

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

PHẠM MINH ĐỨC

**TỐI ƯU HÓA CÁC THÔNG SỐ GIA CÔNG TIỆN SỬ DỤNG
MÁNH HỢP KIM TIÊU CHUẨN**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số chuyên ngành: 9520103

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH – năm 2024

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. Lê Hiếu Giang

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Mai Đức Đãi

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án **Cấp Trường** họp tại

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

vào ngày tháng năm

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 12/2024

TÓM TẮT

Tiện cứng là một kỹ thuật đang phát triển để gia công tinh các chi tiết có độ cứng từ 45 HRC trở lên, nhằm thay thế cho quá trình mài. So với phương pháp mài truyền thống, tiện cứng có một số ưu điểm như linh hoạt hơn, năng suất cao hơn, chi phí thấp hơn và thân thiện với môi trường hơn. Tuy nhiên, thách thức lớn nhất của tiện cứng là đảm bảo chất lượng bề mặt chi tiết gia công (độ nhám bề mặt) và giảm thiểu sự mòn dao của dụng cụ cắt. Do tiện cứng khác biệt đáng kể so với tiện truyền thống, nhiều kiến thức và lý thuyết từ tiện truyền thống không thể áp dụng trực tiếp.

Để tối ưu hóa quá trình tiện cứng, việc lựa chọn dụng cụ cắt (thông số hình học và vật liệu dụng cụ cắt) và chế độ cắt (tốc độ cắt, bước tiến dao và chiều sâu cắt) phải phù hợp. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là phân tích ảnh hưởng đồng thời của các thông số hình học góc dao (góc nghiêng, góc trước và góc nâng dao) đến độ nhám bề mặt, độ mòn dao, lực cắt và tối ưu hóa các thông số này trong quá trình tiện cứng sử dụng mảnh dao tiêu chuẩn.

Quá trình thực nghiệm tiện cứng được thực hiện trên thép AISI 1055 (52HRC) bằng dao hợp kim gồm phủ TiN. Kết quả cho thấy góc nâng dao là yếu tố chính ảnh hưởng đến độ mòn dao, độ nhám bề mặt và lực cắt trong tiện cứng. Khi tăng góc nâng dao và góc trước theo hướng âm, độ mòn của dụng cụ cắt giảm nhưng độ nhám bề mặt tăng lên. Tuy nhiên, độ nhám bề mặt sẽ giảm khi góc nâng dao tiếp tục tăng qua một giới hạn nhất định. Đây là phát hiện mới và có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu tiện cứng.

Dựa trên kết quả nghiên cứu, nên áp dụng góc nâng dao âm lớn ($\lambda_s = -10^\circ$) để đồng thời giảm độ nhám bề mặt và độ mòn dao. Với các góc dao cắt tối ưu được xác định, quá trình tiện cứng được cải thiện đáng kể, với mức giảm độ nhám bề mặt và độ mòn dao lần lượt là 8.3% và 41.3% so với các góc dao tiêu chuẩn.

Phương pháp thiết kế hệ thống đồ gá được đề xuất cung cấp một giải pháp hiệu quả để thay đổi thông số hình học góc dao khi sử dụng các mảnh dao

tiêu chuẩn, nhằm cải thiện quá trình tiện các vật liệu cứng hoặc khó gia công khác.

Các mô hình toán học về độ nhám bề mặt, độ mòn dao và lực cắt đã được xây dựng. Mô hình toán học quá trình tiện cứng mới được đề xuất có thể được áp dụng cùng với các công thức và mô hình toán học khác để tính toán lực cắt, nhiệt cắt và độ mòn dao cục bộ cho từng phần tử cạnh cắt và cho toàn bộ quá trình. Mô hình toán học này cũng có thể được sử dụng để phân tích và tối ưu hóa quá trình tiện các vật liệu khó gia công khác.

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU CHUNG	1
1.1 Lý do chọn đề tài	1
1.2 Mục tiêu nghiên cứu	1
1.3 Nhiệm vụ nghiên cứu	1
1.4 Phạm vi nghiên cứu	1
1.5 Hướng tiếp cận và phương pháp nghiên cứu	1
1.6 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài	1
1.7 Cấu trúc luận án	2
CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ TIỆN CỨNG	3
2.1 Giới thiệu chung	3
2.2 Ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt khi tiện cứng	3
2.3 Ảnh hưởng của thông số hình học dao cắt khi tiện cứng	3
2.4 Độ nhám bề mặt khi tiện cứng	3
2.5 Mài mòn dao cắt khi tiện cứng	3
2.6 Mô hình toán và tối ưu quá trình tiện cứng	3
2.7 Kết luận	3
CHƯƠNG 3: CƠ SỞ LÝ THUYẾT QUÁ TRÌNH TIỆN CỨNG	3
3.1 Khái niệm về tiện cứng	3
3.2 Ưu điểm và nhược điểm của tiện cứng	3
3.3 Vật liệu chi tiết và ứng dụng trong tiện cứng	4
3.4 Dụng cụ cắt khi tiện cứng	4
3.5 Các thông số công nghệ (chế độ cắt) trong tiện cứng	4
3.6 Các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật trong tiện cứng	4
3.7 Cơ chế hình thành phoi khi tiện cứng	4
3.8 Lực cắt trong tiện cứng	4
3.9 Nhiệt cắt trong tiện cứng	4
3.10 Mài mòn dao và cơ chế mòn trong tiện cứng	4
3.11 Tuổi thọ dao trong tiện cứng	4

3.12 Kết luận	5
CHƯƠNG 4: MÔ HÌNH TOÁN HÌNH HỌC QUÁ TRÌNH TIỆN CỨNG	5
4.1 Giới thiệu chung	5
4.2 Mô hình toán hình học quá trình tiện cứng	5
4.3 So sánh mô hình toán và quá trình cắt thực	7
4.4 Kết luận	7
CHƯƠNG 5: QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM TIỆN CỨNG	7
5.1 Giới thiệu chung	7
5.2 Thiết bị-dụng cụ-thông số thí nghiệm	7
5.2.1 Thiết bị thí nghiệm	7
5.2.2 Dụng cụ cắt	7
5.2.3 Mẫu thí nghiệm	8
5.2.4 Thông số thí nghiệm	8
5.2.5 Thông số chế độ cắt	9
5.3 Thiết kế - chế tạo hệ thống gá thay đổi góc dao	9
5.4 Phân tích lựa chọn phương pháp quy hoạch thí nghiệm	10
5.5 Quá trình thực nghiệm	10
5.5.1 Đo lực cắt	11
5.5.2 Đo độ nhám bề mặt (Ra)	11
5.5.3 Đo độ mòn dao (VB)	11
5.6 Kết luận	12
CHƯƠNG 6: PHÂN TÍCH KẾT QUẢ VÀ TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH TIỆN CỨNG	12
6.1 Phân tích mô hình toán hình học quá trình tiện cứng	12
6.2 Phân tích kết quả thực nghiệm quá trình tiện cứng	14
6.2.1 Phân tích và mô hình toán độ nhám bề mặt	14
6.2.2 Phân tích và mô hình toán độ mòn dao	17
6.2.3 Phân tích và mô hình toán lực cắt	19
6.3 So sánh các kết quả thí nghiệm và mô hình toán.	21
6.4 Tối ưu hóa quá trình tiện cứng	21

6.4.1	Giới thiệu phương pháp tối ưu	21
6.4.2	Phát biểu bài toán tối ưu	22
6.4.3	So sánh góc dao tiêu chuẩn và góc dao tối ưu	24
6.5	Kết luận	25
CHƯƠNG 7: KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ		25
7.1	Những kết quả đã đạt được	25
7.2	Hướng phát triển	27

CHƯƠNG 1:

GIỚI THIỆU CHUNG

1.1 Lý do chọn đề tài

Tiện cứng, một phương pháp gia công mới, được sử dụng để gia công tinh các vật liệu có độ cứng từ 45-70 HRC, thay thế nguyên công mài truyền thống. Do sự khác biệt giữa tiện cứng và tiện truyền thống, nhiều kiến thức và lý thuyết của tiện truyền thống không thể áp dụng trực tiếp cho tiện cứng [1]. Chính vì vậy, nghiên cứu về tiện cứng vẫn đang được đẩy mạnh và tiếp tục phát triển.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu nghiên cứu của đề tài là phân tích ảnh hưởng của các thông số hình học góc dao đến độ nhám bề mặt, độ mòn dao, lực cắt và tối ưu hóa các thông số góc dao cho quá trình tiện cứng sử dụng mảnh dao tiêu chuẩn. Các mục tiêu cụ thể bao gồm:

- Xây dựng mô hình toán hình học quá trình tiện cứng.
- Xây dựng phương pháp thay đổi thông số hình học góc dao cho các mảnh dao tiêu chuẩn để tối ưu hóa cho quá trình tiện cứng.
- Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng đồng thời các thông số hình học góc dao: góc nghiêng dao, góc trước và góc nâng dao đến độ nhám bề mặt, độ mòn dao và lực cắt trong quá trình tiện cứng.
- Thiết lập mô hình toán độ nhám bề mặt (Ra), độ mòn dao (VB) và lực cắt (F) cho quá trình tiện cứng.
- Tối ưu hóa các thông số hình học góc dao cho quá trình tiện cứng.

