

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

LƯU ANH TÙNG

**NGHIÊN CỨU NÂNG CAO HIỆU QUẢ CỦA QUÁ TRÌNH
MÀI PHẪNG KHI MÀI TINH**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Cơ khí

Mã Số: 9 52 01 03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT CƠ KHÍ

THÁI NGUYÊN – NĂM 2020

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại Học Kỹ Thuật Công
Nghệ, Đại Học Thái Nguyên

Người hướng dẫn khoa học: 1. PGS.TS Vũ Ngọc Pi

2. GS. TSKH Bàn Tiến Long

Phản biện 1:.....

Phản biện 2:.....

Phản biện 3:.....

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp trường

Họp tại: Trường Đại Học Kỹ Thuật Công Nghiệp

Vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

Trường Đại Học Kỹ Thuật Công Nghiệp

Trung Tâm Học Liệu – Đại Học Thái Nguyên

Thư Viện Quốc Gia

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Gia công mài bắt đầu được ứng dụng trong sản xuất cơ khí từ thế kỷ 19. Khoảng giữa thế kỷ 20, người ta đã nhận thấy rằng mài là gia công chiến lược và là nguyên công then chốt để đạt được độ chính xác và nhám bề mặt cần thiết. Mài có thể gia công với chiều sâu cắt rất nhỏ, từ $0,05 \div 0,09 \text{ mm}$; vận tốc cắt lớn, $20 \div 40 \text{ m/s}$ với mài thông thường và đến 200 m/s với mài cao tốc. Độ chính xác của các chi tiết mài cao với cấp chính xác đạt được từ $5 \div 7$ và nhám bề mặt sau mài đạt thấp, có thể đạt từ $0,2 \div 3,2 \mu\text{m}$ hoặc thấp hơn. Chính nhờ các ưu điểm trên nên mài là nguyên công gia công tinh và bán tinh phổ biến nhất trong gia công cơ khí, nhất là các chi tiết yêu cầu độ chính xác cao và nhám bề mặt thấp. Mài đặc biệt chiếm ưu thế khi gia công tinh các chi tiết có độ cứng cao, độ bền cao, thông thường là các chi tiết sau khi tôi v.v... Người ta đã thống kê rằng gia công mài chiếm đến $20 \div 25\%$ tổng chi phí cho gia công cơ nói chung [14, 64]. Nhờ tiến bộ kỹ thuật đạt được trong lĩnh vực vật liệu dụng cụ cắt mà hiện nay nhiều nguyên công mài phẳng đã được thay thế bằng nguyên công phay cứng cho năng suất và hiệu quả kinh tế cao hơn hẳn. Tuy nhiên, mài phẳng vẫn là nguyên công không thể thay thế khi gia công tinh lần cuối các chi tiết dạng tấm, dạng đĩa mỏng (như lá van máy nén khí, lá ly hợp, phanh đĩa....) hoặc dụng cụ cắt. Các quá trình lý - hóa xảy ra ở vùng mài rất phức tạp và gây khó khăn cho việc điều khiển quá trình mài để đạt hiệu quả kinh tế - kỹ thuật mong muốn. Do vậy, phương pháp mài hiện vẫn vẫn được các nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu.

Với gia công mài, vận tốc cắt (vận tốc của đá mài V_d) là thông số quan trọng quyết định đến năng suất, chi phí và lợi nhuận của nguyên công mài nói riêng và quá trình gia công nói chung. Khi mài, vận tốc cắt V_d tỉ lệ thuận với đường kính của đá mài D_s và số vòng quay của trục mang đá n_d . Như vậy, với cùng một đường kính đá thì vận tốc cắt càng lớn nếu số vòng quay của trục mang đá càng cao. Với các máy mài có số vòng quay trục mang đá không đổi, khi đá mài mới thì đường

kính đá lớn nên vận tốc cắt cao do đó năng suất mài cao. Giả sử với cùng một viên đá mài, chi phí đá mài/h sẽ cao nếu tuổi thọ của đá nhỏ, chẳng hạn giá mua một viên đá mài 360.000 đ/viên, tuổi thọ đá là 18h thì chi phí đá mài/h sẽ là 20.000 đ/h. Ngược lại, chi phí đá mài/h sẽ rất nhỏ nếu tuổi thọ của đá lớn, ví dụ với cùng viên đá mài như trên, tuổi thọ đá là 30h thì chi phí đá mài/h sẽ là 12.000 đ/h. Tuy vậy, khi đường kính đá khi thay nhỏ, nghĩa là kéo dài tuổi thọ của đá, thì vận tốc cắt rất thấp và dẫn đến năng suất mài sẽ rất thấp.

Như vậy, tồn tại một giá trị tuổi thọ của đá tối ưu, hay đường kính thay đá tối ưu, mà với tuổi thọ này chi phí nguyên công mài là nhỏ nhất. Thêm vào đó, tồn tại một giá trị tuổi thọ tối ưu của đá mà ở đó lợi nhuận của quá trình mài đạt được lớn nhất.

Trong thực tế điều kiện sản xuất cơ khí ở Việt Nam, phần lớn các cơ sở đều sử dụng máy mài phẳng vận năng - tốc độ quay của trục mang đá thường không đổi và hầu hết đều sử dụng đá mài Hải Dương - loại đá có tính năng cắt tốt, chi phí ban đầu thấp và hiện được xuất khẩu nhiều. Với máy mài phẳng vận năng, như trên đã phân tích, đường kính đá khi thay (hay tuổi thọ của đá) là thông số ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất và chi phí của nguyên công mài phẳng. Ngoài ra, các cơ sở sản xuất ở nước ta thường có thói quen sử dụng đá mài cho đến khi không thể dùng được nữa, nghĩa là mài đến khi đá mòn đến sát bích kẹp đá, vì thường cho rằng sử dụng đá mài như vậy sẽ tiết kiệm. Lúc đó, đường kính đá nhỏ, vận tốc cắt thấp dẫn đến năng suất mài giảm, chi phí mài phẳng tăng và hiệu quả kinh tế giảm. Vì lý do đó, việc xác định tuổi thọ tối ưu của đá (hay xác định đường kính đá khi thay tối ưu) nhằm mục đích đạt được chi phí gia công mài phẳng là nhỏ nhất hoặc lợi nhuận gia công là lớn nhất có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong sản xuất mài ở nước ta.

Từ phân tích nêu trên cho thấy có thể nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng khi mài tinh (tăng năng suất hay giảm giá thành mài) bằng việc xác định đường kính tối ưu khi thay (hay tuổi thọ tối ưu) của đá mài.

Ngoài vấn đề nêu trên, thực tế gia công mài cho thấy, việc sử dụng dung dịch trơn nguội là biện pháp rất hiệu quả nhằm làm giảm nhiệt khi mài, giảm mòn của đá và dẫn tới nâng cao năng suất và chất lượng của quá trình mài [48]. Thêm vào đó, các nghiên cứu trong [16] và [69] cho thấy chế độ sửa đá có ảnh hưởng nhiều đến topography của đá mài và qua đó ảnh hưởng đến khả năng cắt của đá. Như vậy, ngoài biện pháp xác định đường kính tối ưu khi thay của đá mài như đã nêu ở trên, *để nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng (nâng cao năng suất, đảm bảo chất lượng và giảm chi phí gia công) có thể thực hiện bằng việc xác định chế độ bôi trơn làm mát hợp lý và chế độ sửa đá hợp lý hoặc chế độ sửa đá tối ưu nếu có thể.*

Từ những vấn đề nêu trên, tác giả lựa chọn đề tài “Nghiên cứu nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng khi mài tinh” cho luận án của mình.

