



NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THAM SỐ CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN HỆ SỐ CO RÚT PHOI KHI GIA CÔNG HỢP KIM NHÔM

Phạm Thị Hoa¹, Mạc Thị Bích¹, Ngô Quang Việt², Bành Tiến Long¹, Nguyễn Đức Toàn¹

¹ Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

² Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận: 18/2/2016

Ngày xét duyệt: 04/3/2016

Tóm tắt:

Bài báo này nghiên cứu mối quan hệ giữa hệ số co rút phoi và các thông số của quá trình cắt như tốc độ cắt, chiều sâu cắt áp dụng khi gia công hợp kim nhôm A6061. Hệ số co rút phoi được xác định thông qua mô phỏng quá trình cắt nhờ phần mềm ABAQUS/ Explicit, dựa trên mô hình phá hủy vật liệu Bao-Wierzbicki (B-W), sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Sau đó, phương pháp bình phương tối thiểu được sử dụng để xác định mối quan hệ giữa hệ số co rút phoi và các thông số gồm tốc độ cắt và chiều sâu cắt. Các kết quả nghiên cứu này, kết hợp với kết quả thực nghiệm sẽ là cơ sở khoa học để giải thích nhiều hiện tượng và bản chất vật lý trong quá trình gia công cao tốc.

Từ khóa: Hệ số co rút phoi, mô hình Bao-Wierzbicki, hợp kim nhôm A6061, mô phỏng quá trình cắt.

1. Giới thiệu

Ngày nay gia công cao tốc giữ vai trò quan trọng trong ngành công nghiệp cơ khí hiện đại. Với những ưu điểm vượt trội về năng suất và chất lượng sản phẩm, gia công tốc độ cao hiện được ứng dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp hỗ trợ như gia công các chi tiết của ô tô, máy bay, tàu thủy và ngành công nghiệp nhẹ... Trong quá trình gia công cao tốc, sự hình thành phoi có ảnh hưởng mật thiết đến một loạt thông số của quá trình cắt như liên quan đến năng suất, chất lượng và hiệu quả gia công như: lực cắt, nhiệt cắt, độ ổn định quá trình cắt, sai số đại quan và tế vi của chi tiết gia công; đến hiện tượng các vùng biến dạng mài mòn của dụng cụ cắt [1,2]. Để hình thành phoi cần tác dụng một lực để phoi tách ra khỏi vật liệu gia công khi, qua đó phát sinh biến dạng đàn hồi của vật liệu gia công tại vùng tiếp xúc với dụng cụ cắt. Biến dạng đàn hồi này nhanh chóng chuyển thành biến dạng dẻo và một lớp phoi được hình thành từ lớp kim loại này [2]. Như vậy tại vị trí dao tiếp xúc với vật liệu gia công sẽ có lớp vật liệu bị phá hủy. Để nghiên cứu trạng thái ứng suất tại lớp vật liệu này, các mô hình phá hủy vật liệu được nhiều tác giả công bố trên các tạp chí quốc tế. Tác giả McClintock quan sát và phân tích sự lớn lên của các lỗ trống hình trụ sinh ra do ứng suất kéo. Từ đó tác giả kết luận rằng các lỗ trống này phát triển nhanh và là nguyên nhân gây nên phá hủy vật liệu [3]. Tác giả Rice và Tracey [4] phát triển mô hình của McClintock, từ đó kết luận rằng những lỗ trống hình trụ và hình cầu đều phát triển hướng kính, chúng thay đổi cả về kích thước và hình dạng khi vật liệu chịu tải. Sự thay đổi ấy phụ thuộc rất lớn vào chỉ số trạng thái ứng suất. Tác giả Hancock và MacKenzie [5] thông qua nghiên

cứ thực nghiệm đã chỉ ra rằng sự phát triển của lỗ trống không chỉ theo một hướng mà nhiều hướng khác nhau. Đồng thời tốc độ phát triển của chúng phụ thuộc chủ yếu vào chỉ số trạng thái ứng suất.