1.3 Nhiệm vụ nghiên cứu

1.4 Phạm vi nghiên cứu

1.5 Hướng tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm.

1.6 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

Ý nghĩa khoa học:

- Nghiên cứu đã phân tích ảnh hưởng đồng thời của các thông số hình học góc dao: góc nghiêng dao, góc trước và đặc biệt là góc nâng dao đến độ nhám bề mặt, độ mòn dao và lực cắt, những đặc tính quan trọng nhất trong quá trình tiện cứng. Qua đó, xác định được xu hướng ảnh hưởng chính cũng như ảnh hưởng tương tác của chúng đến độ nhám bề mặt, độ mòn dao và lực cắt.
- Xây dựng được các mô hình toán thực nghiệm mô tả mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt (Ra), độ mòn dao (VB) và lực cắt (F) với các thông số hình học góc dao.
- Xác định được các thông số góc dao tối ưu cho quá trình tiện cứng, giúp giảm độ nhám bề mặt chi tiết và giảm độ mòn dao so với khi sử dụng góc dao tiêu chuẩn của nhà sản xuất.
- Phát triển một mô hình toán hình học mới cho quá trình tiện cứng, mô tả chính xác hơn bản chất quá trình cắt. Mô hình này có thể kết hợp với các công thức và mô hình khác để tính toán lực cắt, nhiệt cắt và mòn dao cho từng phần tử lưỡi cắt và cho toàn bộ quá trình; đồng thời có thể sử dụng để nghiên cứu tiện các vật liệu khó gia công khác.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Phương pháp thiết kế hệ thống đồ gá được đề xuất cung cấp một giải pháp hiệu quả để thay đổi các thông số hình học góc dao cho các mảnh dao tiêu chuẩn nhằm tối ưu quá trình tiện các vật liệu cứng hay khó gia công khác.
- Kết quả tối ưu về thông số hình học dụng cụ cắt được đề xuất làm tăng tuổi thọ dụng cụ cắt và chất lượng bề mặt gia công.
- Các kết quả nghiên cứu trong luận án có khả năng ứng dụng vào sản xuất thực tế nhằm nâng cao hiệu quả của quá trình tiện cứng.

1.7 Cấu trúc luận án

Luận án được trình bày trong 7 chương.

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN TÀI LIỆU

- 2.1 Giới thiệu chung**
- 2.2 Ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt khi tiện cứng**
- 2.3 Ảnh hưởng của thông số hình học dao cắt khi tiện cứng**
- 2.4 Độ nhám bề mặt khi tiện cứng**
- 2.5 Mài mòn dao cắt khi tiện cứng**
- 2.6 Mô hình toán và tối ưu quá trình tiện cứng**
- 2.7 Kết luận**

Các nghiên cứu về tiện cứng đã phân tích khá đầy đủ về ảnh hưởng của chế độ cắt, qua đó cho thấy bước tiến dao ảnh hưởng lớn nhất đến độ nhám bề mặt, vận tốc cắt quyết định tuổi thọ dao và chiều sâu cắt có ảnh hưởng nhiều nhất đến lực cắt. Tuy nhiên, nghiên cứu về ảnh hưởng đồng thời của các góc dao, đặc biệt là góc nâng dao đến độ nhám và mòn dao vẫn còn rất hạn chế. Dao hợp kim gốm được xác định là lựa chọn tối ưu nhất cả về khía cạnh kinh tế lẫn kỹ thuật. Độ nhám bề mặt và độ mòn dao được xem là hai thông số quan trọng nhất để đánh giá chất lượng gia công. Phương pháp thiết kế thí nghiệm (Central Composite Design-CCD), mô hình toán (Response Surface Methodology-RSM) và tối ưu hóa đa mục tiêu (Desirability Function Approach-DFA) là phương pháp nghiên cứu hiệu quả và được sử dụng phổ biến.

CHƯƠNG 3: CƠ SỞ LÝ THUYẾT QUÁ TRÌNH TIỆN CỨNG

3.1 Khái niệm về tiện cứng

Tiện cứng là quá trình tiện tinh các chi tiết có độ cứng 45 HRC trở lên [67], [68]. Hình học dao và chế độ cắt là những yếu tố quan trọng trong quá trình tiện cứng.

3.2 Ưu điểm và nhược điểm của tiện cứng

So với mài truyền thống, tiện cứng có ưu điểm là năng suất cao, linh hoạt hơn, chi phí thấp và thân thiện với môi trường hơn.

3.3 Vật liệu chi tiết và ứng dụng trong tiện cứng

Tiện cứng thường được áp dụng cho các vật liệu kim loại có độ cứng từ 45 HRC trở lên, bao gồm thép cứng, thép làm khuôn, thép vòng bi, thép gió, thép hợp kim và gang hợp kim.

3.4 Dụng cụ cắt khi tiện cứng

Các vật liệu dụng cụ cắt chính được sử dụng trong tiện cứng là cacbit siêu kết, gốm và CBN. Một số đặc tính cơ bản của vật liệu dao bao gồm: độ cứng cao, khả năng chống va đập tốt, sự ổn định vật lý và hóa học ở nhiệt cao.

Hình học dao cắt bao gồm: góc nghiêng dao, góc trước dao, góc nâng dao, bán kính mũi dao và hình dạng cạnh cắt.

3.5 Các thông số công nghệ (chế độ cắt) trong tiện cứng

Tốc độ cắt (v), lượng chạy dao (f) và chiều sâu cắt (d_w).

3.6 Các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật trong tiện cứng

3.7 Cơ chế hình thành phoi khi tiện cứng

Một hiện tượng đặc trưng trong tiện cứng là sự hình thành phoi răng cưa.

3.8 Lực cắt trong tiện cứng

Lực cắt tăng khi gia công vật liệu có độ cứng trên 45 HRC, thường được xem là giới hạn dưới của gia công cứng.

3.9 Nhiệt cắt trong tiện cứng

Trong quá trình cắt kim loại, phần lớn năng lượng cắt chuyển hóa thành nhiệt. Nhiệt độ vùng cắt rất cao (800–1200°C) và phụ thuộc vào vật liệu gia công, dụng cụ cắt, chế độ cắt và hình học dụng cụ. Nhiệt độ cao này ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả gia công và tuổi thọ dụng cụ.

3.10 Mài mòn dao và cơ chế mòn trong tiện cứng

Các cơ chế mài mòn dụng cụ cắt cơ bản gồm: mài mòn cơ học (chính) mài mòn khuếch tán, và mài mòn bám dính.

3.11 Tuổi thọ dao trong tiện cứng

Tuổi thọ dao trong tiện cứng phụ thuộc vào tiêu chí độ nhám và độ mòn mặt sau dao. Theo ISO 3685, dao hết tuổi thọ khi độ nhám bề mặt (R_a) vượt quá

1.6 μm hoặc độ mòn mặt sau (VB) đạt 0.3 mm. Trong tiện cứng, độ nhám bề mặt luôn được ưu tiên hàng đầu.

3.12 Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày tổng quan cơ sở lý thuyết về tiện cứng, một phương pháp hiệu quả thay thế mài truyền thống khi gia công vật liệu có độ cứng ≥ 45 HRC. Tiện cứng ưu việt nhờ năng suất cao, linh hoạt, thân thiện môi trường nhưng gặp thách thức từ lực cắt xác định lớn và nhiệt độ cao gây mòn dao nhanh. Vật liệu dao phổ biến là cacbit, gốm và CBN, đòi hỏi độ bền nhiệt và chống mòn cao. Các thông số hình học dao và chế độ cắt là yếu tố quyết định chất lượng và hiệu quả quá trình gia công.