2. Mục đích của đề tài

Mục đích của đề tài là nghiên cứu nâng cao hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của quá trình mài phẳng khi mài tinh thông qua các thông số đường kính thay đá, chế độ bôi trơn làm mát, chế độ cắt và chế độ sửa đá. Từ đó lựa chọn được bộ thông số công nghệ hợp lý để giảm chi phí đồng thời nâng cao năng suất, chất lượng bề mặt gia công.

3. Phương pháp và phạm vi nghiên cứu

3.1. Phương pháp và đối tượng nghiên cứu

- **Phương pháp nghiên cứu:** Nghiên cứu lý thuyết kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm.

Nghiên cứu lý thuyết: Khảo sát các kết quả nghiên cứu đã công bố, phân tích các vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu, từ đó xác định hướng nghiên cứu, đối tượng, mục tiêu và phạm vi nghiên cứu của luận án. Phân tích và lựa chọn phương pháp quy hoạch thực nghiệm để giảm số lượng thí nghiệm. Xây dựng mô hình tính toán xác định đường kính đá mài khi thay tối ưu.

Nghiên cứu thực nghiệm: Thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số đến hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của quá trình mài phẳng khi mài tinh. Từ đó xác định các thông số chế độ công nghệ bôi

tron làm mát, chế độ cắt và chế độ sửa đá hợp lý. Đồng thời kiểm chứng mô hình tính toán xác định đường kính đá mài khi thay tối ưu.

- **Đối tượng nghiên cứu:** Công nghệ mài tinh phẳng bằng chu vi đá với đối tượng thực nghiệm là thép 90CrSi qua tôi bằng đá mài Hải Dương.

Thép 90CrSi là loại thép hợp kim dụng cụ hiện được sử dụng rất phổ biến làm các chi tiết dạng đĩa mỏng và dạng tấm và dụng cụ cắt như: Van máy nén khí, lá ly hợp, phanh đĩa, khuôn dập, khuôn ép, chày - cối dập viên nén, dụng cụ cắt cắt và chấn tôn góc... và thường được tôi cứng để đáp ứng được yêu cầu chống mài mòn và gia công mài phẳng mài tinh là nguyên công gia công tinh lần cuối không thể thay thế. Trong khi ở Việt Nam, đá mài truyền thống, đặc biệt là đá mài Hải Dương - loại đá mài có tính năng cắt gọt tốt, chi phí ban đầu hợp lý và được xuất khẩu nhiều hiện đang được sử dụng phổ biến trên các máy mài phẳng vạn năng.

3.2. Phạm vi nghiên cứu của đề tài:

- Xác định đường kính thay đá tối ưu khi mài phẳng bằng lý thuyết và thực nghiệm;

- Xác định chế độ bôi trơn làm mát hợp lý khi mài phẳng bằng thực nghiệm;

- Xác định chế độ sửa đá hợp lý bằng thực nghiệm.

4. Ý nghĩa của đề tài

4.1. Ý nghĩa khoa học

- Phân tích chi phí của nguyên công mài phẳng từ đó xây dựng mô hình tính toán xác định đường kính khi thay tối ưu;

- Làm rõ ảnh hưởng của chế độ bôi trơn làm mát và chế độ cắt đến nhám bề mặt và lực cắt; chế độ công nghệ sửa đá đến nhám bề mặt, lực cắt, dung sai độ phẳng, tuổi bền và năng suất gia công khi mài phẳng thép 90CrSi bằng đá mài Hải Dương;

- Kết quả của nghiên cứu sẽ góp phần hoàn thiện lý thuyết về quá trình mài (đặc biệt là mài phẳng khi mài tinh) và làm cơ sở khoa học cho các công trình khác nhằm tối ưu hóa quá trình mài.

4.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo cho giảng dạy, nghiên cứu khoa học và ứng dụng vào sản xuất thực tế để nâng cao năng suất, chất lượng đồng thời giảm chi phí mài phẳng khi mài tinh.

5. Các điểm mới (đóng góp mới) của đề tài

- Đề xuất mô hình xác định chi phí mài phẳng để tính toán đường kính thay đá tối ưu để đạt được chi phí thấp nhất bằng lý thuyết và kiểm chứng thực nghiệm;

- Đánh giá ảnh hưởng của chế độ bôi trơn làm mát và chế độ cắt khi mài phẳng để lựa chọn bộ thông số hợp lý khi mài tinh thép 90CrSi bằng đá mài Hải Dương;

- Đánh giá ảnh hưởng của chế độ công nghệ sửa đá khi mài phẳng để lựa chọn bộ thông số hợp lý khi mài tinh thép 90CrSi bằng đá mài Hải Dương.

6. Cấu trúc của luận án

Cấu trúc của luận án được trình bày gồm: Mở đầu, 04 chương và kết luận chung.

Chương 1. Tổng quan về mài phẳng

Chương 2. Cơ sở lý thuyết về mài phẳng và phương pháp xây dựng mô hình thí nghiệm.

Chương 3. Nghiên cứu thực nghiệm xác định chế độ bôi trơn làm mát, chế độ cắt và chế độ sửa đá hợp lý.

Chương 4. Nghiên cứu xác định đường kính thay đá tối ưu.

Kết luận chung và hướng nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ MÀI PHẪNG

1.1. Đặc điểm và các sơ đồ mài phẳng

1.2. Tổng quan về các vấn đề nghiên cứu

1.2.1. Các nghiên cứu về ảnh hưởng của chế độ cắt

1.2.2. Các nghiên cứu về các thông số công nghệ sửa đá mài

1.2.3. Các nghiên cứu về chế độ bôi trơn làm mát khi mài

1.2.4. Các nghiên cứu về xác định chi phí quá trình mài phẳng

1.3. Định hướng nghiên cứu

Các yêu cầu về kinh tế và kỹ thuật của quá trình mài phẳng thường được đánh giá thông qua nhám bề mặt, ứng suất dư bề mặt, tuổi bền đá mài, lực cắt, năng suất bóc tách, năng lượng tiêu hao... Trong khi đó, tuổi bền của đá mài và năng suất gia công lại phụ thuộc vào yêu cầu kỹ thuật và đặc biệt là các thông số quá trình như chế độ cắt, chế độ bôi trơn làm mát, chế độ công nghệ sửa đá. Tuổi bền của đá và năng suất gia công càng lớn thì thời gian mài cơ bản, thời gian hiệu chỉnh máy giảm, thời gian sửa đá càng nhỏ. Nghĩa là, tuổi bền của đá và năng suất gia công sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí mài.

Qua phân tích mô hình tính toán chi phí mài cũng cho thấy, trong số các thành phần chi phí của quá trình mài thì chi phí thời gian mài cơ bản chiếm tỉ trọng lớn nhất, tiếp theo là chi phí hiệu chỉnh máy, chi phí gá đặt và tháo chi tiết và chi phí thời gian sửa đá. Trong đó, chi phí gá đặt và tháo chi tiết phụ thuộc chủ yếu vào tay nghề công nhân, kích thước chi tiết và loại hình sản xuất. Các thành phần chi phí còn lại phụ thuộc vào yêu cầu kỹ thuật, tuổi bền của đá và năng suất gia công. Để giảm chi phí của quá trình mài cần thực hiện các biện pháp công nghệ nhằm tăng tốc độ cắt để tăng năng suất gia công, tăng tuổi bền của đá mài trong khi vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật nhằm giảm chi phí thời gian mài cơ bản, chi phí hiệu chỉnh máy và chi phí thời gian sửa đá.