Từ các nghiên cứu trên, giới hạn phá hủy phụ thuộc chủ yếu vào chỉ số trạng thái ứng suất. Ti số cường độ của hai thành phần này đặc trưng cho trạng thái ứng suất được gọi là chỉ số trạng thái ứng suất được biểu diễn trong công thức: $\sigma^* = \frac{\sigma_H}{\bar{\sigma}}$ trong đó σ_H là ứng suất tĩnh và $\bar{\sigma}$ là ứng suất tương đương. Cùng với độ biến dạng, trạng thái ứng suất đóng vai trò chính trong sự hình thành và phát triển của vết nứt trong vật liệu kim loại. Đồng thời trạng thái này còn quyết định dạng phá hủy cũng như mức độ phá hủy vật liệu. Biến dạng phá hủy tương đương chịu ảnh hưởng rất lớn từ chỉ số trạng thái ứng suất. Tác giả Wierzbicki [6] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của trạng thái ứng suất bằng mô phỏng số kết hợp với thực nghiệm. Kết quả cho thấy rằng giới hạn phá hủy phụ thuộc chủ yếu vào chỉ số trạng thái ứng suất. Như vậy mức độ biến dạng, trạng thái ứng suất có vai trò chủ yếu trong sự hình thành và phát triển vết nứt trong vật liệu kim loại. Đồng thời trạng thái này còn quyết định dạng phá hủy cũng như mức độ phá hủy vật liệu.

Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên mô hình phá hủy Bao-Wierzbicki (B-W) được sử dụng để mô phỏng sự hình thành phoi và hệ số co rút phoi khi thay đổi tốc độ cắt và chiều sâu cắt. Sau đó, mối quan hệ toán học giữa hệ số co rút phoi với các tham số trên sẽ được tìm ra.

2. Vật liệu và mô hình phá hủy B-W

2.1. Đặc tính của vật liệu

Bài toán mô phỏng và thực nghiệm đã được

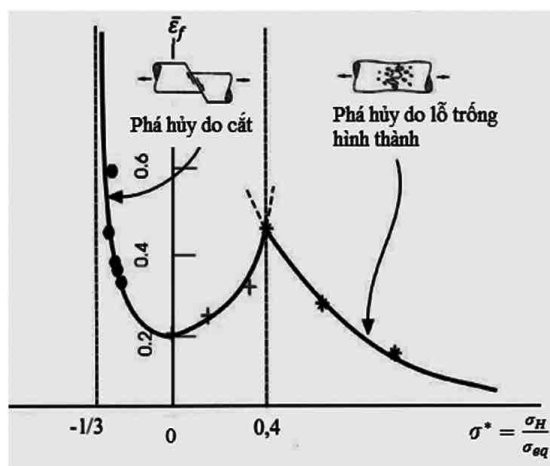
áp dụng cho hợp kim nhôm A6061 với những đặc tính được thể hiện ở Bảng 1. Hợp kim nhôm A6061 có đặc điểm nổi bật là hợp kim có tính linh hoạt cao và khả năng chống ăn mòn tốt. Ngoài ra đây cũng là một trong những hợp kim đa dụng, có độ bền cao, và được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp.

Bảng 1. Đặc tính vật lý của hợp kim nhôm A6061

Vật liệu	Đặc tính	Giá trị
	Mô đun đàn hồi E (GPa)	2.7
	Khối lượng riêng, ρ (kg/m ³)	7000
	Mô đun đàn hồi trượt, G (Gpa)	69
	Hệ số Poisson ν	0.33

2.2. Mô hình phá hủy B-W

Mô hình phá hủy B-W diễn tả sự phá hủy xảy ra tại một điểm của vật liệu khi sự biến dạng dẻo đạt đến một giá trị giới hạn.



Hình 1. Sự phụ thuộc của $\bar{\epsilon}_f$ vào chỉ số trạng thái ứng suất [6, 7]

Hằng số vật liệu được tính bởi công thức sau [7]:

$$D = \int_0^{\bar{\epsilon}_f} \frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} = \left(\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} \right)_{av} \bar{\epsilon}_f \quad (1)$$

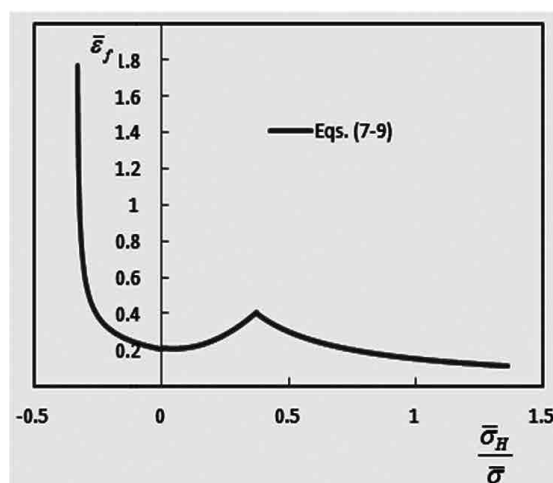
Trong đó $\left(\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} \right)_{av}$ là chỉ số trạng thái ứng suất, $\bar{\epsilon}_f$ là biến dạng tương đương tại thời điểm vật liệu bị phá hủy.