CHƯƠNG 4:

MÔ HÌNH TOÁN HÌNH HỌC QUÁ TRÌNH TIỆN CỨNG

4.1 Giới thiệu chung

4.2 Mô hình toán hình học quá trình tiện cứng

Tóm tắt mô hình toán hình học quá trình tiện cứng như sau:

- Góc nghiêng dao cục bộ (Local cutting-edge angle):

$$K_r^j = K_r - \theta^j \text{ khi } \theta^j \leq K_r$$

$$K_r^j = \theta^j - K_r \text{ khi } \theta^j > K_r$$

- Góc trước cục bộ (Local rake angle):

$$\gamma_o^j = \tan^{-1} \left(\sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta^j \right) \tan \gamma_o + \cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta^j \right) \tan \lambda_s \right)$$

- Góc trước pháp tuyến cục bộ (Local normal rake angle):

$$\tan \gamma_n^j = \tan \gamma_o^j \cos \lambda^j$$

- Góc nâng dao cục bộ (Local inclination angle):

$$\lambda^j = \tan^{-1} \left(-\cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta^j \right) \tan \gamma_o + \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta^j \right) \tan \lambda_s \right) \text{ khi } \theta^j \leq K_r$$

$$\lambda^j = -\tan^{-1} \left(-\cos \left(\frac{\pi}{2} - \theta^j \right) \tan \gamma_o + \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta^j \right) \tan \lambda_s \right) \text{ khi } \theta^j > K_r$$

- Phần bán kính mũi dao tham gia quá trình cắt gọt:

$$\theta_A = K_r - \cos^{-1} \left(\frac{r - d_w}{r} \right)$$

$$\theta_c = K_r$$

$$\theta_D = K_r + \sin^{-1}\left(\frac{f}{2r}\right)$$

$$\theta_B = K_r - \tan^{-1}\left(\frac{r \sin(K_r - \theta_A) - f}{r - d_w}\right)$$

- Góc trên mặt trước dao (The angle θ_c^j in the tool rake plane):

$$\theta_c^j = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\theta^j \cos \lambda_s}{\cos \gamma_n - \tan\theta^j \sin \gamma_n \sin \lambda_s}\right) \quad \text{khi } \theta^j < \frac{\pi}{2}$$

$$\theta_c^j = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\theta^j \cos \lambda_s}{\cos \gamma_n - \tan\theta^j \sin \gamma_n \sin \lambda_s}\right) + \pi \quad \text{khi } \theta^j > \frac{\pi}{2}$$

- Chiều dày lớp cắt cục bộ:

$$\text{Zone 1: } \theta_A \leq \theta^j < \theta_B$$

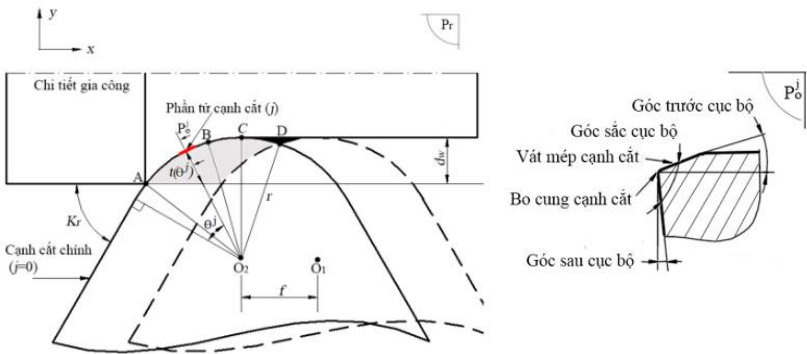
$$t_1(\theta^j) = r - \frac{r - d_w}{\cos(K_r - \theta^j)}$$

$$\text{Zone 2: } \theta_B \leq \theta^j \leq \theta_D$$

$$t_2(\theta^j) = r - \sqrt{r^2 + f^2 - 2rf \cos\left(\theta^j + \frac{\pi}{2} - K_r - \sin^{-1}\left(\frac{f}{r} \sin\left(\theta^j + \frac{\pi}{2} - K_r\right)\right)\right)}$$

- Diện tích lớp cắt cục bộ tương ứng:

$$dA^j = t(\theta^j) r d\theta \quad \text{với gia số } d\theta$$



Hình 4.2 Mô hình bán kính mũi dao tham gia cắt gọt trong tiện cứng

4.3 So sánh mô hình toán và quá trình cắt thực

Kết quả so sánh cho thấy mô hình toán là chính xác.

4.4 Kết luận

Nghiên cứu đã phát triển một mô hình toán hình học mới cho quá trình tiện cứng. So với các mô hình hiện có, mô hình mới mô tả chính xác hơn bản chất của quá trình tiện cứng nhờ việc xấp xỉ bán kính mũi dao thành lưỡi cắt chính và lưỡi cắt phụ mà không bị giới hạn về số lượng phần tử. Các thông số công nghệ đầu vào, bao gồm thông số hình học dao và chế độ cắt, đều được tích hợp trong mô hình. Dựa trên mô hình này, có thể xác định vị trí cắt gọt trên bán kính mũi dao, các thông số hình học góc dao cục bộ, cùng với chiều dày lớp cắt cục bộ của các phần tử cạnh cắt bán kính mũi dao. Đây là những thông số quan trọng giúp phân tích, đánh giá và tối ưu hóa quá trình tiện cứng.

CHƯƠNG 5:

QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM TIỆN CỨNG

5.1 Giới thiệu chung

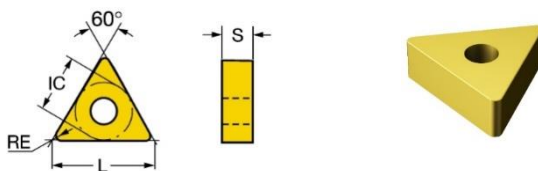
5.2 Thiết bị-dụng cụ-thông số thí nghiệm

5.2.1 Thiết bị thí nghiệm

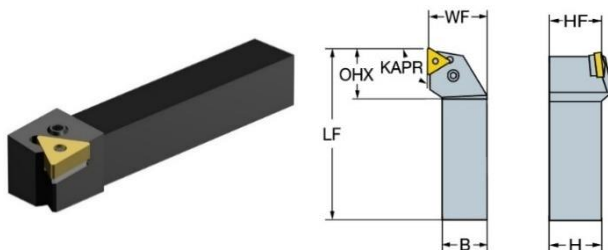
Quá trình thực nghiệm tiện cứng được thực hiện trên máy tiện CNC BOEHRINGER DUS-400ti, có công suất trục chính 11kw và tốc độ quay từ 2 đến 3000 vòng/phút. Thiết bị có độ chính xác là 0.001 mm.

5.2.2 Dụng cụ cắt

Dụng cụ cắt sử dụng trong các thí nghiệm là mảnh dao tiêu chuẩn ISO TNGA160408S01525 6050, làm từ hợp kim gốm hỗn hợp (70% Al_2O_3 và 30% TiC) phủ PVD-TiN (Hình 5.2), được gắn trên cán dao tiêu chuẩn ISO PTG NR 1616H 16 (Hình 5.3). Mảnh dao khi được lắp với cán dao chuẩn có góc dao như sau: góc trước $\gamma_o = -6^\circ$; góc nâng $\lambda_s = -6^\circ$ và góc nghiêng dao $K_r = 91^\circ$.



Hình 5.2 Kích thước mảnh dao TNGA160404S01525 6050 [102]



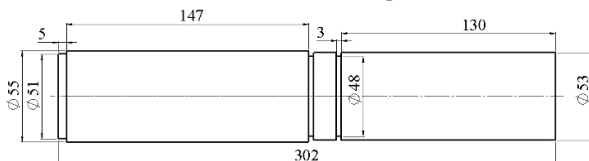
Hình 5.3 Thông số của thân dao PTGNR 1616H 16 [102]

5.2.3 Mẫu thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm, sử dụng thép tròn AISI 1055 được tôi cứng 52 ± 1 HRC (Hình 5.4). Các thông số kích thước của mẫu thí nghiệm như Hình 5.5



Hình 5.4 Mẫu thí nghiệm



Hình 5.5 Kích thước mẫu thí nghiệm

5.2.4 Thông số thí nghiệm

- Góc nghiêng dao: $60^\circ \leq K_r \leq 90^\circ$

- Góc trước dao: $-2^\circ \leq \gamma_o \leq -10^\circ$
- Góc nâng dao: $-2^\circ \leq \lambda_s \leq -10^\circ$

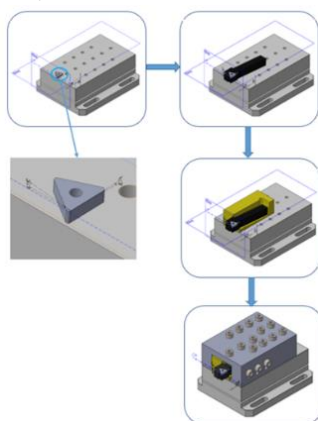
5.2.5 Thông số chế độ cắt

Bảng 5.5 Thông số chế độ cắt được cố định trong thí nghiệm

Vận tốc cắt v (m/phút)	Bước tiến dao f (mm/vòng)	Chiều sâu cắt d_w (mm)
120	0.08	0.2

5.3 Thiết kế - chế tạo hệ thống gá thay đổi góc dao

Hệ thống đồ gá để thay đổi góc dao được thiết kế trên phần mềm Solidwork (Hình 5.6), chế tạo trên máy phay 5 trục DMG MORI DMU65 mono BLOCK và được kiểm tra trên máy đo tọa độ (CMM) Hexagon GLOBAL Classic như Hình 5.7. Sau đó, các chi tiết được xử lý nhiệt qua quá trình tôi chân không để nâng cao độ bền.



