

ẢNH HƯỞNG CỦA TỐC ĐỘ CẮT ĐẾN HIỆN TƯỢNG LỆO DAO TRONG GIA CÔNG TIỆN THÉP

EFFECT OF CUTTING SPEED ON BUILT-UP EDGE (BUE) FORMATION IN STEEL TURNING

NGUYỄN THỊ THU LÊ

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: lentt.vck@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Trong quá trình gia công cắt gọt kim loại, hiện tượng “lẹo dao” là một trong những nhân tố quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt, tuổi bền dụng cụ cắt và năng suất gia công. Hiện tượng lẹo dao hình thành do sự dính kết kim loại chi tiết và phoi trên bề mặt lưỡi cắt, đặc biệt trong điều kiện cắt không tối ưu như tốc độ cắt thấp, bôi trơn làm mát không hiệu quả,... Hiện tượng này dẫn đến bề mặt chi tiết bị biến dạng hoặc xước, làm giảm chất lượng bề mặt. Bài báo này trình bày ảnh hưởng của tốc độ cắt đến sự hình thành và phát triển của lẹo dao thông qua việc đánh giá độ nhám bề mặt trên hai loại vật liệu thép C40 và thép không gỉ SUS303. Dữ liệu thí nghiệm được thu thập ở dải tốc độ cắt từ 3 m/phút đến 100 m/phút, với các giá trị độ nhám bề mặt được đo lặp lại ba lần. Kết quả cho thấy, ở vùng tốc độ trung bình, hiện tượng lẹo dao có xu hướng phát triển mạnh, dẫn tới độ nhám bề mặt tăng. Ở tốc độ rất cao hoặc rất thấp, hiện tượng lẹo dao suy giảm, kéo theo chỉ tiêu Ra giảm. Những kết quả này góp phần định hướng việc lựa chọn chế độ cắt hợp lý để hạn chế lẹo dao, nâng cao chất lượng bề mặt và hiệu quả kinh tế trong gia công tiện.

Từ khóa: Gia công tiện, độ nhám bề mặt, vận tốc cắt, dụng cụ cắt, lẹo dao.

Abstract

In metal cutting processes, the phenomenon of “built-up edge” (BUE) is one of the key factors affecting surface quality, tool life, and machining productivity. The BUE forms due to the adhesion of metal fragments and chips on the cutting edge surface, especially under suboptimal cutting conditions such as low cutting speed, ineffective cooling lubrication, etc. This phenomenon leads to deformation or scratches on the workpiece surface, thereby reducing its surface quality. This paper presents the influence of cutting speed on

the formation and development of built-up edge by evaluating surface roughness on two types of steel: C40 and stainless steel SUS303. Experimental data were collected at cutting speeds ranging from 3 m/min to 100 m/min, and surface roughness values were measured three times at each speed. The results show that, in the medium speed range, the phenomenon of tool backtracking tends to develop strongly, leading to increased surface roughness. Conversely, at very high or very low speeds, this phenomenon diminishes, resulting in a decrease in the Ra index. These findings contribute to guiding the selection of a suitable cutting mode to limit tool backtracking, thereby improving surface quality and enhancing economic efficiency in turning.

Keywords: Turning process, surface roughness, cutting speed, cutting tool, built-up edge (BUE).

1. Mở đầu

Gia công tiện là một trong những phương pháp gia công cơ khí phổ biến nhất, chiếm vai trò quan trọng trong sản xuất các chi tiết dạng tròn xoay như trục, bạc, ren và các loại bề mặt tròn khác. Dù đã xuất hiện từ rất lâu, phương pháp này vẫn liên tục phát triển nhờ khả năng linh hoạt, đáp ứng độ chính xác cao và tính kinh tế trong quá trình sản xuất. Chất lượng bề mặt sản phẩm khi gia công tiện bị chi phối bởi nhiều yếu tố như đặc tính vật liệu phôi, vật liệu dụng cụ cắt, thông số chế độ cắt (tốc độ cắt, lượng ăn dao, chiều sâu cắt), điều kiện bôi trơn và làm mát, cũng như trạng thái hao mòn và hỏng hóc của dụng cụ cắt [3], [4], [5].