Để tăng tuổi bền của đá mài và năng suất gia công nhằm giảm chi phí của quá trình mài trong khi vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật của quá trình mài phẳng như nhám bề mặt, dung sai độ phẳng, luận án lựa chọn ba giải pháp, cụ thể là:

- Xác định chế độ bôi trơn làm mát và chế độ cắt hợp lý hoặc tối ưu;
- Xác định chế độ sửa đá hợp lý hoặc tối ưu;
- Xác định đường kính đá mài khi thay tối ưu (đường kính thay đá tối ưu).

Kết luận Chương 1

1. Mài là một quá trình rất phức tạp. Chất lượng của quá trình mài thường được đánh giá thông qua các chỉ tiêu như nhám bề mặt, năng suất gia công và chi phí của quá trình mài. Những chỉ tiêu này chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như chế độ cắt khi mài, chế độ công nghệ sửa đá, loại dung dịch và chế độ tron nguội, lực cắt, nhiệt cắt...
2. Nhám bề mặt, lực cắt, năng suất gia công, tuổi bền thường được dùng làm mục tiêu để đánh giá quá trình mài.
3. Có thể giảm chi phí nguyên công mài bằng cách giảm thời gian mài cơ bản, giảm chi phí sửa đá, chi phí hiệu chỉnh máy và nâng cao tuổi bền của đá mài bằng cách thay đá mài với giá trị đường kính đá khi thay hợp lý hay tối ưu nhằm tăng tốc độ của cắt của đá để tăng năng suất gia công, giảm thời gian mài cơ bản qua đó nâng cao hiệu quả kinh tế của quá trình mài.
4. Lựa chọn chế độ bôi trơn hợp lý hay tối ưu là một trong các biện pháp để tăng chất lượng mài (giảm nhám bề mặt, tăng độ chính xác gia công) cũng như để giảm chi phí mài. Cho đến nay mặc dù đã có khá nhiều nghiên cứu về xác định chế độ làm mát hợp lý hay tối ưu khi mài nhưng vẫn còn thiếu nghiên cứu xác định chế độ làm mát hợp lý khi mài phẳng thép 90CrSi qua tôi.
5. Quá trình sửa đá mài được tiến hành qua ba bước: Sửa đá thô, sửa đá tinh và sửa đá chạy không ăn dao. Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu về chế độ sửa đá hợp lý khi mài phẳng thép 90CrSi qua tôi khi sửa đá với ba bước nêu trên. Do đó cần thiết phải tiến hành nghiên cứu xác định chế độ sửa đá hợp lý khi sử dụng quá trình sửa đá qua ba bước đó.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ MÀI PHẪNG VÀ PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Đặc trưng của quá trình mài phẳng

2.1.1. Quá trình tạo phoi khi mài

2.1.2. Lưỡi cắt

- 2.1.3. Chiều dài cung tiếp xúc
- 2.1.4. Chiều dày lớp cắt
- 2.1.5. Quá trình sửa đá
 - 2.1.5.1. Sửa đá
 - 2.1.5.2. Dụng cụ sửa đá
 - 2.1.5.3. Topography của đá
- 2.1.6. Bôi trơn làm mát
 - 2.1.6.1. Nhiệt cắt trong quá trình mài
 - 2.1.6.2. Vai trò của dung dịch trơn nguội
 - 2.1.6.3. Phân loại dung dịch trơn nguội
 - 2.1.6.4. Các phương pháp bôi trơn làm mát thường dùng khi mài
- 2.2. Một số chỉ tiêu đánh giá quá trình mài
 - 2.2.1. Mòn và tuổi bền của đá mài
 - 2.2.1.1. Mòn đá mài
 - 2.2.1.2. Tuổi bền của đá mài
 - 2.2.2. Nhám bề mặt khi mài
 - 2.2.3. Lực cắt khi mài
 - 2.2.4. Năng suất gia công
 - 2.2.5. Sóng bề mặt
- 2.3. Mô hình nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng
 - 2.3.1. Sơ đồ và cơ sở của nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng
 - 2.3.2. Lựa chọn thông số đầu vào
 - 2.3.3. Các giải pháp nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng
- 2.4. Xây dựng mô hình hệ thống thí nghiệm và lựa chọn thiết bị nghiên cứu
 - 2.4.1. Yêu cầu chung đối với hệ thống thí nghiệm
 - 2.4.2. Sơ đồ kết nối các thiết bị thí nghiệm
 - 2.4.3. Lựa chọn thiết bị và phôi thí nghiệm
 - 2.4.3.1. Máy mài
 - 2.4.3.2. Phôi thí nghiệm
 - 2.4.3.3. Đá mài
 - 2.4.3.4. Dung dịch trơn nguội

2.4.3.5. Dụng cụ sửa đá

2.4.3.6. Các dụng cụ đo kiểm

2.5. Phương pháp thiết kế thí nghiệm và quy hoạch thực nghiệm

2.5.1. Lựa chọn phương pháp

2.5.2. Các bước thực hiện theo phương pháp Taguchi.

2.5.3. Các bước tối ưu hóa sử dụng phân tích quan hệ mờ (Grey Relational Analysis – GRA).

Kết luận Chương 2

1. Đã phân tích và lựa chọn được các thông số đầu vào và kết quả đầu ra của nghiên cứu. Các thông số đầu vào của quá trình mài phẳng gồm: Vận tốc bàn (V_B), lượng chạy dao dọc (S_d), chiều sâu cắt (f_d), thời gian cắt (t_c), lượng dư gia công ($a_{e,tot}$), chi phí giờ máy ($C_{m,h}$); Độ cứng của phôi (HRC), dung sai yêu cầu (δ), mật độ xếp phôi (M_p); Đường kính đá ban đầu (D_0), bề rộng đá (W_{gw}), lượng mòn đá sau mỗi chu kỳ tuổi bền (W_{pd}), giá mua một viên đá mài (C_{dm}), tuổi bền (T_w); Chiều sâu sửa đá (a_{ed}), lượng chạy dao sửa đá (S), số lần sửa đá (n); Loại dung dịch, phương pháp tưới, nồng độ dung dịch (ND), lưu lượng dung dịch (LL). Các thông số đầu ra bao gồm: Nhám bề mặt gia công Ra, chi phí cho mài một chi tiết $C_{t,p}$ và đường kính đá mài khi thay tối ưu $D_{e,op}$.
2. Đã đề xuất mô hình nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng với 03 giải pháp gồm: Sử dụng chế độ bôi trơn làm mát hợp lý, sử dụng chế độ công nghệ sửa đá hợp lý và mài với đường kính đá mài tối ưu khi thay. Các giải pháp này sẽ được trình bày trong các chương tiếp theo của luận án.
3. Đã xây dựng, kết nối hệ thống thí nghiệm, lựa chọn các thiết bị đo đáp ứng được các mục tiêu nghiên cứu.
4. Phương pháp Taguchi và Taguchi kết hợp với quan hệ mờ (GRA) được áp dụng trong thiết kế và quy hoạch thực nghiệm cho phép chọn số lượng thông số để khảo sát là nhất nhưng số thí nghiệm là ít nhất. Phương pháp này phù hợp với yêu cầu nghiên cứu và đánh giá.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ BÔI TRƠN LÀM MÁT

3.1. Thực nghiệm xác định chế độ bôi trơn làm mát và chế độ cắt hợp lý

3.1.1. Lựa chọn thông số và điều kiện thí nghiệm

Các mức thí nghiệm của các thông số ND, LL, S_d , V_B và f_d .