Hình 5.6 Quá trình thiết kế hệ thống đồ gá thí nghiệm cho trường hợp: $\gamma_o = -6^\circ$,
 $\lambda_s = -2^\circ$

Quá trình thiết kế hệ thống đồ gá dựa trên hệ tiêu chuẩn “T-hand-S”, bao gồm các bước sau: Bước 1- Định vị lưỡi cắt chính song song với mặt phẳng cơ sở P_r và tạo một góc nghiêng dao K_r với trục x (trục máy), điều chỉnh góc trước và góc nâng dao. Sau đó, định vị cố định vị trí mũi dao (điểm trên dao cắt gần trục máy nhất) ở vị trí cách mặt trên hệ thống đồ gá (mặt phẳng cơ sở) theo tiêu chuẩn gá đặt dao là 25 mm và mặt đầu là 20 mm. Bước 2- Lắp ghép cán

dao với mảnh dao. Bước 3- Lắp ghép miếng chêm dao với cán dao. Bước 4- Hoàn tất hệ thống đồ gá.



Hình 5.7 Quy trình gia công các chi tiết đồ gá thay đổi góc dao

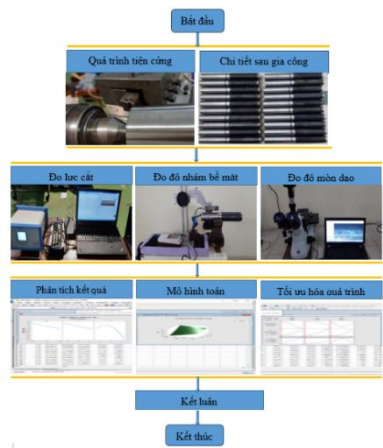
5.4 Phân tích lựa chọn phương pháp quy hoạch thí nghiệm
 Nghiên cứu sử dụng phương pháp RSM và CCD (Bảng 5.6).

Bảng 5.6 Thiết kế thí nghiệm dựa trên CCD

Thông số góc dao	Đơn vị	Mức				
		$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Góc nghiêng dao (κ_r)	Độ ($^{\circ}$)	60	66	75	84	90
Góc trước dao (γ_o)	Độ ($^{\circ}$)	-2	-3.6	-6	-8.4	-10
Góc nâng dao (λ_s)	Độ ($^{\circ}$)	-2	-3.6	-6	-8.4	-10

5.5 Quá trình thực nghiệm

Sơ đồ thực nghiệm được trình bày trong Hình 5.9.



Hình 5.9 Sơ đồ thực nghiệm

5.5.1 Đo lực cắt

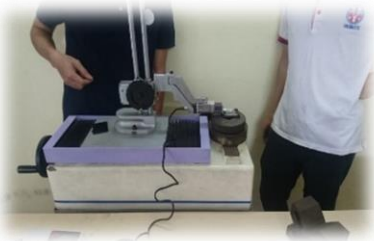
Lực cắt được đo theo ba hướng, bao gồm lực dọc trục (F_x), lực hướng kính (F_y) và lực tiếp tuyến (F_z) bằng lực kế (Kistler Type 9257B). Quá trình đo lực như Hình 5.12.



Hình 5.12 Đo lực cắt tiện cứng

5.5.2 Đo độ nhám bề mặt (R_a)

Trong thí nghiệm, độ nhám bề mặt được đo bằng thiết bị MITUTOYO SJ-210 (Hình 5.14 và Hình 5.15). Thiết bị có độ chính xác 0.001 μm



Hình 5.14 Ca-líp máy đo độ nhám



Hình 5.15 Đo độ nhám bề mặt mẫu thí nghiệm

5.5.3 Đo độ mòn dao (VB)

Độ mòn dao được đo bằng kính hiển vi Oxion Inverso (Hình 5.16) tích hợp phần mềm Amscope. Thiết bị có độ chính xác là 0.01 μm ..



Hình 5.16 Quá trình đo mòn dao

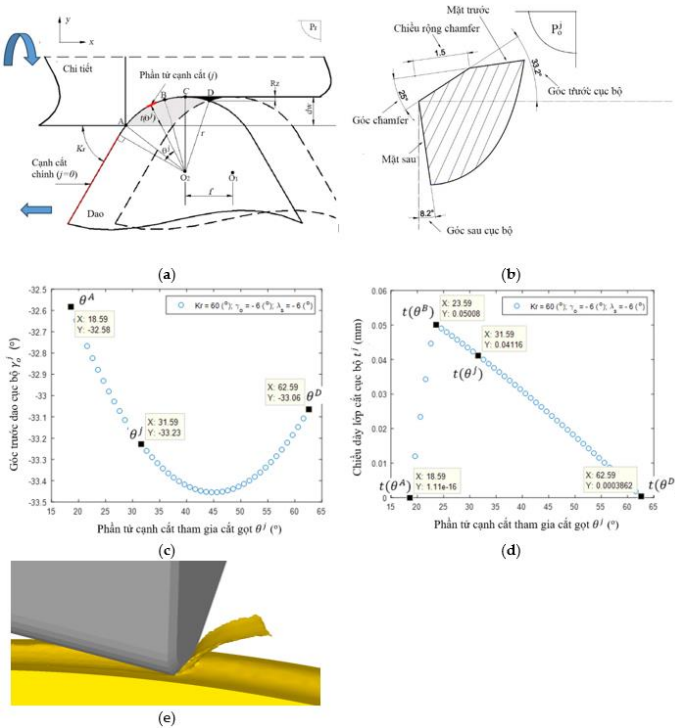
5.6 Kết luận

CHƯƠNG 6:

PHÂN TÍCH KẾT QUẢ VÀ TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH TIỆN CỨNG

6.1 Phân tích mô hình toán hình học quá trình tiện cứng

Tiện cứng là một quá trình gia công tinh với tốc độ cắt cao, bước tiến dao nhỏ và chiều sâu cắt không vượt quá 0.2 mm [111-114]. Dựa trên phân tích mô hình toán hình học quá trình tiện cứng cho thấy quá trình cắt chỉ giới hạn ở bán kính mũi dao, như Hình 6.1.



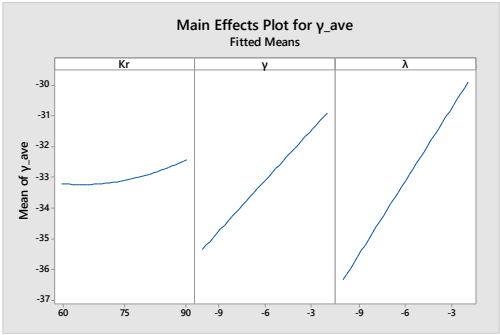
Hình 6.1 Phân tích quá trình tiện cứng cho thí nghiệm số 10

(a) Sơ đồ nguyên lý; (b) Thông số hình học dao của phần tử cạnh cắt j tại $\theta^j=31.59^\circ$; (c) Góc trước dao cục bộ; (d) Chiều dày lớp cắt cục bộ; (e) Quá trình cắt dựa trên mô phỏng FEM

Tại mỗi điểm cắt, các thông số hình học dao và chiều dày lớp cắt đều thay đổi (Hình 6.1 (c, d)). Do chiều dày lớp cắt rất nhỏ, sự tiếp xúc giữa phoi và dao chỉ ở mặt vát (chamfer) của cạnh cắt, dẫn đến góc trước cục bộ trở nên rất lớn. Từ Hình 6.1 (d), quá trình cắt diễn ra từ $\theta^A = 18.59^\circ$ đến $\theta^D = 62.59^\circ$. Tại phần từ cạnh cắt $\theta^D = 23.59^\circ$, chiều dày lớp cắt lớn nhất $t(\theta^B) = 0.05$ (mm).

Bảng 6.2 Phân tích ANOVA cho góc trước trung bình (γ_{ave})

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	73.7959	99.98%	73.7959	8.1995	6783.94	0.000
Linear	3	72.5213	98.26%	72.5213	24.1738	20000.32	0.000
Kr	1	0.7243	0.98%	0.7243	0.7243	599.22	0.000
γ	1	23.1987	31.43%	23.1987	23.1987	19193.58	0.000
λ	1	48.5984	65.84%	48.5984	48.5984	40208.15	0.000
Square	3	0.1496	0.20%	0.1496	0.0499	41.26	0.000
Kr*Kr	1	0.1483	0.20%	0.1426	0.1426	118.01	0.000
$\gamma^*\gamma$	1	0.0006	0.00%	0.0007	0.0007	0.60	0.458
$\lambda^*\lambda$	1	0.0007	0.00%	0.0007	0.0007	0.60	0.458
2-Way Interaction	3	1.1250	1.52%	1.1250	0.3750	310.26	0.000
Kr* γ	1	0.7200	0.98%	0.7200	0.7200	595.70	0.000
Kr* λ	1	0.4050	0.55%	0.4050	0.4050	335.08	0.000
$\gamma^*\lambda$	1	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Error	10	0.0121	0.02%	0.0121	0.0012		
Lack-of-Fit	5	0.0121	0.02%	0.0121	0.0024	*	*
Pure Error	5	0.0000	0.00%	0.0000	0.0000		
Total	19	73.8080	100.00%				



Hình 6.2 Ảnh hưởng của các nhân tố đầu vào đến góc trước trung bình

$$\gamma_{ave}$$

Bảng 6.2 trình bày kết quả phân tích phương sai (ANOVA) cho góc trước trung bình. Kết quả cho thấy nhân tố ảnh hưởng lớn nhất là góc nâng dao

với 65.84%, tiếp theo là góc trước, đóng góp 31.43%. Góc nghiêng dao chỉ chiếm 0.98% tác động đến góc trước cục bộ trung bình. Do đó, để tối ưu hóa quá trình tiện cứng, nên tập trung điều chỉnh góc nâng dao và góc trước. Góc nghiêng dao có thể bỏ qua do ảnh hưởng không đáng kể. Đồ thị ảnh hưởng chính đối với góc trước trung bình được trình bày trong Hình 6.2. Khi tăng góc trước và góc nâng dao âm, làm tăng góc trước cục bộ của các phần tử cạnh cắt tại bán kính mũi dao tham gia quá trình cắt.