Trong số các hiện tượng thường gặp làm suy giảm chất lượng bề mặt trong quá trình tiện thép, hiện tượng lẹo dao (built-up edge - BUE) là một vấn đề quan trọng cần được nghiên cứu và khắc phục. Lẹo dao xuất hiện khi kim loại từ chi tiết gia công bám dính lên lưỡi cắt tạo thành một khối kim loại dư, gây ra sự biến dạng về mặt hình học của dụng cụ cắt. Khối kim loại này không ổn định và có thể bong tróc từng phần trong quá trình cắt, dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng

như ảnh hưởng tới lực cắt, rung động và đặc biệt là gây ra vết xước, vết lõm hoặc biến dạng dẻo trên bề mặt chi tiết gia công, từ đó làm tăng đáng kể độ nhám bề mặt sản phẩm [4], [6], [7].

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng leo dao hình thành rõ rệt trong khoảng tốc độ cắt từ thấp đến trung bình, nhất là khi điều kiện làm mát và bôi trơn không tối ưu hoặc không được sử dụng [5], [6]. Điều này được giải thích bởi việc nhiệt độ cắt trong vùng này làm kim loại phôi bị biến dạng dẻo, tạo điều kiện cho sự bám dính và phát triển leo dao trên bề mặt dụng cụ. Ở tốc độ cắt rất cao, nhiệt độ vùng cắt tăng đáng kể, làm giảm khả năng bám dính và ổn định của leo dao, dẫn tới hiện tượng này suy giảm hoặc biến mất hoàn toàn. Ngược lại, khi tốc độ cắt quá thấp, lực cắt và nhiệt độ vùng cắt đều không đủ lớn để kích thích sự hình thành leo dao một cách ổn định, do đó leo dao xuất hiện không rõ ràng hoặc rất nhỏ [8], [9], [10].

Theo nghiên cứu về cơ chế hình thành leo dao cho một số nhóm vật liệu [11] đã xác định được mô hình lý thuyết về sự tiến triển của leo dao. Các kết quả nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm đối với hợp kim nhôm A6063-T3 và thép cacbon thấp STKM-11A. Các nghiên cứu đã chỉ ra sự hình thành cũng như dự đoán về các chu kỳ hình thành leo dao cho hai nhóm vật liệu nghiên cứu. Nghiên cứu về thay đổi tốc độ cắt cho vật liệu Inconel 718 [12] đã trình bày ảnh hưởng các tốc độ cắt đến sự hình thành các lớp leo dao khác nhau. Nghiên cứu đã chỉ ra với tốc độ cắt lớn 80m/phút đã chỉ ra không thấy xuất hiện leo dao dạng xếp chồng ở trên bề mặt dụng cụ. Với tốc độ cắt thấp hơn thấy xuất hiện hiện tượng này.

Với mục đích làm rõ hơn cơ chế hình thành, phát triển và mức độ ảnh hưởng của leo dao trong gia công tiện thép, nghiên cứu này được tiến hành nhằm đánh giá mối quan hệ giữa tốc độ cắt với hiện tượng leo dao trên hai vật liệu thép điển hình là thép cacbon trung bình C40 và thép không gỉ SUS303. Hai loại vật liệu này được lựa chọn dựa trên sự khác biệt rõ rệt về cơ tính và khả năng gia công, cho phép phân tích cụ thể sự ảnh hưởng của từng loại vật liệu đối với hiện tượng leo dao; hơn nữa chưa thấy có công trình nghiên cứu cho hai nhóm thép này.

Kết quả của nghiên cứu sẽ góp phần làm sáng tỏ hơn cơ chế tác động của leo dao tới độ nhám bề mặt trong quá trình tiện, qua đó cung cấp thêm các cơ sở khoa học quan trọng để tối ưu hóa chế độ cắt nhằm hạn chế hiện tượng leo dao, cải thiện chất lượng bề mặt chi tiết và nâng cao hiệu quả kinh tế trong thực tế sản xuất [2]. Đồng thời, kết quả nghiên cứu cũng là cơ sở quan trọng để mở rộng các nghiên cứu tiếp theo về

ảnh hưởng tổng hợp của nhiều yếu tố khác nhau như lượng chạy dao, chiều sâu cắt, các dạng dụng cụ cắt và điều kiện làm mát - bôi trơn đến hiện tượng leo dao trong tiện thép nói riêng và gia công kim loại nói chung.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá ảnh hưởng của tốc độ cắt đến hiện tượng leo dao, nghiên cứu sử dụng hai loại thép thường dùng trong chế tạo cơ khí là C40 và SUS303. Các mẫu thép sử dụng dạng tròn đặc, kích thước $\varnothing 30$, chiều dài mỗi mẫu 55mm. Thành phần của 2 mác thép được cho trong Bảng 2.