Mức Thông số	1	2	3	4
Lưu lượng làm mát LL (lít/phút)	5	10	15	20
Nồng độ ND (%)	1	2	3	4
Lượng chạy dao dọc S_d (mm/HT)	6	8	10	12
Vận tốc bàn V_B (m/phút)	6	8	10	12
Chiều sâu cắt f_d (mm)	0,005	0,01	0,015	0,02

3.1.2. Xác định theo chỉ tiêu nhám bề mặt R_a

3.1.2.1. Mức độ ảnh hưởng của các thông số

Khi nồng độ dung dịch trơn nguội ND tăng thì trị số nhám bề mặt trung bình ($\overline{R_a}$) giảm và đạt trị số nhỏ nhất khi nồng độ ND = 4%. Điều này có thể được lý giải là do khi tăng nồng độ dung dịch trơn nguội thì ma sát giữa đá và chi tiết mài giảm nên nhám bề mặt giảm.

Khi lưu lượng LL tăng thì trị số nhám bề mặt trung bình ($\overline{R_a}$) tăng sau đó giảm, ($\overline{R_a}$) đạt được trị số nhỏ nhất khi lưu lượng LL = 5 l/ph. Điều này có thể được lý giải như sau: Khi tăng lưu lượng làm cho ma sát giữa đá mài và chi tiết gia công giảm làm nhiệt cắt giảm, đá sắc lâu hơn làm nhám bề mặt tăng, tuổi bền của đá mài tăng lên. Tuy nhiên khi tăng lưu lượng đến một mức độ nào đó, nhiệt cắt hầu như không giảm, khả năng bôi trơn tăng làm ma sát giảm làm giảm nhám bề mặt.

Lượng chạy dao dọc S_d tăng thì nhám bề mặt tăng sau đó giảm. Trị số nhám bề mặt đạt được nhỏ nhất khi $S_d = 6$ mm/HT. Điều này được lý giải như sau: Khi tăng lượng chạy dao dọc thì chiều rộng đoạn chi tiết tiếp xúc với đá mài tăng lên dẫn đến nhám bề mặt tăng. Nếu tiếp tục tăng lượng chạy dao, lực cắt tăng dẫn đến các lưỡi cắt bị vỡ thành các lưỡi cắt nhỏ hơn, đá mịn hơn làm nhám bề mặt giảm.

Vận tốc bàn VB tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng rồi lại giảm. Trị số độ nhám đạt được nhỏ nhất khi $V_B = 8\text{m/ph}$. Điều này được lý giải là do việc tăng vận tốc bàn khi gia công vật liệu có độ cứng cao (58÷60 HRC) làm hạt mài trên bề mặt đá mài vỡ thành các hạt có kích thước nhỏ hơn, làm nhám bề mặt giảm. Tuy nhiên, càng tăng vận tốc bàn, sự vỡ ngẫu nhiên của các hạt mài, lúc này tác động của hình dáng và động lực học của hạt mài là chủ yếu làm cho nhám bề mặt tăng lên rồi lại giảm xuống.

Chiều sâu cắt khi mài tăng thì nhám bề mặt tăng sau đó giảm rồi lại tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại $t = 0,01\text{ mm}$. Điều này có thể được lý giải là do khi tăng chiều sâu cắt làm lực cắt tăng, khả năng cắt của đá mài giảm, đặc biệt khi gia công vật liệu có độ cứng cao (58÷60 HRC), hạt mài trên bề mặt đá bị vỡ thành các hạt có kích thước nhỏ hơn làm nhám bề mặt giảm. Tuy nhiên càng tăng chiều sâu mài, sự vỡ ngẫu nhiên của hạt mài chịu ảnh hưởng chính của hình dáng và động lực học của hạt mài làm cho nhám bề mặt tăng rồi lại giảm.

3.1.2.2. Xác định chế độ hợp lý

Đề Ra_{min}: ND = 4%, LL = 5 l/ph, S_d = 6 mm/HTĐ, V_B = 8 m/ph, f_d = 0,01 mm.

3.1.2.3. Tính toán dự đoán

$$(0,323 - 0,09) \mu\text{m} \leq (Ra)_{\text{op}} \leq (0,323 + 0,09) \mu\text{m}$$

Kết quả thực nghiệm: Ra = 0,348 μm. Giá trị này sai khác 7,18% so với giá trị dự đoán.

3.1.3. Xác định theo chỉ tiêu lực cắt pháp tuyến F_y

3.1.3.1. Xác định mức độ ảnh hưởng của các thông số.

Khi nồng độ dung dịch trơn nguội ND tăng thì lực cắt pháp tuyến trung bình \bar{F}_y giảm sau đó tăng. Trị số lực cắt \bar{F}_y đạt được nhỏ nhất khi nồng độ ND = 3%. Điều này có thể được lý giải: Khi tăng nồng độ dung dịch trơn nguội thì ma sát giữa đá mài và chi tiết mài giảm nên lực cắt giảm. Tiếp tục tăng nồng độ lên thì dung dịch đậm đặc hơn dẫn đến phoi khó thoát hơn. Lúc này lượng tăng lực cắt do phoi bết lớn hơn lượng giảm do tăng nồng độ dung dịch trơn nguội. Kết quả là lực cắt tăng.

Khi lưu lượng LL tăng thì lực cắt \bar{F}_y giảm sau đó tăng. Trị số lực cắt \bar{F}_y đạt được nhỏ nhất khi lưu lượng LL = 15 l/ph. Điều này được lý giải như sau: Khi lưu lượng tăng thì khả năng làm sạch phôi tăng, bôi trơn tốt hơn dẫn đến lực cắt giảm. Tuy nhiên, tiếp tục tăng lưu lượng thì khả năng bôi trơn làm mát càng giảm dẫn đến lực cắt \bar{F}_y tăng.

Lượng chạy dao dọc S_d tăng thì lực cắt \bar{F}_y tăng. Trị số lực cắt \bar{F}_y đạt được nhỏ nhất khi $S_d = 6$ mm/HT. Điều này được lý giải như sau: Khi lượng chạy dao dọc tăng thì diện tích bề mặt đá mài tham gia cắt (tiếp xúc với bề mặt phôi) tăng làm cho chiều rộng lớp cắt tăng dẫn đến lực cắt \bar{F}_y tăng.

Vận tốc bàn VB tăng thì lực cắt \bar{F}_y tăng. Trị số lực cắt \bar{F}_y đạt được nhỏ nhất khi VB = 6 m/ph. Điều này được lý giải như sau: Khi vận tốc bàn tăng thời gian tiếp xúc giữa đá mài và bề mặt phôi giảm dẫn đến lực cắt \bar{F}_y tăng.

Chiều sâu cắt khi mài tăng thì lực cắt \bar{F}_y tăng. Lực cắt \bar{F}_y đạt trị số nhỏ nhất khi $f_d = 0,005$ mm. Điều này được lý giải như sau: Khi tăng chiều sâu cắt thì chiều dày lớp cắt tăng dẫn đến lực cắt tăng.