6.2 Phân tích kết quả thực nghiệm quá trình tiện cứng

Các kết quả thực nghiệm được thể hiện ở Bảng 6.3.

Bảng 6.3 Các kết quả thực nghiệm dựa trên thiết kế thí nghiệm CCD

STT	κ_r (°)	γ_o (°)	λ_s (°)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	F (N)	Ra (μm)	VB (μm)
1	84	-3.6	-3.6	47.19	134.92	90.91	169.40	0.279	44.04
2	66	-3.6	-3.6	45.52	123.68	84.44	156.52	0.730	44.82
3	84	-8.4	-3.6	47.11	122.86	86.24	157.33	0.594	35.98
4	66	-8.4	-3.6	46.02	118.23	83.28	151.76	0.866	32.24
5	84	-3.6	-8.4	45.47	122.67	85.13	156.08	0.720	31.24
6	66	-3.6	-8.4	41.67	116.44	82.68	148.76	0.899	32.00
7	84	-8.4	-8.4	43.28	117.09	83.17	150.00	1.004	30.12
8	66	-8.4	-8.4	42.70	119.69	82.76	151.65	0.890	23.54
9	90	-6.0	-6.0	46.00	119.87	84.80	153.87	0.836	37.80
10	60	-6.0	-6.0	41.64	117.28	81.14	148.56	0.995	29.27
11	75	-2.0	-6.0	39.19	128.71	86.89	160.16	0.766	42.11
12	75	-10.0	-6.0	43.07	116.37	81.79	148.62	1.020	27.70
13	75	-6.0	-2.0	50.69	139.00	92.28	174.38	0.252	50.26
14	75	-6.0	-10.0	48.26	125.33	87.47	160.27	0.767	22.20
15	75	-6.0	-6.0	50.67	118.66	87.13	155.69	0.870	31.85
16	75	-6.0	-6.0	51.75	119.92	85.59	156.16	0.853	32.01
17	75	-6.0	-6.0	50.72	120.02	87.02	156.68	0.852	32.33
18	75	-6.0	-6.0	52.91	118.47	86.88	156.15	0.906	32.93
19	75	-6.0	-6.0	52.07	118.44	85.11	154.86	0.919	31.63
20	75	-6.0	-6.0	50.83	118.56	85.45	154.73	0.876	31.92

6.2.1 Phân tích và mô hình toán độ nhám bề mặt

Từ Bảng 6.4, phân tích cho thấy góc nâng dao ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt với 32.54%, tiếp theo là góc trước và góc nghiêng với

11.88% và 9.97%, tương ứng. Các hệ số bậc hai $\lambda_s * \lambda_s$ và tương tác $\kappa_r * \lambda_s$, $\kappa_r * \gamma_o$ có ảnh hưởng đáng kể đến độ nhám bề mặt với 31.95 %, 6.6 % và 3.39%, tương ứng.

Bảng 6.4 Phân tích ANOVA cho độ nhám bề mặt (R_a)

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.803015	97.89%	0.803015	0.089224	51.49	0.000
Linear	3	0.446212	54.39%	0.446212	0.148737	85.83	0.000
K_r	1	0.081797	9.97%	0.081797	0.081797	47.20	0.000
γ_o	1	0.097448	11.88%	0.097448	0.097448	56.23	0.000
λ_s	1	0.266966	32.54%	0.266966	0.266966	154.06	0.000
Square	3	0.270963	33.03%	0.270963	0.090321	52.12	0.000
$K_r * K_r$	1	0.006131	0.75%	0.001256	0.001256	0.72	0.415
$\gamma_o * \gamma_o$	1	0.002692	0.33%	0.000026	0.000026	0.02	0.905
$\lambda_s * \lambda_s$	1	0.262140	31.95%	0.262140	0.262140	151.27	0.000
2-Way	3	0.085840	10.46%	0.085840	0.028613	16.51	0.000
Interaction							
$K_r * \gamma_o$	1	0.027848	3.39%	0.027848	0.027848	16.07	0.002
$K_r * \lambda_s$	1	0.054120	6.60%	0.054120	0.054120	31.23	0.000
$\gamma_o * \lambda_s$	1	0.003872	0.47%	0.003872	0.003872	2.23	0.166
Error	10	0.017329	2.11%	0.017329	0.001733		
Lack-of-Fit	5	0.013506	1.65%	0.013506	0.002701	3.53	0.096
Pure Error	5	0.003823	0.47%	0.003823	0.000765		
Total	19	0.820344	100.00%				

Ảnh hưởng chính và tương tác của các thông số góc dao đến độ nhám bề mặt được thể hiện trong Hình 6.3. Khi góc trước và góc nâng dao tăng theo hướng âm, độ nhám bề mặt tăng. Tuy nhiên, nếu góc nâng dao tăng vượt qua

một giới hạn nhất định ($\lambda_s = -8.1^\circ$) như Hình 6.3(a), độ nhám sẽ giảm. Đây là một phát hiện mới và đáng chú ý trong nghiên cứu về tiện cứng.

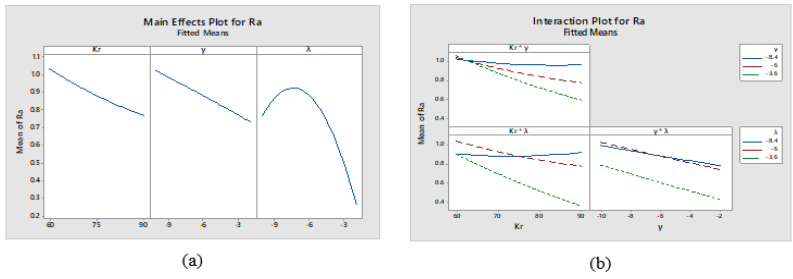
Hiện tượng trên có thể giải thích như sau: khi góc nâng dao và góc trước âm tăng, dẫn đến tăng góc trước cục bộ theo hướng âm và góc sau cục bộ tương ứng, trong đó sự tăng do góc nâng dao chiếm ưu thế (điều này đã được phân tích trong mô hình toán hình học quá trình tiện cứng ở trên). Góc trước cục bộ âm tăng làm tăng chiều dài tiếp xúc giữa phoi và mặt trước dao, đồng thời tăng tỷ số nén phoi (chip compression ratio - CCR), gây rung động và làm độ nhám bề mặt tăng. Kết quả này tương tự nghiên cứu của Singh và cộng sự [22]. Ngược lại, việc tăng góc sau cục bộ làm giảm diện tích tiếp xúc giữa mặt sau dao và bề mặt vừa gia công, giảm ma sát do hiện tượng đàn hồi (spring-back) của vật liệu gia công [115], do đó giảm rung động và cải thiện độ nhám bề mặt, tương tự như nghiên cứu của Senthikumar [116]. Đến một giới hạn nào đó, tác động tích cực do tăng góc sau cục bộ lớn hơn tác động tiêu cực do tăng góc trước cục bộ, khiến độ nhám bề mặt giảm.

Độ nhám cũng giảm khi góc nghiêng dao tăng, kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Sharma [25] và Zerti [61]. Nguyên nhân là khi thay đổi góc nghiêng từ 60° đến 90° sẽ thay đổi vị trí cắt trên bán kính mũi dao, đồng thời giảm góc trước cục bộ của các phần tử cạnh cắt như phân tích ở trên, dẫn đến giảm độ nhám bề mặt. Tuy nhiên, Neseli và cộng sự [24] lại cho thấy góc nghiêng dao và độ nhám bề mặt có cùng xu hướng tăng. Sự khác biệt này có thể do quá trình cắt diễn ra ở bán kính mũi dao hoặc ở cạnh cắt chính.

