúc bề mặt tự do của phoi. Từ kết quả của nghiên cứu giúp xác định mức độ biến dạng của của vật liệu trong quá trình hình thành phoi đồng thời cho thấy sự tương tác ở các vùng tiếp xúc giữa dao-phoi trong quá trình gia công.

Từ khóa: phay cao tốc hợp kim nhôm A6061, phoi phân đoạn, cấu trúc bề mặt tự do của phoi.

Abstract:

This paper studied the formulation of chip in high-speed milling of A6061 aluminum alloy. To verify the chip formation and microstructure, experimental results of the chip morphology were derived. The capture by SEM of experimental results showed that high-speed milling produced serrated chip. From the deformation of various zone of chip surface, we can conclude that the chip deformation directly effect on the friction at tool and chip contact during in high-speed milling for A6061 aluminum alloy. In this study, the effects of cutting parameters on the width and structure of free-surface of the chip were examined. The deformability of material and interaction at the tool-chip contact were also identified. The experimental results showed that high-speed milling produced serrated chip, which was significantly affected by the friction at tool and chip contact.

Keywords: high-speed milling of A6061 aluminum alloy, serrated chip, structure of free-surface of the chip

1. Giới thiệu

Hình thái hình học của phoi là một thông số quan trọng để đánh giá khả năng gia công của vật liệu [1]. Sự biến dạng của phoi trong quá trình cắt phụ thuộc rất nhiều các yếu tố như: Đặc tính của vật liệu gia công (thành phần hóa học, các cơ tính vật lý của vật liệu), điều kiện gia công (các thông số công nghệ của chế độ cắt, môi trường gia công...), những thay đổi về đặc điểm của vùng cắt cơ sở, sự thay đổi trong vùng tiếp xúc giữa dao - phoi. Các tương tác giữa vùng cắt thứ nhất và vùng cắt thứ hai, động học của hệ thống máy-dao- đồ gá và mối quan hệ của nó với quá trình cắt [2]. Đặc điểm hình thái của phoi cũng cung cấp thông tin hữu ích cho việc thiết kế dụng cụ cắt. Từ hình thái phoi được hình thành các nhà nghiên cứu cũng đưa ra lý thuyết về động lực

học quá trình tạo phoi [1] và xây dựng cơ chế hình thành phoi ở các trạng thái khác nhau. Từ hình dạng của phoi thu được ở tốc độ cắt khác nhau có thể giúp xác định được một số đặc tính có lợi và lựa chọn được vùng tốc độ phù hợp cho từng loại vật liệu. Một số nghiên cứu về hình thái hình học của phoi như nghiên cứu của Yusuf Ozcatalbas [3] nghiên cứu và đưa ra cơ chế hình thành phoi ở các tốc độ cắt khác nhau, quan sát phoi hình thành bằng phương pháp dùng nhanh. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng độ cứng của Al4C3 thì hình thành phoi dây, nghiên cứu cũng chứng minh rằng phoi hình thành thuận lợi nhất tại tốc độ cắt 150 m/phút và biến dạng xảy trên mặt phẳng cắt. G.Sutter [4] cùng các công sự đã nghiên cứu các thông số hình học của phoi khi gia công cao tốc, đã quan sát hình thái phoi với một phạm vi rộng của tốc độ cắt. Nghiên cứu này ghi lại thông số hình học của phoi trong suốt quá trình gia công thông qua việc sử dụng camera tốc độ cao. Cơ chế hình thành phoi khi gia công cao tốc thép cứng

* Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 988 693 047

Email: toan.nguyenduc@hust.edu.vn

nhóm tác giả S.Dolinsek, S.Elinovic, J.Kopac [5] đã mô tả các dạng phoi hình thành khi phay cao tốc thép cứng X63CrMoV51 trong phạm vi tốc độ 50-1500 m/phút từ đó phân tích tần suất phân đoạn phoi, hình dáng kích thước của phoi và kích thước biên dạng hoặc không biên dạng của đoạn phoi. Kết quả rằng tồn tại mối quan hệ chặt chẽ giữa các thông số phoi đặc biệt trong lĩnh vực gia công cao tốc. Nhóm tác giả H.Toenshoff và B.Denkens [6] đã cho rằng gia công cao tốc có sự thay đổi đáng kể các hiện tượng khi xảy ra trong quá trình tạo phoi, hiện tượng này được nhìn thấy hoặc đo lường được như: Lực cắt giảm; góc cắt tăng và sự nén phoi giảm; sự phân đoạn rõ ràng của phoi và sự tập hợp biên dạng dèo trong vùng cắt, phụ thuộc vào đặc điểm của vật liệu gia công. Cơ chế hình thành phoi trong quá trình phay cao tốc thép có độ cứng cao được C.Wang, Y.Xie, L.Zheng [7] khảo sát sự hình thành phoi và thay đổi hình thái của phoi trong quá trình phay cao tốc của thép có độ cứng cao (51-62HRC). John Barry và Gerald Byrne [8] nghiên cứu cơ chế tạo phoi khi gia công thép cứng. Từ cơ chế hình thành phoi phân đoạn nghiên cứu cho thấy việc chuyển từ phoi dây sang phoi phân đoạn xảy ra từ từ và giảm liên tục tỷ lệ chiều dày trung bình của phoi. Nghiên cứu của Xinaobin Cui và Jun Zhao [9] đã cho rằng hình thái của phoi có hình dáng khác nhau tương ứng với các điều kiện phay khác nhau như: phay thuận, phay nghịch và phay đối xứng. A.Gente và H-W Hoffmeister [10] nghiên cứu về quá trình hình thành phoi khi gia công với tốc độ cắt rất cao Ti6Al4V thấy được sự thay đổi rõ ràng hình thái của phoi khi tốc độ cắt lớn hơn 2000 m/phút và chiều dày phoi chưa cắt trên 50 μ m sự phân đoạn được chuyển thành từng phần rõ rệt. Như vậy hình thái của phoi hình thành trong quá trình cắt có ảnh hưởng đến chỉ tiêu bóc tách vật liệu ra khỏi vùng cắt. Tốc độ dịch chuyển của phoi cũng ảnh hưởng đến lực cắt, rung động, nhiệt, cơ tính của vùng tiếp xúc giữa phôi - dao, tuổi bền của dụng cụ cắt [1], [11]. Cơ chế hình thành phoi khi gia công cao tốc cũng có sự khác biệt với cơ chế hình thành phoi ở tốc độ cắt thông thường [12]. Một số nghiên cứu về hình thái hình học của phoi [13][14][15][16][17]. Như vậy các nghiên cứu đã xét đến cơ chế, hình thái hình học của phoi cùng các yếu tố: lực cắt, mài mòn...tuy nhiên các nghiên cứu chưa phân tích kỹ các ảnh hưởng chế độ cắt đến hình thái hình học của phoi. Nghiên cứu này xét đến hình thái hình học của phoi hình thành khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 nhằm xác định cơ chế hình thành và đánh giá ảnh hưởng của chế độ cắt đến hình thái hình học của phoi.

2. Điều kiện thực nghiệm hình thái hình học của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061

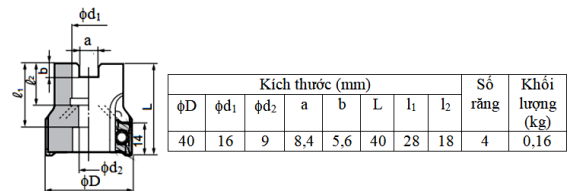
2.1 Thiết bị và vật liệu thực nghiệm

2.1.1. Máy phay cao tốc

Nghiên cứu sử dụng máy phay CNC cao tốc HS Super MC500 với các thông số chính: tốc độ quay trục chính: 100 ÷ 30000 (vòng/phút); công suất trục chính 15 KW, tốc độ dịch chuyển của bàn máy cắt gọt: 1÷30000 (mm/phút), tốc độ chạy không lớn nhất: 48000 (mm/phút). Hành trình dịch chuyển của bàn máy: XxYxZ=500x400x300 (mm).