3.1.3.2 Xác định chế độ hợp lý

Các trị số và mức tương ứng của các thông số khảo sát cho mục tiêu đạt giá trị F_y nhỏ nhất là: ND = 3%, LL = 15 l/ph, $S_d = 6$ mm/HTĐ, VB = 6 m/ph, $f_d = 0,005$ mm.

Thực nghiệm kiểm chứng: $F_y = 43,3$ N.

3.1.4. Bài toán đa mục tiêu cả nhám bề mặt và lực cắt pháp tuyến nhỏ nhất bằng phân tích quan hệ mờ trong phương pháp Taguchi

Bộ thông số hợp lý nhằm đáp ứng cả R_a và F_y nhỏ nhất là: ND3/LL3/ S_d 1/VB1/ f_d 1, tương ứng với: ND = 3%, LL = 15 lít/phút, $S_d = 6$ mm/HT, VB = 6 m/ph, $f_d = 0,005$ mm.

$\eta_{op} = 0,8188$; $R_{a_{op}} = 0,5036$ μm

Kết quả thực nghiệm cho thấy: $R_a = 0,527$ μm , $F_y = 43,3$ N

3.2. Nghiên cứu thực nghiệm xác định chế độ sửa đá hợp lý

3.2.1. Lựa chọn các thông số và các điều kiện thí nghiệm

Các mức thí nghiệm của các thông số S, a_{edr} , n_r , a_{edf} , n_f và n_{non} .

Biến	Mức			
	1	2	3	4
Lượng chạy dao sửa đá S [m/ph]	1,6	1,8	-	-
Chiều sâu sửa đá thô a_{edr} [mm/HT]	0,015	0,02	0,025	0,03
Số lần sửa thô n_r [lần]	0	1	2	3
Chiều sâu sửa tinh a_{edf} [mm/HT]	0,005	0,01	-	-
Số lần sửa tinh n_f [lần]	0	1	2	3
Số lần chạy không ăn dao n_{non} [lần]	0	1	2	3

3.2.2. Xác định theo chỉ tiêu nhám bề mặt

3.2.2.1. Phân tích ảnh hưởng

Số lần sửa đá tinh có đóng góp lớn nhất đến Ra (31%), tiếp đến là số lần sửa đá thô (25,2%), số lần chạy không ăn dao (23,7%), chiều sâu sửa đá thô (10,7%), chiều sâu sửa đá tinh (8,9%) và cuối cùng là lượng chạy dao (0,5%).

Chiều sâu sửa đá thô a_{edr} tăng thì nhám bề mặt tăng sau đó giảm rồi lại tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 3 (0,025 mm). Điều này có thể lý giải như sau: Ban đầu khi tăng chiều sâu sửa đá làm tăng chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài, dẫn đến số lưỡi cắt động giảm làm nhám bề mặt tăng. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng chiều sâu sửa đá thô, chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tiếp tục tăng. Mặt khác chi tiết gia công có độ cứng cao nên các lưỡi cắt sẽ bị vỡ để trở về trạng thái có chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá nhỏ, chiều cao của lưỡi cắt giảm làm số lưỡi cắt động tăng dẫn đến nhám bề mặt giảm. Nếu vẫn tăng chiều sâu sửa đá thô, sự vỡ ngẫu nhiên của các hạt mài làm cho nhám bề mặt khó kiểm soát, có thể tăng hoặc giảm.

Số lần sửa đá thô n_r tăng thì nhám bề mặt tăng sau đó giảm mạnh và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 4 (tương ứng với sửa đá thô ba lần). Điều này được lý giải là do khi số lần sửa càng tăng thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài tăng, điều kiện thoát phoi tăng, đá mài cắt dễ dàng hơn làm nhám bề mặt giảm mạnh.

Chiều sâu sửa đá tinh a_{edf} tăng thì nhám bề mặt tăng và đạt trị số nhỏ nhất ở mức 1 (0,005 mm). Lý do là khi tăng chiều sâu sửa đá tinh

thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tăng làm số lưỡi cắt động giảm. Vì vậy nhám bề mặt tăng.

Số lần sửa tinh n_f tăng thì nhám bề mặt giảm sau đó tăng và đạt giá trị nhỏ nhất tại mức 2 (tương ứng với sửa đá tinh một lần). Rõ ràng, khi có sửa đá tinh thì số lưỡi cắt động tăng so với không sửa đá tinh, làm tăng khả năng cắt của đá mài dẫn đến nhám bề mặt giảm. Tuy vậy, càng tăng số lần sửa đá tinh thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá và chiều cao ban đầu của đá giảm, không gian chứa phoi nhỏ nên nhanh chóng bị lấp đầy. Do đó tính năng cắt của đá mài giảm. Thêm vào đó độ cứng của vật liệu gia công cao, ma sát giữa chất kết dính với bề mặt gia công tăng nên nhám bề mặt tăng.

Số lần chạy không ăn dao n_{non} tăng thì nhám bề mặt giảm và đạt trị số nhỏ nhất ở mức 4 (tương ứng với ba lần). Điều này được lý giải là do số lần chạy không ăn dao càng tăng thì số lưỡi cắt động tăng, nghĩa là đá càng mịn, dẫn đến nhám bề mặt giảm.

Lượng chạy dao sửa đá S tăng thì nhám bề mặt tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 1 (1,6 m/ph). Nguyên nhân là do khi tăng lượng chạy dao sửa đá làm giảm số lưỡi cắt động nên khả năng cắt của đá giảm và nhám bề mặt tăng lên.

3.2.2.2. Xác định bộ thông số chế độ sửa đá hợp lý

$a_{edr} = 0,025$ mm (a_{edr3}), $n_{edr} = 3$ lần (n_r4), $n_{non} = 3$ lần (n_{non4}), $n_f = 1$ lần (n_f2), $a_{edf} = 0,005$ mm (a_{edf1}) và $S = 1,6$ m/ph ($S1$) là mức và trị số tối ưu của các thông số sửa đá nhằm đạt được Ramin

3.2.2.3. Tính toán dự đoán giá trị nhám bề mặt

$$Ra_{OP} = 0,2505 \mu\text{m}$$

Kết quả thực nghiệm: $Ra = 0,268 \mu\text{m}$, sai khác 6,98% với dự đoán.

3.2.3. Xác định theo chỉ tiêu lực cắt pháp tuyến

3.2.3.1. Phân tích ảnh hưởng.

Số lần sửa tinh đóng góp lớn nhất (33,4%), tiếp theo là chiều sâu sửa đá thô (30,6%), số lần chạy không (20,5%), lượng chạy dao (12,2%), số lần sửa thô (3,2%) và cuối cùng là lượng chạy dao sửa tinh (0,1%).

Chiều sâu sửa đá thô tăng thì lực pháp tuyến Fy giảm sau đó tăng rồi lại giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 2 (0,02 mm). Điều này có thể được lý giải như sau: Khi tăng chiều sâu sửa đá thô, mật độ lưỡi cắt động giảm nên lực cắt giảm. Tuy nhiên, nếu chiều sâu sửa đá thô tiếp tục tăng, cộng thêm tính chất vỡ ngẫu nhiên của hạt mài khi gia công vật liệu có độ cứng cao làm cho chiều cao ban đầu của lưỡi cắt giảm, số lưỡi cắt động tăng nên lực cắt tăng lên hoặc giảm xuống một cách ngẫu nhiên.