Sau khi thu được biến dạng tương đương tới phá hủy và chỉ số ứng suất cho mỗi trường hợp $\bar{\epsilon}_f, \frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}}$, quỹ tích phá hủy trong không gian được xây dựng như Hình 1.

Hình 1 biểu diễn sự phụ thuộc của biến dạng và chỉ số trạng thái ứng suất. Ở giá trị trạng thái ứng suất nhỏ, phá hủy do biến dạng trượt xảy ra, nhưng khi giá trị chỉ số ứng suất lớn phá hủy xảy ra do sự hình thành và phát triển lỗ trống. Nếu chỉ số trạng thái ứng suất nhỏ hơn -1/3, vật liệu không bị phá

hủy, nghĩa là vật liệu có khả năng biến dạng lớn.

Có thể thấy rõ ràng biến dạng tương đương tới phá hủy của các mẫu khác nhau rất lớn dưới chỉ số trạng thái ứng suất khác nhau. Trong phạm vi lớn của chỉ số trạng thái ứng suất, thì biến dạng tương đương tới phá hủy sẽ giảm đối với ứng suất. Biến dạng tương đương nhỏ nhất bằng 0.2 khi chỉ số trạng thái ứng suất bằng $\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} = 0$ tương ứng với thí nghiệm cắt thuần túy.



Hình 2. Đồ thị đường cong cho bởi các phương trình (2-4)

Sau đó, tăng phạm vi chỉ số trạng thái ứng suất nhỏ với chỉ số trạng thái ứng suất đạt đến đỉnh điểm 0.45 tại chỉ số trạng thái ứng suất trung bình $\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} = 0.4$ tương ứng với các thí nghiệm kiểm tra độ bền kéo trên thanh tròn trơn. Cuối cùng chỉ số trạng thái ứng suất giảm trong phạm vi của chỉ số trạng thái ứng suất cao [8]

Đường cong phá hủy phù hợp với biến dạng tương đương cho phá hủy được các tác giả đưa ra bởi công thức sau [5, 7]:

$$\bar{\epsilon}_f = 0.1225 \cdot \left(\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} + \frac{1}{3} \right)^{-0.46} \text{ cho } \frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} = -\frac{1}{3} \div 0 \quad (2)$$

$$\bar{\epsilon}_f = 1.9 \cdot \left(\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} \right)^2 - 0.18 \left(\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} \right) + 0.21 \text{ cho } \frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} = 0 \div 0.4 \quad (3)$$

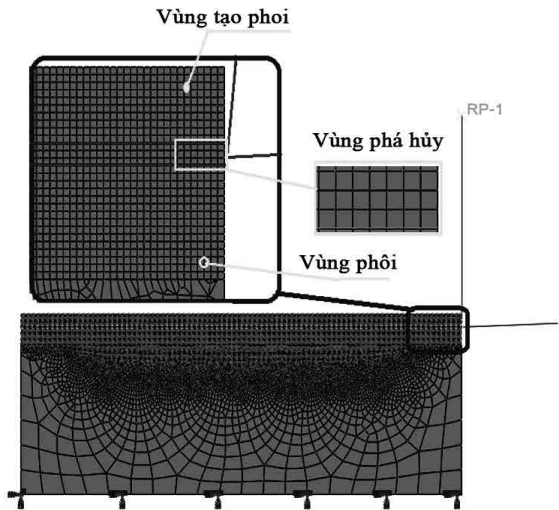
$$\bar{\epsilon}_f = 0.15 \cdot \left(\frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} \right)^{-1} \text{ cho } \frac{\bar{\sigma}_H}{\bar{\sigma}} = 0.4 \div 0.95 \quad (4)$$

Đồ thị đường cong của phương trình (2-4) được thể hiện trên Hình 2.

Trên Hình 2 cũng cho thấy giới hạn phá hủy của vật liệu cho bởi phương trình 1 được thỏa mãn và trong giới hạn này khi mô phỏng quá trình cắt, tại đó phần tử lưới sẽ bắt đầu quá trình tách ra khỏi vật liệu và hình thành phoi cắt.