Bảng 1. Thành phần hoá học của thép C40 và SUS303

Thành phần hoá học của thép C40 (%)				
C	Si	Mn	P	S
0,37÷0,43	0,15÷0,35	0,÷ 0,9	≤0,03	≤0,035

Thành phần hoá học SUS303 (%)						
C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S
≤0,15	≤1,0	≤ 2,0	8÷10	17÷19	≤0,2	≤0,15

Quá trình thực nghiệm được tiến hành trên máy tiện CNC KNC-50G, có tốc độ vòng quay trục chính tối đa 6000 vòng/phút, động cơ trục chính 3,7 - 5,5 (kW) và tốc độ di chuyển trục X/Z là 30 m/phút (Hình 2). Dụng cụ cắt sử dụng là dao tiện đầu thẳng gắn mảnh hợp kim cứng, tiết diện hình vuông 16×16 (mm), chiều dài 120mm với góc nghiêng chính $\phi = 45^\circ$ và tuổi bền dao T = 45 phút.



a) Thép SUS303



b) Thép C40

Hình 1. Các mẫu thép SUS303 và thép C40

Trong quá trình thực nghiệm, chiều sâu cắt t được giữ cố định ở 1,25mm và lượng chạy dao S là 0,25mm/vòng [1], quá trình cắt thử nghiệm không sử dụng dung dịch tưới nguội. Ở mỗi thay đổi về tốc độ cắt, hiện tượng leo dao được đánh giá thông qua độ nhám bề mặt, qua đó xác định dải tốc độ cắt tại đó hiện tượng leo dao ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng bề mặt, làm cơ sở để rút ra các kết luận tối ưu về chế độ cắt.

Sau khi gia công, các mẫu thép được xác định độ nhám bề mặt bằng máy đo độ nhám cầm tay SRT-6223. Mỗi mẫu được đo 3 lần ở các vị trí gần kề nhau trên

đường sinh, sau đó lấy giá trị trung bình. Bảng dữ liệu đầy đủ về tốc độ cắt, số vòng quay trục chính, giá trị độ nhám cho từng lần đo, trung bình độ nhám cho cả 3 lần được ghi lại.



a) Máy tiện



b) Quá trình tiện

Hình 2. Máy tiện KNC-50G và quá trình thực nghiệm

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả thực nghiệm ảnh hưởng của tốc độ cắt đến hiện tượng leo dao thông qua chỉ tiêu độ nhám bề mặt được thể hiện trong Hình 3 và Bảng 2.

Các giá trị thực nghiệm được thể hiện trên đồ thị Hình 4 và phương trình đường dự đoán sự phụ thuộc độ nhám vào tốc độ cắt gia công của thép C40 và SUS303 được xác định trong phương trình (1) và (2)

$$\text{Độ nhám bề mặt (C40)} = 2.36591 - 0.24736 A + 0.0350293 A^2 - 0.00141033 A^3 + 0.000025 A^4 - 2.01354 \times 10^{-7} A^5 + 6.22686 \times 10^{-10} A^6 \quad (1)$$

$$R^2 = 0.984, R^2 \text{ dự đoán} = 0.882.$$

$$\text{Độ nhám bề mặt (SUS303)} = 0.83382 + 0.326981 A - 0.0121158 A^2 + 0.000152273 A^3 - 6.32182 \times 10^{-7} A^4 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.893, R^2 \text{ dự đoán} = 0.801.$$

Với A là tốc độ cắt (m/phút).

Phương trình hồi quy thu được từ dữ liệu thực nghiệm có hệ số xác định R^2 và hệ số R^2 dự đoán đạt giá trị cao, cho thấy phương trình xây dựng phản ánh tốt mối quan hệ giữa các thông số công nghệ và độ nhám bề mặt. Điều này chứng minh rằng phương trình hồi quy có thể sử dụng một cách hiệu quả để dự đoán các giá trị độ nhám tương ứng với các tốc độ cắt trung gian chưa tiến hành thực nghiệm, từ đó hỗ trợ cho việc xác định khoảng tốc độ cắt tối ưu trong gia công.