Số lần sửa đá thô tăng thì Fy giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 3 (2 lần sửa đá thô). Điều này có thể được lý giải là do khi tăng số lần sửa đá thô, chiều cao ban đầu của lưỡi cắt tăng, điều kiện thoát phoi tăng, lực cắt giảm mạnh. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng số lần sửa đá thô, gia công vật liệu có độ cứng cao làm hạt mài vỡ thành các hạt có kích thước nhỏ hơn, số lưỡi cắt động tăng, điều kiện thoát phoi giảm, ma sát giữa đá và chi tiết gia công tăng làm lực cắt tăng lên.

Số lần chạy không ăn dao tăng thì Fy tăng mạnh sau đó giảm nhẹ và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 1 (0 lần chạy không ăn dao). Điều này được lý giải: Càng tăng số lần chạy không ăn dao, số lưỡi cắt động càng tăng, chiều cao ban đầu của đá mài giảm, bề mặt đá mài càng mịn, điều kiện thoát phoi giảm, ma sát giữa đá và chi tiết gia công tăng làm lực cắt tăng. Khi tăng số lần chạy không ăn dao đến một trị số nào đó, chiều cao ban đầu của đá mài gần như bằng không, lực cắt hầu như không thay đổi nhiều.

Chiều sâu sửa đá tinh tăng thì Fy giảm và đạt trị số nhỏ nhất ở mức 2 (0,01 mm). Điều này được lý giải là do khi tăng chiều sâu sửa đá tinh, mật độ lưỡi cắt động giảm nên lực cắt giảm.

Số lần sửa tinh tăng thì Fy tăng và đạt giá trị nhỏ nhất tại mức 1 (1 lần sửa đá tinh). Điều này được lý giải là do khi tăng số lần sửa đá tinh, số lưỡi cắt động tăng lên làm lực cắt tăng.

Lượng chạy dao tăng thì Fy giảm và đạt trị số nhỏ nhất ở mức 2 (1,8 m/ph). Điều này được lý giải là do khi tăng lượng chạy dao sửa đá, số lưỡi cắt động giảm làm lực cắt giảm.

3.2.3.2. . Xác định bộ thông số sửa đá hợp lý

Bộ thông số sửa đá hợp lý nhằm đạt lực cắt nhỏ nhất là: Sửa đá thô 2 lần với $a_{edr} = 0,02$ mm với lượng chạy dao 1,8 m/ph.

3.2.3.3. Tính toán dự đoán giá trị F_y

$$F_{yOP} = 49,89 \text{ N}$$

Kết quả thực nghiệm $F_y = 53$ N, sai khác 6,0% với giá trị dự đoán.

3.2.4. Xác định theo chỉ tiêu tuổi bền đá mài T_w

3.2.4.1. Phân tích ảnh hưởng.

Số lần sửa đá thô có ảnh hưởng mạnh nhất đến tuổi bền của đá mài (85,373%), tiếp theo là chiều sâu cắt khi sửa thô (11,839%), tiếp đến là số lần chạy không (1,665%), số lần sửa tinh (0,807%), lượng chạy dao sửa đá (0,315%), cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh ảnh hưởng ít nhất (0,001%).

Chiều sâu sửa đá thô tăng thì tuổi bền giảm sau đó tăng và đạt trị số lớn nhất tại 0,015 mm (a_{edr1}). Điều này có thể được lý giải như sau: Khi tăng chiều sâu sửa đá thô, chiều cao ban đầu của đá tăng, độ sắc nhọn của lưỡi cắt tăng lên (bán kính lưỡi cắt giảm) làm cho đá dễ dàng cắt gọt hơn. Càng tăng chiều sâu sửa đá thô, các lưỡi cắt sẽ bị vỡ đẽ trở về trạng thái có chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá nhỏ (đặc biệt là khi mài vật liệu 90CrSi có độ cứng cao), chiều cao của lưỡi cắt giảm, phoi mài nhanh điền đầy vào khoảng trống giữa các hạt mài hơn, dẫn đến tuổi bền giảm. Nếu tiếp tục tăng chiều sâu sửa đá thô, do sự vỡ ngẫu nhiên của hạt mài, tuổi bền cũng có thể tăng hoặc giảm một cách ngẫu nhiên.

Việc có thực hiện sửa đá thô làm tăng mạnh tuổi bền của đá mài so với không sửa đá thô. Điều này khẳng định sự cần thiết của sửa đá. Tăng số lần sửa đá thô làm tuổi bền đá giảm rồi tăng và đạt trị số lớn nhất tại 3 lần (n_4). Càng tăng số lần sửa đá thô thì tuổi bền có xu hướng tăng lên không nhiều. Tuy nhiên, càng tăng số lần sửa đá thô thì tuổi thọ của đá càng giảm. Việc tăng số lần sửa đá thô kết hợp với sự ăn vào ngẫu nhiên của bút sửa đá làm cho chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài tăng hoặc giảm, số lưỡi cắt động giảm hoặc tăng, lực cắt giảm hoặc tăng làm tuổi bền của đá giảm hoặc tăng.

Việc có sửa đá tinh làm giảm tuổi bền đá mài đáng kể so với không thực hiện sửa đá tinh và tuổi bền đạt trị số lớn nhất khi không

sửa tinh (n_{r1}). Tăng số lần sửa đá tinh thì tuổi bền đá mài thay đổi ít. Điều này được lý giải do khi thực hiện sửa đá tinh, chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài giảm so với sau khi sửa đá thô, bề mặt đá mài mịn hơn, không gian chứa phoi giảm làm tuổi bền đá mài giảm.

Chiều sâu sửa đá tinh tăng thì tuổi bền đá mài giảm và tuổi bền đạt trị số lớn nhất tại mức 1 (n_{r1}). Khi chiều sâu sửa đá tinh tăng làm chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài giảm so với sau khi sửa đá thô, không gian thoát phoi giảm dẫn đến tuổi bền giảm.

Việc thực hiện sửa đá không ăn dao làm tuổi bền đá mài giảm đáng kể so với không thực hiện chạy không ăn dao và tuổi bền đạt trị số lớn nhất khi số lần chạy không ăn dao ở mức 1 (n_{non1} – không lần). Tăng số lần chạy không ăn dao thì tuổi bền giảm đáng kể rồi tăng ít. Điều này được lý giải khi càng chạy không ăn dao nhiều lần sau sửa đá tinh thì bề mặt đá càng mịn hơn, không gian chứa phoi bị thu hẹp hơn làm tuổi bền giảm.

Lượng chạy dao sửa đá tăng thì tuổi bền đá mài giảm và tuổi bền đạt trị số lớn nhất khi lượng chạy dao ở mức 1 (1,6 m/phút). Điều này được lý giải do tăng lượng chạy dao sửa đá, không gian chứa phoi giảm làm tuổi bền giảm.

3.2.4.2. Xác định bộ thông số sửa đá hợp lý

Để T_{wmax} : Sửa đá thô 3 lần với $a_{edr} = 0,015$ mm với $S = 1,6$ m/ph.

3.2.4.3. Tính toán dự đoán giá trị T_w

$(39,29 - 2,86)$ phút $\leq T_{wop} \leq (39,29 + 2,86)$ phút

Kết quả thực nghiệm $T_w = 37,2$ phút, sai khác 5,32% với dự đoán.