2.1.2. Dụng cụ cắt

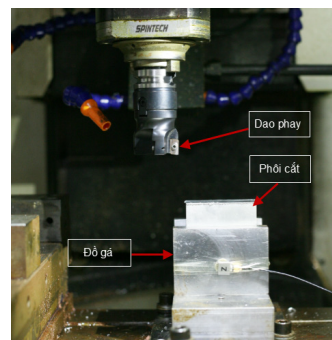
Thực nghiệm dùng dao phay mặt đầu có đường kính 40 mm, sử dụng một mảnh hợp kim cứng của hãng THREADEX USA với mã sản phẩm APMT1604PDTR TC300, vật liệu lưỡi cắt là hợp kim cứng khi chưa nhiệt luyện có độ cứng 35 đến 45 HRC. Dao cắt có góc trước là 5°, góc sau của dụng cụ cắt là 10° và thông số của dao cho trên Hình 1. Trong quá trình phay cao tốc dụng cụ cắt không sử dụng dung dịch bôi trơn làm mát.



Hình 1. Thông số của dao cắt dùng cho thực nghiệm.

2.1.3. Vật liệu gia công [18]

Hợp kim nhôm A6061 là dòng hợp kim linh hoạt nhất và cung cấp một dải rộng các tính chất cơ học, khả năng chống ăn mòn. Khi so sánh với sắt thì hợp kim nhôm có khối lượng nhẹ hơn ba lần. Với đặc điểm này hợp kim nhôm được ứng dụng đối với những chi tiết và hệ thống đòi hỏi khối lượng nhỏ. Hợp kim này được sử dụng cho tất cả các ứng dụng kết cấu chẳng hạn như hàng không, bán dẫn, đồ gá lắp và cố định. Hợp kim nhôm A6061 dùng cho linh kiện tự động hóa và cơ khí, khuôn gia công thực phẩm, khuôn gia công chế tạo. Hợp kim này cũng được coi là loại nhôm tấm hợp kim được sử dụng phổ biến và rộng rãi nhất. Thành phần hóa học của nhôm A6061 cho trong Bảng 1.



Hình 2. Sơ đồ thực nghiệm quá trình tạo phoi.

Bảng 1. Thành phần hóa học hợp kim nhôm A6061.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg
0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2
Cr	Zn	Ti	Al	
0,04-0,35	0,25	0,15	Còn lại	

2.2 Thiết kế thực nghiệm

Từ các nghiên cứu trước đó [19-21] về gia công cao tốc hợp kim nhôm, cùng với điều kiện về độ cứng vững của máy dao- đồ gá, để đảm bảo về năng suất chất lượng và chịu ảnh hưởng nhỏ nhất của lực cắt, rung động. Nghiên cứu tiến hành thực nghiệm xét ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến hình thái hình học của phoi, nghiên cứu đã khảo sát ở vùng tốc độ cắt, chiều sâu cắt và lượng chạy dao được cho trong bảng 2. Sơ đồ thực nghiệm của quá trình phay thể hiện như trên Hình 2.

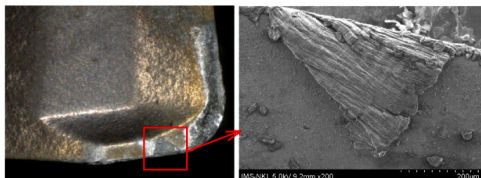
Bảng 2. Thông số cắt dùng cho thực nghiệm

TT.	Tham số	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 3
1	V (Vận tốc cắt)	m/ph	1000	1130	1256
2	f (Bước tiến)	mm/ph	800	1350	1800
3	t (Chiều sâu cắt)	mm	0,5	1,0	1,5

3. Kết quả và thảo luận

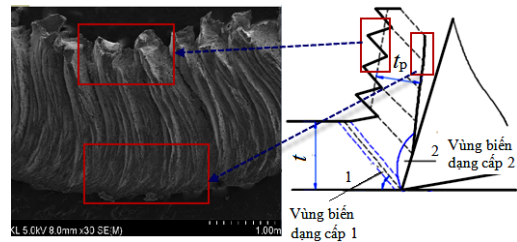
3.1 Cơ chế hình thành phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061