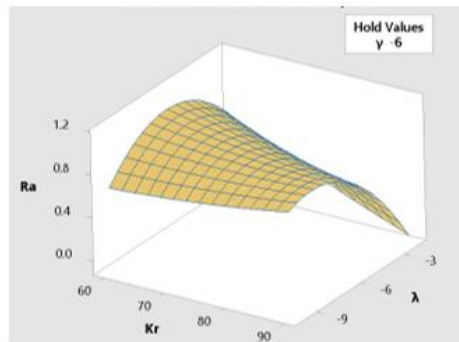
Mô hình toán mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt với các thông số góc dao như sau:

$$Ra = 3.581 - 0.0654 \kappa_r + 0.1495 \gamma_o - 0.0806 \lambda_s + 0.000117 \kappa_r^2 + 0.00024 \gamma_c^2 - 0.02373 \lambda_s^2 - 0.002731 \kappa_r \gamma_o - 0.003808 \kappa_r \lambda_s - 0.00382 \gamma_o \lambda_s \quad (6.1)$$

Hệ số tương quan của phương trình hồi qui (6.1), R^2 là 97.89%, cho thấy mô hình có khả năng dự đoán chính xác cao. Ảnh hưởng của các góc dao đến độ nhám bề mặt và bề mặt đáp ứng của độ nhám bề mặt với góc nghiêng và góc nâng dao, trong đó góc trước được giữ cố định thể hiện Hình 6.3 và 6.4.



Hình 6.3 Ảnh hưởng của góc nghiêng và góc nâng dao đến độ nhám bề



Hình 6.4 Bề mặt đáp ứng của độ nhám bề mặt theo góc nghiêng và góc nâng dao

6.2.2 Phân tích và mô hình toán độ mòn dao

Từ Bảng 6.5 cho thấy góc nâng dao cũng là nhân tố chính ảnh hưởng đến mòn dao với 60.06%, góc trước là 23.37% và góc nghiêng dao là 4.2%. Các yếu tố khác là không đáng kể.

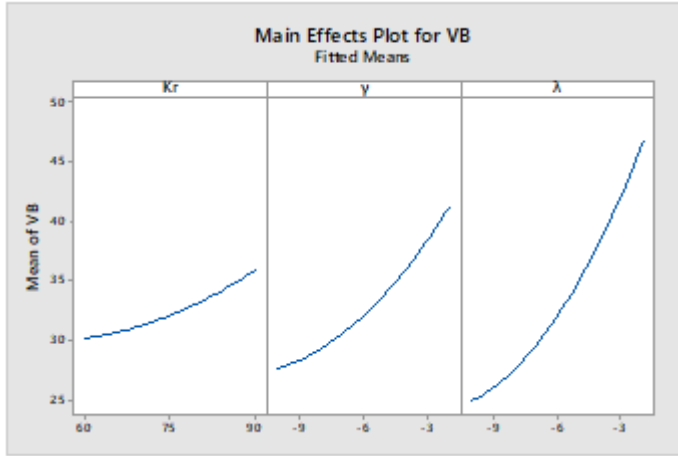
Bảng 6.5 Phân tích ANOVA cho độ mòn dao (VB)

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	878.361	94.60%	878.361	97.596	19.45	0.000
Linear	3	813.702	87.63%	813.702	271.234	54.06	0.000
K_r	1	39.013	4.20%	39.013	39.013	7.78	0.019
γ_o	1	217.004	23.37%	217.004	217.004	43.25	0.000
λ_s	1	557.684	60.06%	557.684	557.684	111.15	0.000
Square	3	30.764	3.31%	30.764	10.255	2.04	0.172
$K_r * K_r$	1	0.314	0.03%	1.478	1.478	0.29	0.599
$\gamma_o * \gamma_o$	1	6.932	0.75%	9.382	9.382	1.87	0.201
$\lambda_s * \lambda_s$	1	23.518	2.53%	23.518	23.518	4.69	0.056
2-Way Interaction	3	33.895	3.65%	33.895	11.298	2.25	0.145
$K_r * \gamma_o$	1	17.582	1.89%	17.582	17.582	3.50	0.091
$K_r * \lambda_s$	1	1.022	0.11%	1.022	1.022	0.20	0.661
$\gamma_o * \lambda_s$	1	15.290	1.65%	15.290	15.290	3.05	0.111
Error	10	50.173	5.40%	50.173	5.017		
Lack-of-Fit	5	49.108	5.29%	49.108	9.822	46.12	0.000
Pure Error	5	1.065	0.11%	1.065	0.213		
Total	19	928.534	100.00%				

Như trong Hình 6.5, độ mòn dao giảm khi góc trước và góc nâng dao tăng theo hướng âm, trong khi góc nghiêng dao giảm từ 90° tới 60°. Nguyên nhân của hiện tượng này là do tăng góc sau cục bộ khi giảm góc nghiêng dao, tăng góc trước và góc nâng dao như đã được phân tích qua mô hình toán hình học ở trên. Sự tăng góc sau cục bộ dẫn đến giảm diện tích tiếp xúc và ma sát giữa bề mặt vừa được gia công và mặt sau dao do sự đàn hồi của vật liệu gia công (spring-back of workpiece), điều này giúp giảm mòn mặt sau dao.

Mô hình toán mối quan hệ giữa độ mòn dao mặt sau với các yếu tố đầu vào được thể hiện qua phương trình (6.2) với hệ số tương quan $R^2=94.6\%$, cho thấy mức độ tương thích cao của mô hình toán.

$$VB = 126.8 - 0.92 \kappa_r + 9.96 \gamma_o + 8.05 \lambda_s + 0.00401 \kappa_r^2 + 0.142 \gamma_o^2 + 0.225 \lambda_s^2 - 0.0686 \kappa_r \gamma_o - 0.0166 \kappa_r \lambda_s + 0.240 \gamma_o \lambda_s \quad (6.2)$$



Hình 6.5 Ảnh hưởng chính của các nhân tố đầu vào đến độ mòn dao mặt sau (VB)

6.2.3 Phân tích và mô hình toán lực cắt

Từ Bảng 6.1 cho thấy lực hướng kính (F_y) là thành phần lực lớn nhất, tiếp theo là lực tiếp tuyến (F_z) và lực dọc trục (F_x) là thành phần lực nhỏ nhất, phù hợp với các nghiên cứu trước đó như của Khamel [8], Azizi [117] và Bouacha [118]. Hiện tượng này có thể lý giải dựa trên phân tích hình học lưỡi cắt và đặc điểm quá trình tiện cứng. Do bán kính mũi dao lớn ($r = 0.8 \text{ mm}$) và chiều sâu cắt nhỏ ($d_w = 0.2 \text{ mm}$) nên quá trình cắt chỉ diễn ra tại bán kính mũi dao dẫn đến lực hướng kính (F_y) có giá trị lớn hơn các lực khác

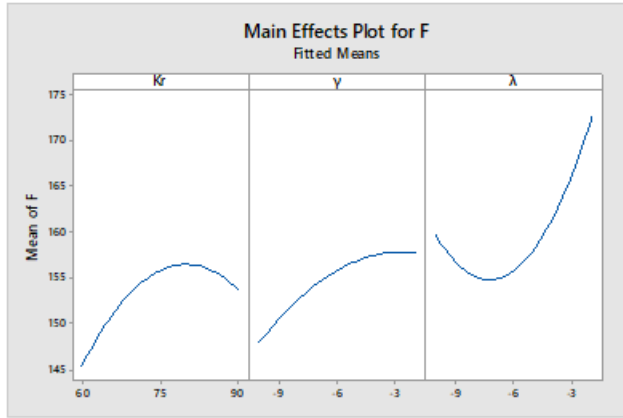
Bảng 6.6 cho thấy góc nâng dao có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cắt với 25.02%, tiếp theo là góc trước và góc nghiêng với 14.26% và 10.04%, tương ứng. Mặc dù có sự ảnh hưởng tương tác giữa các góc dao đến lực cắt, tuy nhiên không đáng kể (2.56 – 4.15%).

Bảng 6.6 Phân tích ANOVA cho lực cắt (F)

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	762.048	95.52%	762.048	84.672	23.70	0.000
Linear	3	393.520	49.33%	393.520	131.173	36.72	0.000
K_r	1	80.132	10.04%	80.132	80.132	22.43	0.001
γ_o	1	113.801	14.26%	113.801	113.801	31.86	0.000
λ_s	1	199.587	25.02%	199.587	199.587	55.87	0.000
Square	3	291.768	36.57%	291.768	97.256	27.22	0.000
$K_r * K_r$	1	81.986	10.28%	66.961	66.961	18.74	0.001
$\gamma_o * \gamma_o$	1	26.617	3.34%	15.262	15.262	4.27	0.066
$\lambda_s * \lambda_s$	1	183.165	22.96%	183.165	183.165	51.27	0.000
2-Way Interaction	3	76.761	9.62%	76.761	25.587	7.16	0.007
$K_r * \gamma_o$	1	33.120	4.15%	33.120	33.120	9.27	0.012
$K_r * \lambda_s$	1	20.408	2.56%	20.408	20.408	5.71	0.038
$\gamma_o * \lambda_s$	1	23.232	2.91%	23.232	23.232	6.50	0.029
Error	10	35.723	4.48%	35.723	3.572		
Lack-of-Fit	5	32.703	4.10%	32.703	6.541	10.83	0.010
Pure Error	5	3.021	0.38%	3.021	0.604		
Total	19	797.772	100.00%				

Ảnh hưởng của các thông số góc dao đến lực cắt được thể hiện trong Hình 6.7 cho thấy lực cắt giảm khi góc nâng dao và góc trước tăng theo hướng âm. Tuy nhiên, khi góc nâng dao tăng qua một giới hạn nhất định ($\lambda_s = -7.2^\circ$) thì lực cắt tăng. Dựa trên phân tích mô hình toán hình học quá trình tiện cứng, hiện tượng này có thể được giải thích như sau: khi tăng góc nâng dao và góc trước theo hướng âm dẫn đến tăng góc trước âm cục bộ và góc sau cục bộ tương ứng. Điều này dẫn đến lực pháp tuyến và lực ma sát mặt trước dao tăng nhưng các

lực này tác dụng lên mặt sau giảm và đạt cân bằng tại $\lambda_s = -7.2^\circ$, với lực cắt nhỏ nhất.