3. Mô phỏng quá trình tạo phoi

Phần mềm Abaqus/Explicit 6.13.1 được sử dụng để mô phỏng quá trình tạo phoi và đo hệ số co rút phoi cho hợp kim nhôm A6061. Mô hình phần tử hữu hạn được sử dụng để mô phỏng được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Mô hình phần tử hữu hạn trong quá trình cắt

Trong đó các phần tử cứng tuyệt đối được sử dụng cho mô hình dụng cụ cắt. Phôi gia công lại được chia thành 3 vùng chính gồm có vùng tạo phoi, vùng phá hủy và vùng phôi cắt. Trong vùng phá hủy được mô hình hóa thành 3 phần tử với tổng chiều dày lớn hơn bán kính mũi dao. Phoi được tạo thành quan trọng là vùng tạo phoi và một phần tử trong vùng phá hủy mà chưa bị phá hủy. Các phần tử khác trong vùng phá hủy bị phá hủy hoàn toàn sẽ tự di chuyển.

Hệ số co rút phoi được xác định bằng công thức: $K = \frac{t_p}{t_0}$ (5) trong đó t_p là chiều dày phoi, t_0 là chiều sâu cắt.

3.2. Sự phụ thuộc của hệ số co rút phoi K với V và t

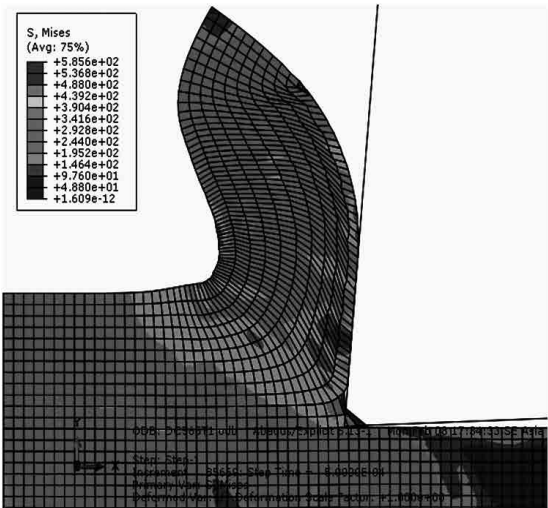
Thông số sử dụng để mô phỏng quan hệ giữa K với V và t

	Các cấp độ			
	1	2	3	4
V(m/phút)	419	471	565	659
t(mm)	0.5	1.0	1.5	2.0

Bảng 3. Kết quả mô phỏng hệ số co rút phoi K với các giá trị của V và t khác nhau

t(mm)	V (m/min)			
	419	471	565	659
0.5	1.74	1.74	1.67	1.76

1.0	1.54	1.54	1.55	1.54
1.5	1.43	1.52	1.49	1.49
2.0	1.41	1.48	1.40	1.39



Hình 4. Phoi được hình thành khi mô phỏng

Để nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc cắt (V) và chiều sâu cắt (t) đến hệ số co rút phoi (K) sử dụng phần tử hữu hạn FEM mô phỏng với các tham số cho trong Bảng 2.

Phoi được hình thành thể hiện trên Hình 4. Kết quả mô phỏng hệ số co rút phoi K phụ thuộc vào V và t cho trong Bảng 4. Từ kết quả mô phỏng trong Bảng 2 công thức của K phụ thuộc vào V và t bằng phương pháp xây dựng đường cong phù hợp. Sự phụ thuộc của K vào V và t được cho bởi công thức:

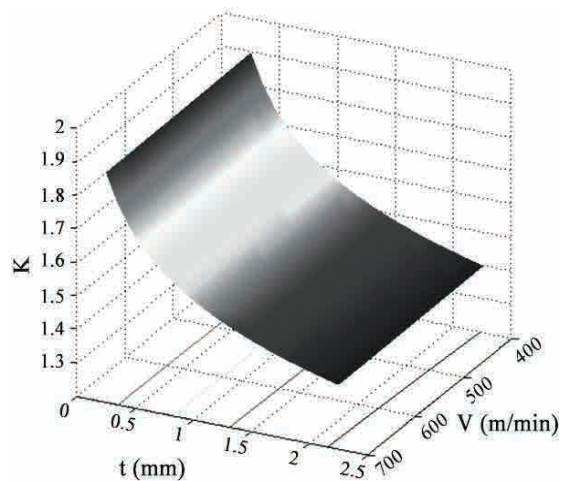
$$K = a \cdot V^b \cdot t^c \tag{6}$$

Trong đó a,b,c là các hằng số phải xác định. Sử dụng công cụ Minitab17 các hằng số a, b, c lần lượt được xác định tương ứng là 1.64227, 0.00812381 và -0.138524. Khi đó công thức (6) được viết lại là:

$$K = 1.64227 V^{-0.00812381} t^{-0.138524} \tag{7}$$

Từ công thức (7) mối quan hệ giữa K với V và t được thể hiện trên Hình 5. Như vậy từ trên Hình 5 cho thấy khi tăng V thì K thay đổi rất nhỏ tuy nhiên K bị ảnh hưởng đáng kể khi thay đổi chiều sâu cắt t. Với t tăng từ 0.5 đến 2.0mm thì K giảm tương ứng từ 1.9 đến 1.4. Cho thấy khi cắt chiều sâu cắt mỏng hệ số co rút phoi lớn hơn khi cắt chiều sâu cắt dày.