3.2.5. Xác định theo chỉ tiêu dung sai độ phẳng

3.2.5.1. Phân tích ảnh hưởng.

Chiều sâu sửa đá thô ảnh hưởng mạnh nhất (39,9%), tiếp đến là số lần chạy không (24,8%), chiều sâu sửa đá tinh (22,2%), số lần sửa đá thô (7,1%), số lần sửa đá tinh (5,9%) và cuối cùng lượng chạy dao sửa đá ảnh hưởng nhỏ nhất (0,1%).

Chiều sâu sửa đá thô tăng thì \bar{Fl} giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại 0,025 mm (a_{edr3}). Điều này có thể được lý giải như sau: Khi chiều sâu sửa đá tăng, chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tăng,

không gian thoát phoi tăng, điều kiện cắt gọt được cải thiện làm dung sai độ phẳng giảm. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng chiều sâu sửa đá thô, chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tăng, các lưỡi cắt dễ bị vỡ thành lưỡi cắt nhỏ hơn khi gia công, làm giảm không gian thoát phoi, điều kiện cắt gọt bị hạn chế làm dung sai độ phẳng tăng lên.

Có sửa đá thô làm giảm dung sai độ phẳng so với không sửa đá thô. Số lần sửa đá thô tăng thì \bar{Fl} tăng sau đó giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại 3 lần (n_r4). Điều này được lý giải là do khi có sửa đá thô, chiều cao ban đầu của đá mài tăng, không gian chứa và thoát phoi lớn hơn, làm phoi thoát dễ dàng hơn, điều kiện cắt gọt được cải thiện làm dung sai độ phẳng giảm so với không sửa đá thô.

Số lần chạy không ăn dao tăng thì \bar{Fl} tăng sau đó giảm mạnh và đạt trị số nhỏ nhất tại không lần (n_{non1}). Số lần chạy không ăn dao càng tăng thì bề mặt đá càng phẳng, bề mặt đá càng mịn, điều này làm khả năng cắt của đá giảm, dung sai sai độ phẳng tăng.

Có sửa đá tinh làm dung sai độ phẳng lớn hơn không sửa. Tăng số lần sửa đá tinh thì dung sai độ phẳng lại nhỏ hơn không sửa. Nếu tăng hơn nữa số lần sửa đá tinh thì dung sai độ phẳng lại lớn hơn không sửa đá tinh. Dung sai độ phẳng đạt trị số nhỏ nhất tại hai lần sửa đá tinh (n_r3). Khi tăng số lần sửa đá tinh thì số lưỡi cắt động tăng nên dung sai độ phẳng giảm. Tuy vậy, càng tăng số lần sửa đá tinh thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá giảm, khả năng cắt của đá giảm nên dung sai độ phẳng lại tăng.

Chiều sâu sửa đá tinh tăng thì \bar{Fl} giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại 0,01 mm (a_{edr2}). Đó là do khi tăng chiều sâu sửa đá tinh thì chiều cao nhấp nhô ban đầu tăng dẫn đến khả năng cắt của đá mài tăng làm cho dung sai độ phẳng giảm.

Lượng chạy dao sửa đá tăng thì \bar{Fl} tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại 1,6 m/ph (S1). Do lượng chạy dao tăng thì số lưỡi cắt động giảm, khả năng cắt của đá giảm dẫn đến dung sai độ phẳng tăng.

3.2.5.2. Xác định bộ thông số sửa đá hợp lý

Để Fl_{\min} : Sửa đá thô 3 lần với $a_{edr} = 0,025$ mm, sửa tinh 2 lần với $a_{edf} = 0,01$ mm, sửa không ăn dao 3 lần cùng với lượng chạy dao 1,6 m/ph.

3.2.5.3. Tính toán dự đoán giá trị Fl

$$(7,13-2,66) \mu\text{m} \leq Fl_{op} \leq (7,13+2,66) \mu\text{m}$$

Kết quả thực nghiệm $Fl = 6,68 \mu\text{m}$, sai khác 6,31% với dự đoán.

3.2.6. Xác định theo chỉ tiêu năng suất gia công

3.2.6.1. Phân tích ảnh hưởng.

Số lần sửa đá thô ảnh hưởng mạnh nhất (75,32%), tiếp đến là số lần chạy không ăn dao (11,85%), chiều sâu sửa đá thô (5,31%), lượng chạy dao sửa đá (3,83%), chiều sâu sửa đá tinh (3,06%) và cuối cùng là số lần sửa đá tinh ảnh hưởng nhỏ nhất (0,63%).

Chiều sâu sửa đá thô tăng thì \overline{MRR} tăng sau đó giảm và đạt trị số lớn nhất tại 0,02 mm (a_{edr2}). Điều này có thể được lý giải như sau: Khi chiều sâu sửa đá tăng, chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tăng, khả năng chứa và thoát phoi tăng dẫn đến năng suất gia công tăng. Nếu tiếp tục tăng chiều sâu sửa đá, chiều cao ban đầu của đá mài tăng, làm cho các lưỡi cắt dễ bị vỡ để trở về trạng thái có chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá nhỏ, khả năng chứa và thoát phoi giảm, làm cho năng suất gia công giảm.

Có sửa đá thô làm tăng năng suất gia công mạnh so với không sửa đá thô. Số lần sửa đá thô tăng thì \overline{MRR} giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại 1 lần (n_r2). Rõ ràng, năng suất gia công không tăng theo một quy luật nhất định do sự ngẫu nhiên của quá trình sửa đá.

Số lần chạy không ăn dao tăng thì \overline{MRR} giảm mạnh và đạt trị số lớn nhất khi không thực hiện chạy không ăn dao (n_{non1}). Số lần chạy không ăn dao càng tăng thì bề mặt đá càng mịn, điều này làm khả năng cắt của đá giảm, năng suất gia công giảm.

Có sửa đá tinh làm năng suất gia công nhỏ hơn so với không sửa đá tinh và năng suất gia công đạt trị số lớn nhất khi không thực hiện sửa đá tinh (0 lần – n_{non1}). Tăng số lần sửa đá tinh thì năng suất gia công tăng. Khi có sửa đá tinh, chiều cao ban đầu của đá mài và hạt mài giảm so với chỉ sửa đá thô, không gian chứa và thoát phoi giảm, khả

năng cắt của đá mài giảm dẫn đến năng suất gia công giảm. Nếu tăng số lần sửa đá tinh, số lưỡi cắt động tăng lên, làm năng suất gia công tăng. Tuy nhiên, số lần sửa đá tinh càng tăng, chiều cao ban đầu của hạt mài và đá mài càng giảm so với chỉ sửa đá thô, làm cho năng suất gia công giảm. Tổng hợp lại, năng suất gia công tăng khi số lần sửa đá tinh tăng nhưng vẫn thấp hơn so với không sửa đá tinh.

Chiều sâu sửa đá tinh tăng thì \overline{MRR} tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại 0,01 mm (a_{edr2}). Đó là do khi tăng chiều sâu sửa đá tinh thì chiều cao nhấp nhô ban đầu tăng dẫn đến khả năng cắt của đá mài tăng làm cho năng suất gia công tăng.