Quá trình tạo phoi khi gia công cắt gọt kim loại xảy ra quá trình biến dạng đàn hồi sau đó chuyển sang biến dạng dẻo và lớp phoi hình thành trên mặt trước của dụng cụ cắt khi chịu lực tác dụng của quá trình cắt. Đối với phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 quá tạo phoi diễn ra nhanh và thời gian tiếp xúc giữa dao - phoi rất ngắn. Trong vùng tạo phoi ma sát trượt chủ yếu xảy ra giữa dao - phôi tại vùng tiếp xúc nơi xảy ra quá trình biến dạng đàn hồi, dưới tác dụng của lực biến dạng đàn hồi trở thành biến dạng dẻo. Khi phay với tốc độ cao, dụng cụ cắt tiếp xúc với phôi và phoi được tách ra đồng thời chảy theo mặt trước của dụng cụ cắt. Khi phay với tốc độ cao phoi không văng ra theo hướng của tốc độ cắt do ảnh hưởng của lực ly tâm và rung động từ máy lúc này phoi sẽ bị văng theo mọi phía, trong quá trình phay hầu hết phoi nhanh chóng tách ra và chảy dọc theo mặt trước của dao.



Hình 3. Phoi bám trên bề mặt lưỡi dao khi phay cao tốc nhôm A6061.

Tuy nhiên vẫn còn phần phoi bám vào bề mặt của lưỡi cắt (Hình 3) sẽ hình thành lẹo dao nhưng vì quá trình phay là quá trình cắt không liên tục nên lẹo dao hình thành cũng không ổn định, lẹo dao sẽ bị mất đi ngay sau đó. Ở tốc độ cao dưới ảnh hưởng của tốc độ biến dạng và nhiệt độ thì biến dạng cắt xảy ra tại vùng biến dạng cấp 1 (Hình 4), vùng này bắt đầu xuất hiện biến dạng dẻo trên mặt trượt của phoi, vùng biến dạng cấp 2 là vùng phoi tiếp xúc với dụng cụ cắt, phoi hình thành có dạng mảnh và chiều rộng hẹp. Trên bề mặt phoi có sự phân lớp và chia thành 2 phần: vùng biến dạng ở cạnh phía trên phoi có hình dáng giống hình thang (phân thành từng lớp) và vùng biến dạng ở cạnh phía dưới phoi (Hình 4). Hình dáng kích thước phân lớp của phoi phụ thuộc vào vận tốc cắt, lượng tiến dao và chiều sâu cắt.

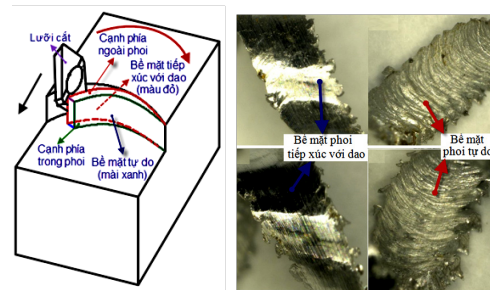


Hình 4. Cơ chế hình thành phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061.

3.2 Đặc điểm hình thái hình học của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061.

3.2.1. Các bề mặt của phoi

Các bề mặt phoi hình thành khi phay cao tốc nhôm A6061 được mô hình hóa như trên Hình 5a. Bề mặt tự do và bề mặt tiếp xúc của dao - phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 được thể hiện trên Hình 5b. Phoi được phân chia thành các bề mặt: mặt ngoài của phoi gọi là mặt tự do; mặt phía trong tiếp xúc với dao gọi là mặt trong, ngoài hai mặt cơ bản trên phoi còn cấu tạo bởi hai cạnh phía ngoài phoi, cạnh phía trong phoi và sự biến dạng trên hai cạnh này có sự khác biệt đáng kể trên bề mặt tự do của phoi (Hình 6).

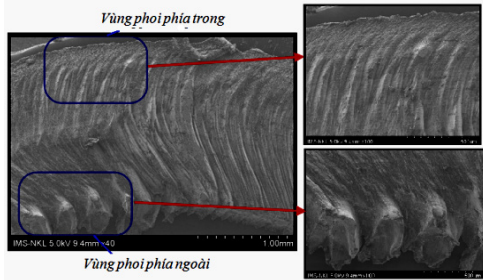


a) Cấu tạo phoi b) Các bề mặt phoi

Hình 5. Các bề mặt phoi tạo thành khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061.