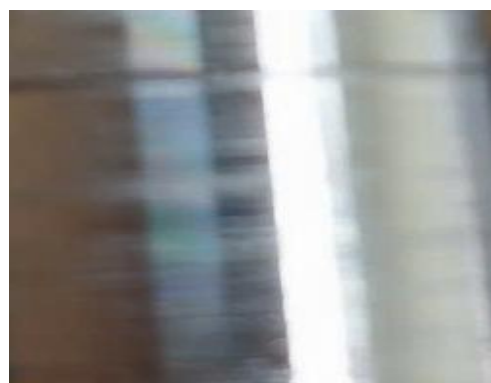
Với chế độ công nghệ cụ thể đã lựa chọn gồm chiều sâu cắt $t=1,25\text{mm}$, lượng chạy dao $S=0,25\text{mm/vòng}$, không sử dụng dung dịch tưới nguội,

Bảng 2. Kết quả đo độ nhám bề mặt của thép C40 và SUS303 sau khi tiện

Tốc độ cắt (m/ph)	Tốc độ vòng quay trục chính (vòng/ph)	Thép C40				Thép SUS303			
		Giá trị độ nhám Ra			Ra (μm)	Giá trị độ nhám Ra			Ra (μm)
		Lần 1	Lần 2	Lần 3		Lần 1	Lần 2	Lần 3	
3	32	1,901	1,873	1,934	1,903	1,994	1,968	1,998	1,987
5	53	1,805	1,929	1,992	1,909	2,241	2,042	2,264	2,182
10	106	2,421	2,004	1,929	2,118	2,604	2,526	2,594	2,575
15	159	2,98	2,498	2,909	2,796	2,929	3,089	2,948	2,989
20	212	2,992	3,794	3,876	3,554	3,952	4,031	3,961	3,981
25	265	3,968	3,989	3,914	3,957	4,289	4,381	4,389	4,353
30	318	4,241	4,202	4,086	4,176	3,602	3,514	3,541	3,552
35	371	3,589	4,061	3,902	3,851	2,715	2,679	2,714	2,703
40	424	3,598	3,501	3,106	3,402	2,318	2,309	2,324	2,317
45	477	3,106	2,968	2,96	3,011	2,141	2,102	2,069	2,104
50	531	2,49	2,689	2,741	2,64	1,951	1,951	1,979	1,960
55	584	2,502	2,385	2,316	2,401	1,784	1,776	1,769	1,776
60	637	2,409	2,489	2,298	2,399	1,567	1,531	1,496	1,531
65	690	2,129	2,283	2,006	2,139	1,538	1,532	1,519	1,530
70	743	2,012	2,122	1,957	2,03	1,509	1,506	1,501	1,505
75	796	1,835	1,702	1,726	1,754	1,511	1,514	1,479	1,501
80	849	1,512	1,605	1,511	1,543	1,606	1,635	1,549	1,597
85	902	1,302	1,432	1,242	1,325	1,538	1,515	1,535	1,529
90	955	1,312	1,369	1,275	1,319	1,544	1,532	1,554	1,543
95	1008	1,219	1,274	1,242	1,245	1,545	1,532	1,494	1,524
100	1061	1,219	1,192	1,202	1,204	1,549	1,521	1,539	1,536