Hình 6.7 Ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến lực cắt (F)

Phương trình hồi quy bậc hai mô tả mối quan hệ giữa các yếu tố đầu vào và lực cắt như sau:

$$F_x = -171.2 + 5.067 \kappa_r - 9.53 \gamma_o - 0.23 \lambda_s - 0.03249 \kappa_r^2 - 0.6250 \gamma_o^2 - 0.1034 \lambda_s^2 + 0.0220 \kappa_r \gamma_o - 0.0093 \kappa_r \lambda_s - 0.0344 \gamma_o \lambda_s \quad (R^2=95.43\%) \quad (6.3)$$

$$F_y = 35.1 + 2.62 \kappa_r - 2.16 \gamma_o + 6.64 \lambda_s - 0.00976 \kappa_r^2 + 0.111 \gamma_o^2 + 0.712 \lambda_s^2 + 0.0894 \kappa_r \gamma_o + 0.0708 \kappa_r \lambda_s + 0.329 \gamma_o \lambda_s \quad (R^2=93.19\%) \quad (6.4)$$

$$F_z = -39.0 + 3.071 \kappa_r - 3.18 \gamma_o + 0.61 \lambda_s - 0.01666 \kappa_r^2 - 0.1486 \gamma_o^2 + 0.1974 \lambda_s^2 + 0.0321 \kappa_r \gamma_o + 0.0381 \kappa_r \lambda_s + 0.0857 \gamma_o \lambda_s \quad (R^2=94.35\%) \quad (6.5)$$

$$F = -48.3 + 5.325 \kappa_r - 6.26 \gamma_o + 5.36 \lambda_s - 0.02697 \kappa_r^2 - 0.1811 \gamma_o^2 + 0.6273 \lambda_s^2 + 0.0942 \kappa_r \gamma_o + 0.0739 \kappa_r \lambda_s + 0.296 \gamma_o \lambda_s \quad (R^2=92.52\%) \quad (6.6)$$

6.3 So sánh các kết quả thí nghiệm và mô hình toán.

6.4 Tối ưu hóa quá trình tiện cứng

6.4.1 Giới thiệu phương pháp tối ưu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp hàm mục tiêu (Desirability Function Approach-DFA). Do độ nhám bề mặt và độ mòn dao là hai đặc tính quan trọng nhất của quá trình tiện cứng, trong khi đó lực cắt nhỏ không có ý nghĩa nhiều về

mặt tối ưu năng lượng. Vì vậy, trong nghiên cứu này chỉ tối ưu các thông số hình học góc dao cho độ nhám bề mặt và độ mòn dao.

Nếu mục tiêu là tối thiểu hóa đáp ứng đầu ra Y_i , thì hàm mục tiêu d_i như sau:

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{khi } Y_i < \text{Low}_i \\ \left(\frac{\text{High}_i - Y_i}{\text{High}_i - \text{Low}_i} \right)^r & \text{khi } \text{Low}_i \leq Y_i \leq \text{High}_i \\ 0 & \text{khi } Y_i > \text{High}_i \end{cases} \quad (6.9)$$

Nếu mục tiêu là mong muốn cụ thể (T_i) nào đó, thì hàm mục tiêu d_i như sau:

$$d_i = \begin{cases} 0 & \text{khi } Y_i < \text{Low}_i \\ \left(\frac{Y_i - \text{Low}_i}{T_i - \text{Low}_i} \right)^r & \text{khi } \text{Low}_i \leq Y_i < T_i \\ \left(\frac{\text{High}_i - Y_i}{\text{High}_i - T_i} \right)^r & \text{khi } T_i \leq Y_i \leq \text{High}_i \\ 0 & \text{khi } Y_i > \text{High}_i \end{cases} \quad (6.10)$$

6.4.2 Phát biểu bài toán tối ưu

a. Bài toán 1

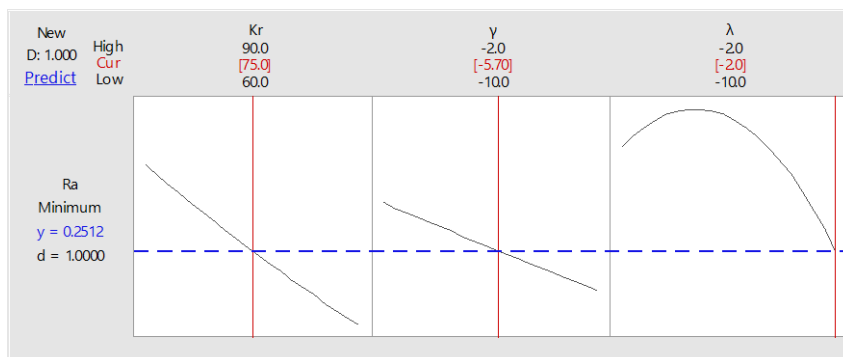
Một trong những mục tiêu chính của nghiên cứu là tối ưu các thông số góc dao để đạt được độ nhám bề mặt nhỏ nhất có thể, một yếu tố quan trọng trong quá trình tiện cứng vì vậy phương trình (6.9) được áp dụng.

Trong đó đáp ứng đầu ra Y_i là độ nhám bề mặt (Ra) theo công thức (6.1), $n = 1$ (số đáp ứng đầu ra).

Ràng buộc bài toán là: $0.25 \mu\text{m} < Ra < 1.6 \mu\text{m}$; $60^\circ \leq \kappa_r \leq 90^\circ$;

$-2^\circ \leq \gamma_o \leq -10^\circ$; $-2^\circ \leq \lambda_s \leq -10^\circ$

Áp dụng phương trình (6.9), ta có kết quả tối ưu như Hình 6.10, các thông số góc tối ưu là góc nghiêng dao $\kappa_r = 75^\circ$, góc trước $\gamma_o = -5.7^\circ$ và góc nâng $\lambda_s = -2^\circ$. Và giá trị độ nhám bề mặt nhỏ nhất là $Ra = 0.252 \mu\text{m}$.



Hình 6.10 Tối ưu hóa độ nhám bề mặt (Ra)

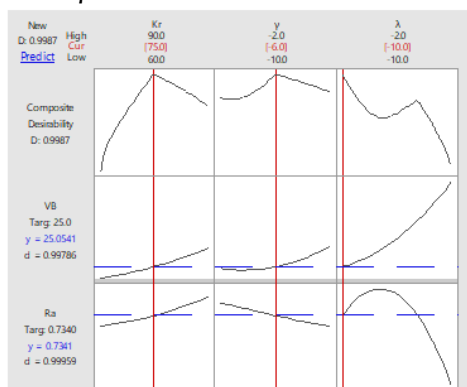
b. Bài toán 2

Một mục tiêu quan trọng khác của nghiên cứu là tối ưu hóa các thông số góc dao nhằm đạt được đồng thời độ nhám bề mặt và độ mòn dao mong muốn trong tiện cứng, vì vậy phương trình (6.10) được sử dụng.

Trong đó đáp ứng đầu ra Y_i là độ nhám bề mặt (Ra) và độ mòn dao (VB) theo công thức (6.1) và (6.2), $n=2$ số đáp ứng đầu ra.

Ràng buộc bài toán là: $0.25 \mu\text{m} < Ra < 1.6 \mu\text{m}$, $0 \mu\text{m} < VB < 0.3 \mu\text{m}$
 $60^\circ \leq \kappa_r \leq 90^\circ$; $-2^\circ \leq \gamma_o \leq -10^\circ$; $-2^\circ \leq \lambda_s \leq -10^\circ$

Áp dụng phương trình (6.10), ta có kết quả tối ưu như Hình 6.11, các thông số góc tối ưu đạt là góc nghiêng dao $\kappa_r = 75^\circ$, góc trước $\gamma_o = -6^\circ$ và góc nâng $\lambda_s = -10^\circ$. Và các giá trị độ nhám bề mặt và độ mòn dao tối ưu đạt được là $Ra = 0.767\mu\text{m}$ và $VB = 22.2\mu\text{m}$.