Khi gia công với chiều sâu cắt dày mức độ biến dạng của lớp vật liệu sẽ khó khăn hơn vì diện tích lớp cắt lúc này lớn, và khi ở cùng chế độ cắt khi đó cắt với chiều sâu cắt nhỏ, lực cắt, nhiệt cắt sẽ làm cho lớp kim loại biến dạng nhiều hơn làm hệ số co rút phoi cũng tăng theo.



Hình 5. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của hệ số co rút phoi K vào V và t

4. Kết luận

Mô phỏng FEM đã được áp dụng để mô phỏng hệ số co rút phoi cho hợp kim A6061 sử dụng mô hình phá hủy B-W cho thấy rằng khi xét ảnh hưởng đồng thời của vận tốc cắt, chiều sâu cắt đến hệ số co rút phoi. Với chiều sâu cắt trong khoảng từ 0.5 đến 2mm thì thấy rằng chiều sâu cắt mỏng, hệ số co rút phoi lớn và ngược lại. Trong dải tốc độ cắt từ 419 đến 659m/phút hệ số co rút phoi không bị ảnh hưởng nhiều. Trong dải tốc độ này hệ số co rút phoi phụ thuộc vào V và t thông qua phương trình sau:

$$K = 1.64227 V^{-0.00812381} t^{-0.138524}$$

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bành Tiến Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Tuý (2013), *Nguyên lý gia công vật liệu*, NXB KHKT, Hà Nội.
- [2]. P. T. Hoa, “RCMME 2014 FEM Study on the Chip Shrinkage Coefficient at High-Speed Machining of Aluminum Alloy A6061,” no. October, 2014.
- [3]. R. Sowerby and N. Chandrasekaran, “The Prediction of Damage Accumulation when Upsetting AISI 1045 Steel Specimens, Based on McClintock’s Model,” *Mater. Sci. Eng.*, vol. 79, no. 1, pp. 27–35, 1986.
- [4]. T. Pardoen, P. Delatte, J. Morhet, I. Doghri, R. Knockaert, F. Delannay, U. C. De Louvain, U. C. De Louvain, and D. De Mdcanique, “Application of Local Damage and Fracture Models to Notched Round Copper Bars,” vol. 6, 1996.
- [5]. T. S. Cao, C. Bobadilla, P. Montmitonnet, and P. O. Bouchard, “A Comparative Study of Three Ductile Damage Approaches for Fracture Prediction in Cold Forming Processes,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 216, pp. 385–404, 2015.
- [6]. J. Liu and B. S. China, “Experimental Study and Modeling of Mechanical Micro-Machining of Particle Reinforced Heterogeneous Materials,” 2011.
- [7]. Y. Bao and T. Wierzbicki, “On Fracture Locus in the Equivalent Strain and Stress Triaxiality Space,” *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 46, no. 1, pp. 81–98, 2004.
- [8]. Y. Bao and T. Wierzbicki, “A Comparative Study on Various Ductile Crack Formation Criteria,” *J. Eng. Mater. Technol.*, vol. 126, no. 3, p. 314, 2004.

SIMULATION STUDY TO VERIFY THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON CHIP SHINKAGE COEFFICIENT DURING MACHINING PROCESS OF ALUMINUM ALLOY

Abstract:

This paper predicted the relationship between chip shrinkage coefficient and cutting parameters such as cutting speed, uncut chip thickness in a cutting process of A6061 aluminum alloy. The chip shrinkage coefficient was determined through simulation using finite element method. The commercial software Abaqus/Explicit is employed for simulation of the cutting process of A6061 aluminum alloy based on the Bao-Wierzbicki fracture model. Then, the least square method was used to derive the relationship between chip shrinkage coefficient and cutting force. The above-mentioned relationship is believed to be useful in determination of optimal cutting conditions in high-speed machining.

Keywords: Chip shrinkage coefficient, the Bao-Wierzbicki fracture model, A6061 aluminum alloy, simulation of the cutting process.