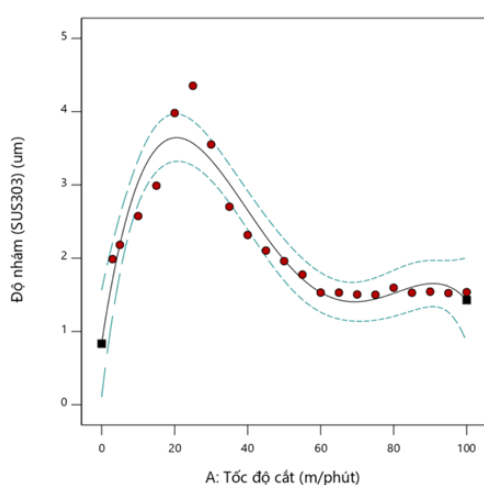


a) Mặt ngoài mẫu Thép SUS303

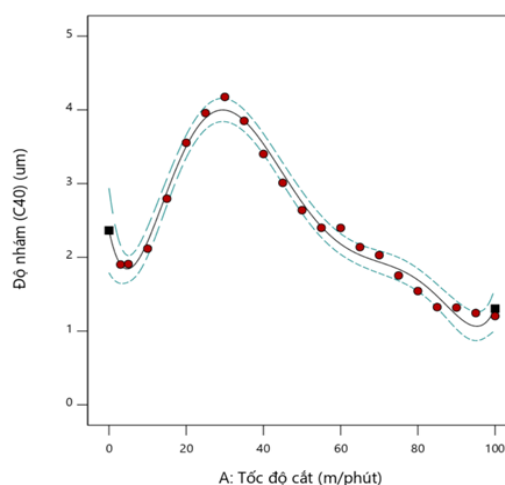


b) Mặt ngoài mẫu thép C40

Hình 3. Bề mặt thép sau khi gia công ở tốc độ vòng quay 796 vòng/phút



a) Thép SUS303



b) Thép C40

Hình 4. Đồ thị mối liên hệ giữa tốc độ cắt và độ nhám Ra

độ nhám bề mặt thu được trong các điều kiện thực nghiệm đều nằm ở cấp trung bình. Điều này phù hợp với đặc điểm chung của quá trình tiện khô, vốn thường có độ nhám bề mặt không thể đạt chất lượng cao như khi sử dụng phương pháp tưới nguội. Theo yêu cầu chất lượng gia công bề mặt đặt ra đạt cấp 6, giới hạn độ nhám Ra từ $1,25\mu\text{m}$ đến $2,5\mu\text{m}$, kết quả cho thấy không phải tất cả các mức tốc độ cắt đều đảm bảo đạt yêu cầu. Nguyên nhân chính gây ra tình trạng này là do sự hình thành lẹo dao tại một số vùng tốc độ cắt nhất định, làm tăng đáng kể giá trị độ nhám bề mặt và khiến một số giá trị chỉ đạt được cấp độ 5 (Ra vượt quá $2,5\mu\text{m}$).

Cụ thể, với vật liệu thép cacbon trung bình C40, hiện tượng lẹo dao xảy ra rõ rệt trong khoảng tốc độ cắt khá rộng, từ khoảng 15m/phút đến khoảng 60-65 (m/phút). Trong vùng tốc độ này, độ nhám bề mặt thường xuyên vượt giá trị giới hạn trên ($2,5\mu\text{m}$), cao nhất vào khoảng tốc độ 30m/phút. Đặc biệt, độ nhám bề mặt tăng mạnh trong khoảng từ 20 đến 30 (m/phút),

chứng tỏ đây là vùng tốc độ thuận lợi nhất cho sự phát triển lẹo dao. Khi tốc độ cắt tiếp tục tăng vượt quá ngưỡng 30m/phút, hiện tượng lẹo dao bắt đầu suy giảm, từ đó độ nhám bề mặt cũng giảm theo. Khi vượt qua mức tốc độ cắt khoảng 75m/phút, độ nhám có xu hướng giảm rõ rệt, cải thiện được một cấp so với vùng xảy ra lẹo dao mạnh nhất.

Đối với thép không gỉ Austenit SUS303, vốn được biết đến là loại thép có tính gia công cắt kém hơn, hiện tượng lẹo dao xuất hiện trong phạm vi hẹp hơn, bắt đầu từ khoảng gần 10m/phút và kết thúc xung quanh 30m/phút. Giá trị độ nhám bề mặt cao nhất đối với SUS303 được ghi nhận tại tốc độ cắt khoảng 25m/phút, sau đó giảm dần khi tăng tốc độ lên trên 30m/phút. Tuy nhiên, ở một số tốc độ cắt vượt qua ngưỡng hình thành lẹo dao, giá trị độ nhám có tăng lên, cho thấy sự ảnh hưởng của các yếu tố khác như nhiệt độ cắt, sự mài mòn dụng cụ cắt đã có những tác động nhất định ở vùng tốc độ cao.

Kết quả so sánh giữa hai vật liệu cho thấy, phạm vi xảy ra lẹo dao của thép cacbon C40 rộng hơn đáng kể so với thép SUS303, tuy nhiên giá trị độ nhám ở vùng lẹo dao cực đại của thép C40 lại thấp hơn so với thép SUS303. Điều này có nghĩa là mặc dù lẹo dao xuất hiện trong một phạm vi tốc độ cắt rộng hơn, nhưng ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt ở thép C40 lại thấp hơn so với thép không gỉ Austenit SUS303. Từ đây, có thể suy luận rằng chiều cao lẹo dao khi gia công thép Austenit SUS303 cao hơn so với thép cacbon C40 trong cùng một vùng tốc độ xảy ra lẹo dao. Một trong những nguyên nhân giải thích hiện tượng này là hàm lượng cacbon cao trong thép C40 làm mở rộng phạm vi tốc độ cắt mà lẹo dao xuất hiện nhưng đồng thời lại làm giảm chiều cao lẹo dao. Ngược lại, thép không gỉ Austenit SUS303, mặc dù phạm vi tốc độ xảy ra lẹo dao hẹp hơn, nhưng do độ dẻo cao và khả năng bám dính lớn hơn nên chiều cao lẹo dao lại cao hơn đáng kể, từ đó làm gia tăng độ nhám bề mặt.