3.2.2. Phân tích cấu trúc của bề mặt tự do của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061

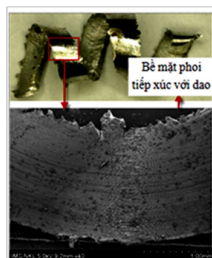
Trên Hình 6 là ảnh chụp SEM bề mặt tự do của phoi hợp kim nhôm A6061 với tốc độ cắt 1000 m/phút. Quan sát cho thấy trên bề mặt tự do của phoi có sự xếp chồng kim loại tạo thành các lớp liên tiếp nhau. Là do khi phay với tốc độ cao hợp kim nhôm A6061 thì phân tử của phôi chuyển thành phoi có ứng suất tiếp lớn, làm vật liệu trượt từng lớp.



Hình 6. Cấu trúc lớp bề mặt tự do của phoi hình thành khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 ($V = 1000$ m/phút, $f = 1800$ mm/phút, $t = 1,5$ mm).

Phoi nhôm A6061 hình thành trong quá trình phay cao tốc chịu sự biến dạng khác nhau nên hai vùng trên có sự khác nhau về cấu trúc bề mặt. Cụ thể khi quan sát hình ảnh chụp SEM bề mặt phoi hợp kim nhôm A6061 khi phay cao tốc thấy rằng vùng phoi phía ngoài trên bề mặt tự do không chịu sự tiếp xúc của phôi - dao nên bị biến dạng nhiều tạo thành các lớp có dạng hình thang (răng cưa). Vùng phía trong của phoi do bị ảnh hưởng của sự tiếp xúc giữa dao và phần phôi còn lại, các phân tử kim loại ở vùng này gần như bị nén và thấy rằng cấu trúc của phoi vùng này khác biệt vùng phoi phía ngoài. Các lớp ở vùng phoi phía trong có xu hướng nghiêng theo cạnh bên trong của dao, kích thước nhỏ và phân bố đều nhau (Hình 6). Đồng thời ở vùng phoi phía ngoài, các lớp hình thành quan sát rõ trên bề mặt phoi từng đoạn rõ rệt. Sự phân đoạn trên cạnh phía ngoài của phoi hợp kim nhôm A6061 phụ thuộc vào đặc tính của vật liệu và chế độ cắt khi phay cao tốc.

3.2.3. Phân tích cấu trúc bề mặt phoi tiếp xúc với dao (mặt trong)



Hình 7. SEM hình ảnh mặt phoi tiếp xúc với dao khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061.

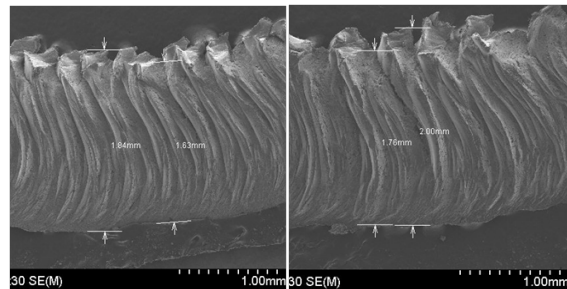
Khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 thì bề mặt phoi tiếp xúc với dao thường mịn và sáng bóng, cấu trúc hoàn toàn khác với bề mặt tự do, hình ảnh chụp SEM bề mặt phoi tiếp xúc với dao cho trên Hình 7. Lớp phoi này tiếp xúc trực tiếp với mặt trước của dao bị ảnh hưởng của ma sát tiếp xúc giữa dao-phoi, nhiệt độ và ứng suất tại vùng tiếp xúc cao.

4.3 Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến hình thái hình học của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061

Mức độ biến dạng của phoi trong quá trình cắt có liên quan trực tiếp đến lực cắt, nhiệt cắt, mài mòn dụng cụ cắt và ảnh hưởng đến sự tiến triển của quá trình cắt [22]. Nghiên cứu phân tích sự biến dạng của phoi hợp kim nhôm A6061 khi phay ở tốc độ cao với ảnh hưởng của V, f, t .