Hình 6.11 Tối ưu hóa đồng thời độ nhám bề mặt và độ mòn dao

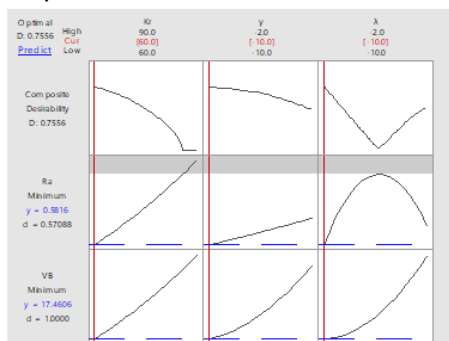
c. Bài toán 3

Một mục tiêu khác của nghiên cứu là tối ưu các thông số góc dao để đạt đồng thời độ nhám bề mặt và độ mòn dao ở mức nhỏ nhất. Vì vậy phương trình (6.9) được áp dụng.

Trong đó đáp ứng đầu ra Y_i là độ nhám bề mặt (Ra) và độ mòn dao (VB) theo công thức (6.1) và (6.2), $n = 2$ số đáp ứng đầu ra.

Ràng buộc bài toán là: $0.25 \mu\text{m} < Ra < 1.6 \mu\text{m}$; $0 \mu\text{m} < VB < 0.3 \mu\text{m}$
 $60^\circ \leq \kappa_r \leq 90^\circ$; $-2^\circ \leq \gamma_o \leq -10^\circ$; $-2^\circ \leq \lambda_s \leq -10^\circ$

Áp dụng phương trình (6.9), ta có kết quả tối ưu như Hình 6.12, các thông số góc tối ưu đạt là góc nghiêng dao $\kappa_r = 60^\circ$, góc trước $\gamma_s = -10^\circ$ và góc nâng $\lambda_o = -10^\circ$. Và các giá trị độ nhám bề mặt và độ mòn dao tối ưu là $Ra = 0.582 \mu\text{m}$ và $VB = 17.5 \mu\text{m}$.



Hình 6.12 Tối ưu hóa đồng thời độ nhám bề mặt và độ mòn dao

6.4.3 So sánh góc dao tiêu chuẩn và góc dao tối ưu

Từ Bảng 6.10 ta thấy kết quả thực nghiệm độ nhám bề mặt và độ mòn dao đạt được từ góc dao tối ưu đã giảm 8.3% và 41.3%, tương ứng so với thông số góc dao tiêu chuẩn.

Bảng 6.10 So sánh kết quả thực nghiệm cán dao tiêu chuẩn với kết quả tối ưu

		Thông số góc dao tiêu chuẩn	Thông số góc dao tối ưu	So sánh kết quả tối ưu
Đầu vào	K_r	91°	75°	
	γ_o	-6°	-6°	
	λ_s	-6°	-10°	
Đầu ra	Ra	$0.836\mu\text{m}$	$0.767\mu\text{m}$	↓ 8.3%
	VB	$37.8\mu\text{m}$	$22.2\mu\text{m}$	↓ 41.3%

6.5 Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích được ảnh hưởng đồng thời của các thông số góc dao gồm góc nghiêng dao, góc trước, góc nâng dao đến độ nhám bề mặt, độ mòn dao và lực cắt thông qua phân tích mô hình toán hình học quá trình tiện cứng và kết quả thí nghiệm.

CHƯƠNG 7:

KẾT LUẬN & KIẾN NGHỊ

7.1 Những kết quả đã đạt được

Nghiên cứu đã phân tích được ảnh hưởng đồng thời của các thông số hình học góc dao, bao gồm góc nghiêng dao κ_r , góc trước γ_o và đặc biệt là góc nâng dao λ_s đến các đặc tính quan trọng nhất của quá trình tiện cứng như độ nhám bề mặt, độ mòn dao và lực cắt. Dựa trên phân tích kết quả thí nghiệm và mô hình toán, có thể rút ra các kết luận chính sau:

- Trong tiện cứng, do bước tiến và chiều sâu cắt nhỏ, quá trình cắt chỉ diễn ra tại bán kính mũi dao. Góc nâng dao là yếu tố chính ảnh hưởng đến góc trước cục bộ trung bình với 65.84%, tiếp theo là góc trước, đóng góp 31.43%, và góc nghiêng dao chỉ chiếm 0.98%. Do đó, để tối ưu hóa quá trình tiện cứng, nên tập trung điều chỉnh góc nâng dao và góc trước. Góc nghiêng dao có thể bỏ qua do ảnh hưởng không đáng kể. Khi tăng góc

trước và góc nâng dao âm, làm tăng góc trước cục bộ của các phần tử cạnh cắt bán kính mũi dao tham gia quá trình cắt.

- Vai trò của các thông số hình học góc dao là khác nhau giữa tiện cứng và tiện truyền thống. Trong tiện cứng, góc nâng dao là góc có ảnh hưởng nhiều nhất đến độ nhám bề mặt, độ mòn dao và lực cắt, tiếp theo là góc trước và góc nghiêng dao. Ngược lại, trong tiện truyền thống, góc trước là thông số có ảnh hưởng lớn nhất.
- Độ nhám bề mặt tăng khi góc trước và góc nâng dao tăng theo hướng âm. Tuy nhiên, nếu góc nâng dao tăng qua một giới hạn xác định, độ nhám bề mặt sẽ giảm. Đây là một phát hiện mới và có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu tiện cứng. Từ kết quả này, nên áp dụng góc nâng dao âm lớn ($\lambda_s = -10^\circ$) để giảm đồng thời độ nhám bề mặt và độ mòn dao.
- Độ mòn dao giảm khi tăng góc trước và góc nâng dao theo hướng âm.
- Ảnh hưởng tương tác giữa các thông số góc dao là không đáng kể.
- Lực hướng kính (F_y) là thành phần lực lớn nhất, tiếp theo là lực tiếp tuyến (F_z) và lực dọc trục (F_x) là thành phần lực nhỏ nhất. Khác với tiện truyền thống, lực tiếp tuyến là thành phần lực lớn nhất.
- Các mô hình toán học thực nghiệm về độ mòn dao, độ nhám bề mặt và lực cắt đã được xây dựng.
- Với thông số góc dao tối ưu ($K_r = 75^\circ$, $\gamma_o = -6^\circ$, và $\lambda_s = -10^\circ$), kết quả thực nghiệm cho thấy độ nhám bề mặt và độ mòn dao giảm lần lượt 8.3% và 41.3% so với thông số góc dao tiêu chuẩn của nhà sản xuất ($K_r = 91^\circ$, $\gamma_o = -6^\circ$ và $\lambda_s = -6^\circ$).

Phương pháp thiết kế hệ thống đồ gá được đề xuất mang lại một giải pháp hiệu quả để thay đổi thông số hình học góc dao cho các mảnh dao tiêu chuẩn, nhằm cải thiện quá trình tiện cứng.

Một mô hình toán hình học mới về quá trình tiện cứng đã được xây dựng, mô tả chính xác bản chất của quá trình này. Kết quả phân tích của mô hình toán hình học phù hợp với kết quả thực nghiệm. Mô hình được đề xuất có thể được kết hợp với các công thức và mô hình toán học khác để tính toán lực cắt, nhiệt cắt và độ mòn dao cục bộ cho mỗi phần tử cạnh cắt và toàn bộ quá trình. Ngoài

ra, mô hình còn có thể áp dụng cho nghiên cứu tiện các vật liệu khó gia công khác.

7.2 Hướng phát triển

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu đã đạt được, nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng theo các hướng sau đây:

- Tiện cứng với các loại vật liệu cứng khác như AISI 52100, AISI D2, AISI H13...
- Tiện cứng với các loại dụng cụ cắt khác như PCBN.
- Nghiên cứu ảnh hưởng tổng hợp của các thông số hình học dao và chế độ cắt đến lực cắt, nhiệt cắt, độ mòn dao và độ nhám bề mặt.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Le Hieu Giang, Mai Duc Dai and Pham Minh Duc. Investigation of Effects of Tool Geometry Parameters on Cutting Forces, Temperature and Tool Wear in Turning Using Finite Element Method and Taguchi's Technique. International Journal of Mechanical Engineering và Applications, 2016.
2. Pham Minh Duc, Le Hieu Giang, Mai Duc Dai and Do Tien Sy. An experimental study on the effect of tool geometry on tool wear and surface roughness in hard turning. Advances in Mechanical Engineering (SCIE), 2020.
3. Pham Minh Duc, Mai Duc Dai and Le Hieu Giang. Modeling and Optimizing the Effects of Insert Angles on Hard Turning Performance. Mathematical Problems in Engineering (SCIE), 2021.
4. Pham Minh Duc and Le Hieu Giang. Enhancing Hard Turning Performance: The Crucial Role of Cutting Parameters and Tool Geometry. International Journal of Engineering Trends and Technology (Scopus), 2025.
5. Pham Minh Duc, Le Hieu Giang and Van Thuc Nguyen. Analyzing Cutting Temperature in Hard Turning Technique with Standard Inserts through Both Simulation and Experimental Investigations. Applied sciences (SCIE), 2025.
6. Van Thuc Nguyen, Nguyen Quang Hien, Pham Minh Duc, Tran Duy Nam, Van Huong Hoang and Van Thanh Tien Nguyen. Atomistic Insight into the Effects of Collision Angle on the Characteristics of Cu-Ta Joining by Explosive Welding. Metals (SCIE), 2025.