Từ phân tích trên, có thể thấy việc xác định vùng tốc độ cắt xảy ra lẹo dao và mức độ ảnh hưởng của hiện tượng này đến chất lượng bề mặt là cơ sở quan trọng để lựa chọn chế độ công nghệ phù hợp nhằm tối ưu hóa chất lượng bề mặt và nâng cao hiệu quả của quá trình gia công tiện không sử dụng dung dịch tưới nguội.

4. Kết luận

Đã xác định được phương trình độ nhám bề mặt theo tốc độ cắt của 2 mác thép C40 và SUS303 như sau:

$$\text{Độ nhám bề mặt (C40)} = 2.36591 - 0.24736 A + 0.0350293 A^2 - 0.00141033 A^3 + 0.000025 A^4 - 2.01354 \times 10^{-7} A^5 + 6.22686 \times 10^{-10} A^6$$

$$\text{Độ nhám bề mặt (SUS303)} = 0.83382 + 0.326981 A - 0.0121158 A^2 + 0.000152273 A^3 - 6.32182 \times 10^{-7} A^4$$

Kết quả phân tích thực nghiệm cho thấy, loại thép có hàm lượng cacbon thấp hơn (SUS303) thường xuất hiện lẹo dao trong một phạm vi tốc độ cắt hẹp hơn so với loại thép có lượng cacbon cao hơn (C40). Tuy nhiên, khi lẹo dao hình thành trong vùng tốc độ cắt có ảnh hưởng mạnh thì mức độ ảnh hưởng của lẹo dao tới độ nhám bề mặt của thép SUS303 lại rõ rệt và nghiêm trọng hơn so với thép C40.

Để giảm ảnh hưởng của lẹo dao, đối với thép cacbon trung bình (C40), nên sử dụng tốc độ cắt trên 75 m/phút, còn với thép không gỉ Austenit SUS303 nên chọn tốc độ cắt cao hơn 60 m/phút.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.42**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Ngọc Đào, Trần Thế San, Hồ Viết Bình (2006). *Chế độ cắt gia công cơ khí*, NXB Đà Nẵng.
- [2] TS. Hoàng Văn Điện, ThS. Nguyễn Xuân Chung, ThS. Phùng Xuân Sơn (2009), *Nguyên lý cắt*, NXB Giáo dục Việt Nam.
- [3] S. Kalpakjian, S. Schmid (2008), *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th edition, Pearson.
- [4] G. Boothroyd, W.A. Knight (2006), *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, 3rd edition, CRC Press.
- [5] Serope Kalpakjian (2013), *Manufacturing Engineering and Technology*, 7th edition, Pearson.
- [6] M.C. Shaw (2005), *Metal Cutting Principles*, 2nd edition, Oxford University Press.
- [7] D.A. Stephenson, J.S. Agapiou (2006), *Metal Cutting Theory and Practice*, 2nd edition, CRC Press.
- [8] Ahmed, Y. S., Alam, M. S., Arif, A. F. M., & Veldhuis, S. C (2019). *Use of acoustic emission and cutting force signals to monitor built-up edge formation in stainless steel turning*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.103, pp.2257-2276.
- [9] T. Childs, K. Maekawa, T. Obikawa, Y. Yamane (2000), *Metal Machining: Theory and Applications*, Butterworth - Heinemann.
- [10] ISO 4287:1997 - *Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters*.
- [11] Xiaoqi SONG, Weiming HE, Tohru IHARA (2016), *Predicting periodic evolution of BUE formation mechanisms during machining ductile material using damage mechanics*, Mechanical Engineering Journal, Vol.3(6).
- [12] Tiymike Banda (2024), *Condition Monitoring of Tool Performance Using Machine Learning-Based On-Machine Vision System During Face Milling of Inconel 718*. Luận án Tiến sĩ của trường Nottingham.

Ngày nhận bài:	17/03/2025
Ngày nhận bản sửa:	09/04/2025
Ngày duyệt đăng:	09/04/2025