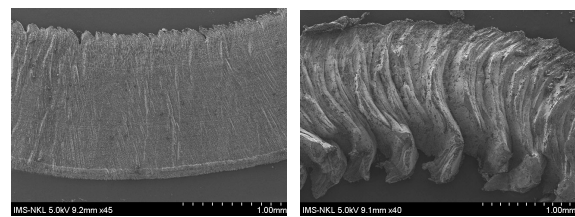
+ Ảnh hưởng của vận tốc cắt

Vận tốc cắt ảnh hưởng đến chiều rộng của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061, cùng lượng chạy dao là 1800 mm/phút và chiều sâu cắt 1,5 mm thì chiều rộng của phoi ở tốc độ cắt 1256 m/phút là 1,84 mm trong khi ở tốc độ cắt 1000 m/phút chiều rộng phoi là 2,0 mm.



a) $V = 1000$ m/phút b) $V = 1256$ m/phút

Hình 8. Chiều rộng của phoi hợp kim nhôm A6061 khi phay cao tốc.



a) $V = 565$ m/phút b) $V = 1000$ m/phút

Hình 9. Ảnh SEM hình thái của phoi A6061 khi phay cao tốc ứng với các vận tốc cắt khác nhau.

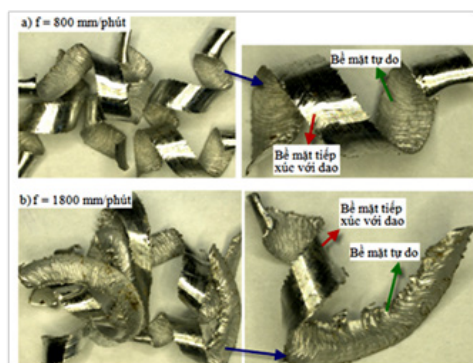
Chiều cao lớp phoi giảm 12,5%, khoảng cách giữa hai đỉnh lớp phoi giảm 9,6% khi tốc độ cắt giảm từ 1256 m/phút đến 1000 m/phút như Hình 7. Như vậy khi tốc độ cắt tăng thì chiều rộng của phoi giảm và mức độ phân lớp trên bề mặt tự do của phoi giảm. Để thấy rõ ràng hơn biến dạng của phoi bị ảnh hưởng

bởi tốc độ cắt nghiên cứu phân tích hình ảnh chụp SEM bề mặt tự do của phoi ở các tốc độ cắt khác nhau (Hình 9). Ở tốc độ cắt thấp 565 m/phút phoi hình thành có lớp nhỏ và đều liên tục nhau do sự biến dạng của phoi không nhiều trong quá trình gia công. Tuy nhiên khi tăng tốc độ cắt cao đến 1000 m/phút trên bề mặt tự do của phoi quan sát rõ các lớp rõ ràng và các lớp cấu trúc cũng đã hình thành riêng biệt nhau trên Hình 9b.

Như vậy tốc độ cắt ảnh hưởng đến sự phân đoạn của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061, ở vùng tốc độ cắt cao sự phân lớp rõ ràng cho thấy sự biến dạng mãnh mẽ của lớp phoi được hình thành.

+ Ảnh hưởng của lượng chạy dao

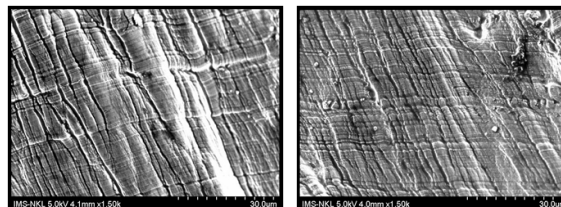
Hình thái hình học của phoi được quan sát ở các lượng chạy dao khác nhau như trên Hình 10 cho thấy rằng lượng chạy dao cũng ảnh hưởng nhất định đến hình thái hình học của phoi.



Hình 10. Hình thái của phoi A6061 khi phay cao tốc với lượng chạy dao khác nhau ($V = 1256$ m/phút; $t = 1,5$ mm).

Quan sát thấy rõ nhất là sự biến dạng theo chiều rộng của phoi tăng khi tăng lượng chạy dao. Lượng chạy dao ảnh hưởng đến sự phân lớp và chiều rộng của phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 như Hình 9. Cùng vận tốc cắt là 1256 m/phút và chiều sâu cắt là 1,5 mm, với lượng chạy dao là 800 mm/phút thì chiều rộng phoi là 1,98 mm lớn hơn 7,07% so với chiều rộng phoi hình thành ở lượng chạy dao 1800 mm/phút. Mặt khác quan sát sự phân lớp của phoi ứng với lượng chạy dao 800 mm/phút, chiều cao và mức độ phân lớp cũng nhỏ hơn so với phoi hình thành với lượng chạy dao 1800 mm/phút. Khi tăng lượng chạy dao thì có sự dồn nén của vật liệu nhiều hơn lượng chạy dao mỏng trên bề mặt tự do của phoi Hình 10. Cùng tốc độ cắt 1256 m/phút, chiều sâu cắt là 1,5 mm thì cấu trúc tế vi lớp bề mặt cho trên Hình 11. Quan sát thấy rằng khi lượng chạy dao bằng 800 mm/phút sự phân lớp cấu trúc trên bề mặt tự do của phoi không dày như các lớp cấu trúc

hình thành khi phay với lượng chạy dao 1800 m/phút như Hình 11 **Hình b**. Như vậy lượng chạy dao có ảnh hưởng mạnh mẽ đến sự biến dạng trên bề mặt tự do và hình thái hình học của phoi. Khi tăng lượng chạy dao các phân lớp trên bề mặt tự do của phoi với mật độ dày hơn. Chiều rộng của phoi tăng nhanh khi ra tăng lượng chạy dao.

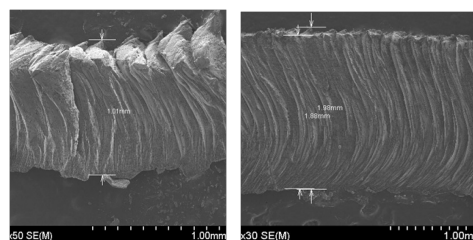


a) $f = 800$ (mm/phút) b) $f = 1800$ (mm/phút)

Hình 11. Cấu trúc bề mặt lớp phoi nhôm A6061 hình thành với $V = 1256$ m/phút và $t = 0,5$ mm.

+ Ảnh hưởng của chiều sâu cắt

Ảnh chụp SEM bề mặt tự do của phoi hợp kim nhôm A6061 khi phay cao tốc, cho thấy chiều rộng của phoi tăng lên khi tăng chiều sâu cắt và biến dạng của phoi cũng có sự khác biệt rõ rệt. Mức độ phân lớp của phoi khi cắt với chiều sâu cắt 1,5 mm nhiều hơn so với mức độ phân lớp của phoi có chiều sâu cắt là 0,5 mm.



a) $t = 0,5$ mm b) $t = 1,5$ mm

Hình 12. Ảnh SEM chiều rộng phoi khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 với t khác nhau.

Trong quá trình hình thành phoi bị dồn nén nhiều hơn trong quá trình hình thành khi chiều sâu cắt lớn và tốc độ cắt cao khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061 (Hình 12). Như vậy hình thái hình học và biến dạng của phoi đều bị ảnh hưởng bởi các thông số chế độ cắt khi phay cao tốc hợp kim nhôm A6061.

4. Kết luận

- Ở vùng tốc độ cắt cao phoi hợp kim nhôm A6061 hình thành dạng phân đoạn, sự phân đoạn phụ thuộc vào tốc độ cắt và chiều sâu cắt và lượng chạy dao. Cấu trúc bề mặt phoi hình thành phân chia thành hai vùng rõ rệt trên bề mặt tự do của phoi.

- Chiều rộng và sự phân lớp trên bề mặt tự do của phoi hợp kim nhôm A6061 phụ thuộc vào tốc độ

cắt, chiều sâu cắt và lượng chạy dao. Khi vận tốc cắt tăng thì chiều rộng phoi giảm, chiều sâu cắt, lượng chạy dao tăng tăng chiều rộng phoi tăng và sự phân lớp trên bề mặt phoi gia tăng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số “107.02-2016.01”; và Trung tâm Nghiên cứu Ứng dụng Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên, đề tài mã số UTEHY.T016.P1718.02.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. Rathi, A. Mahor, R. Ranjan, A. Gajbhiye, A. Rehman, and C. M. Krishna, Characterization of Chip Morphology for Aluminum Metal Matrix Composites in End Milling Machining, *Univers. J. Mech. Eng.* 2 (2014) 240–247.
- [2] S. Ekinovi and J. Kopa, A contribution to the understanding of chip formation mechanism in high-speed cutting of hardened steel, *Achiev. Mech. Mater. Eng.* (2002) 1–4.
- [3] Y. Ozcatalbas, Chip and built-up edge formation in the machining of in situ Al4C3-Al composite, *Mater. Des.* 24 (2003) 215–221.
- [4] G. Sutter, Chip geometries during high-speed machining for orthogonal cutting conditions,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 45 (2005) 719–726.
- [5] S. Dolinšek, S. Ekinović, and J. Kopač, A contribution to the understanding of chip formation mechanism in high-speed cutting of hardened steel, *J. Mater. Process. Technol.* 157–158 (2004) 485–490.
- [6] H. K. Toenshoff and B. Denkena, *Basics of Cutting and Abrasive Processes*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, (2013).
- [7] C. Wang, Y. Xie, L. Zheng, Z. Qin, D. Tang, and Y. Song, Research on the Chip Formation Mechanism during the high-speed milling of hardened steel, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 79, (2014) 31–48.
- [8] J. Barry and G. Byrne, The Mechanisms of Chip Formation in Machining Hardened Steels, *J. Manuf. Sci. Eng.* 124 (2002) 528.
- [9] X. Cui and J. Zhao, Cutting performance of coated carbide tools in high-speed face milling of AISI H13 hardened steel, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 71, no. 9–12, pp. 1811–1824, (2014).
- [10] A. Gente, H.-W. Hoffmeister, and C. J. Evans, “Chip Formation in Machining Ti6Al4V at Extremely High Cutting Speeds,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 50, no. 1, (2001) 49–52.
- [11] J. Hua and R. Shivpuri, “Prediction of chip morphology and segmentation during the machining of titanium alloys,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 150, no. 1–2, pp. 124–133, 2004.
- [12] Q. Yang, Y. Wu, D. Liu, L. Chen, D. Lou, Z. Zhai, and Z. Liu, “Characteristics of serrated chip formation in high-speed machining of metallic materials,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, (2016). 1–6, Jan.
- [13] C. Duan, T. Tou, and M. Wang, “Experimental research of chip formation mechanism during high speed machining of hardened steel,” *Int. J. Comput. Aided Eng. Technol.*, (2011) vol. 3, no. 5/6, p. 458.
- [14] A. Daymi, M. Boujelbene, S. Ben Salem, B. Hadj Sassi, S. Torbaty, and B. H. Sassi, “Effect of the cutting speed on the chip morphology and the cutting forces,” *Int. Sci. J.*, (2009) vol. 1, no. 2, pp. 77–83.
- [15] Ş. Aykut, E. Bagci, A. Kentli, and O. Yazicioğlu, “Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based super-alloy with physical vapour deposition coated and uncoated tool,” *Mater. Des.*, (2007) vol. 28, no. 6, pp. 1880–1888.
- [16] M. Wang, B. Xu, J. Zhang, S. Dong, and S. Wei, “Experimental observations on surface roughness, chip morphology, and tool wear behavior in machining Fe-based amorphous alloy overlay for remanufacture,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, (2013) vol. 67, no. 5–8, pp. 1537–1548, Jul.
- [17] G. G. Ye, S. F. Xue, W. Ma, M. Q. Jiang, Z. Ling, X. H. Tong, and L. H. Dai, “Cutting AISI 1045 steel at very high speeds,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, (2012) vol. 56, pp. 1–9.
- [18] Lê Công Dũng, *Vật liệu học*, NXB Khoa học kỹ thuật. (1996).
- [19] Wang Z, Rahman M High-Speed Machining. In: *Compr. Mater. Process*. Elsevier, (1992) pp 637–643
- [20] I. King R Handbook of High Speed Machining Technology. (1985).
- [21] Nieminen I, Paro J, Kauppinen V High-speed milling of advanced materials. *J Mater Process Technol*, (1996) 136, 24–36.
- [22] Bành Tiến Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Túy Nguyên lý gia công vật liệu. NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội (2013).