Lượng chạy dao sửa đá tăng thì \overline{MRR} giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại 1,6 m/ph (S1). Do lượng chạy dao tăng thì số lưỡi cắt động giảm, khả năng cắt của đá mài giảm dẫn đến năng suất gia công giảm.

3.2.6.2. Xác định chế độ sửa đá hợp lý

Để năng suất gia công lớn nhất thì sửa đá một lần với chiều sâu sửa đá thô 0,02 mm với lượng chạy dao 1,6 m/ph, không sửa đá tinh và sửa đá không ăn dao.

3.2.6.3. Tính toán dự đoán giá trị năng suất gia công MRR

$$(7,867 - 0,53) \text{ mm}^3/\text{s} \leq \text{MRR}_{op} \leq (7,867 + 0,53) \text{ mm}^3/\text{s}$$

Kết quả thực nghiệm $\text{MRR} = 7,63 \text{ mm}^3/\text{s}$, sai khác 3,01% với dự đoán.

3.2.7. Bài toán đa mục tiêu về nhám bề mặt và dung sai độ phẳng khi sửa đá

Mục tiêu là tìm ra chế độ sửa đá hợp lý nhằm Ramin và Flmin

3.2.7.1. Thực hiện phân tích trị số quan hệ mờ

Số lần chạy không ăn dao có ảnh hưởng mạnh nhất (30%), tiếp theo là số lần sửa tinh (28,4%), chiều sâu sửa đá thô (22,2%), số lần sửa thô (9,7%), chiều sâu sửa tinh (8,5%) và cuối cùng là lượng chạy dao (1,2%).

3.2.7.2. Xác định mức hợp lý của các thông số khảo sát nhằm đạt cả hai mục tiêu $R_{a_{min}}$ và Fl_{min} khi sửa đá

$a_{edr} = 0,025 \text{ mm}$, $n_r = 3$ lần, $n_{non} = 3$ lần, $n_f = 2$ lần, $a_{edr} = 0,01 \text{ mm}$, $S = 1,6 \text{ m/ph}$

3.2.7.3. Tính toán trị số quan hệ mờ và trị số của Ra và Fl ứng với mức hợp lý của các thông số sửa đá

$$\eta_{op} = 0,88; Ra_{op} = 0,365 \mu\text{m}; Flop = 7,13 \mu\text{m}$$

3.2.8. Bài toán đa mục tiêu nhằm cả bốn mục tiêu nhám bề mặt Ra, dung sai độ phẳng Fl, năng suất gia công MRR và tuổi bền của đá mài T_w khi sửa đá

Mục tiêu là tìm ra chế độ sửa đá hợp lý nhằm cả bốn mục tiêu: Ra_{min} , Fl_{min} , MRR_{max} và T_{wmax} .

3.2.8.1. Phân tích quan hệ số quan hệ mờ

Số lần sửa đá thô có ảnh hưởng mạnh nhất (65,4%) đến mục tiêu, tiếp theo là số lần chạy không ăn dao (11,63%), số lần sửa đá tinh (9,19%), chiều sâu sửa đa tinh (6,7%), chiều sâu sửa đá thô (5,48%) và cuối cùng là lượng chạy dao (1.76%). Tuy nhiên, theo thứ tự ảnh hưởng đến hệ số quan hệ mờ thì chiều sâu sửa đá thô có ảnh hưởng mạnh nhất còn chiều sâu sửa đá tinh có ảnh hưởng nhỏ nhất.

3.2.8.2. Xác định mức và trị số của thông số sửa đá nhằm cả bốn mục tiêu Ra_{min} , Fl_{min} , MRR_{max} và T_{wmax}

Để đạt đồng thời bốn chỉ tiêu (Ra_{min} , Fl_{min} , MRR_{max} và T_{wmax}) thì chế độ công nghệ sửa đá là: $a_{edr}3/n_r4/n_{non}4/n_f3/a_{edf}2/S1$, $a_{edr} = 0,025$ mm, $n_r = 3$ lần, $n_{non} = 3$ lần, $n_f = 2$ lần, $a_{edf} = 0,01$ mm, $S = 1,6$ m/ph.

3.2.8.3. Tính toán trị số quan hệ mờ và trị số của Ra, Fl, MRR và T_w ứng với mức hợp lý của các thông số sửa đá

$$\eta_{op}=0,7793; Ra_{op} = 0,365 \mu\text{m}; Fl_{op} = 7,13 \mu\text{m}; MRR_{op} = 5,03 \text{ mm}^3/\text{s}; T_{wop} = 29,88 \text{ ph}$$

Kết luận Chương 3

1. Ứng dụng phương pháp Taguchi để đánh giá ảnh hưởng của chế độ bôi trơn làm mát và chế độ cắt đến nhám bề mặt và lực cắt và ảnh hưởng của chế độ sửa đá đến nhám bề mặt, dung sai độ phẳng, tuổi bền của đá, năng suất gia công khi mài phẳng.
2. Lựa chọn bộ thông số thông số bôi trơn và chế độ cắt khi mài thép 90CrSi bằng đá mài Hải Dương.
3. Lựa chọn bộ thông số công nghệ sửa đá cắt khi mài thép 90CrSi bằng đá mài Hải Dương.

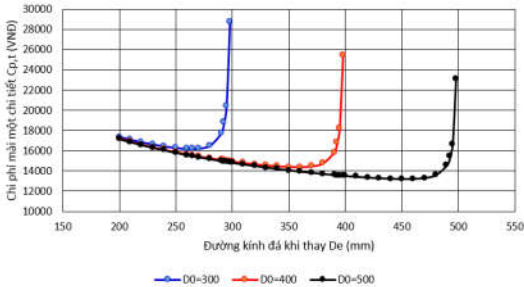
CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG KÍNH THAY ĐÁ TỐI ƯU

4.1. Phân tích chi phí gia công mài phẳng

4.1.1. Xác định chi phí đá mài cho một chi tiết gia công

4.1.2. Xác định thời gian gia công mài một chi tiết tgc

4.2. Khảo sát ảnh hưởng của một số thông số đến chi phí mài phẳng



Hình 4.9. Ảnh hưởng của đường kính đá khí thay đến chi phí mài một chi tiết.

4.3. Khảo sát ảnh hưởng của một số thông số đến đường kính thay đá tối ưu

4.3.1. Xác định hàm mục tiêu và xây dựng kế hoạch thực hiện

4.3.2. Đánh giá các ảnh hưởng của các thông số

4.3.2.1. Đánh giá các ảnh hưởng của thông số khảo sát đến De_{op} .

4.3.2.2. Phân tích hồi quy - phương sai

$$\begin{aligned}
 De_{op} = & -1,29 + 0,95384D_0 - 67,02a_{ed} + 0,0045T_w - 51,1W_{pd} \\
 & - 1,2 \cdot 10^{-5}C_{mh} - 1,7 \cdot 10^{-5}C_{dm} - 0,1522D_0 \cdot a_{ed} + 0,001055D_0 \cdot T_w \\
 & - 0,1560D_0 \cdot W_{pd} + 1,175 \cdot 10^{-7}D_0 \cdot C_{mh} - 3,67 \cdot 10^{-8}D_0 \cdot C_{dm} + 1,436a_{ed} \cdot T_w \\
 & + 344 a_{ed} \cdot W_{pd} + 0,000159a_{ed} \cdot C_{mh} - 5 \cdot 10^{-5}a_{ed} \cdot C_{dm} - 1,1 \cdot 10^{-6}T_w \cdot C_{mh} \\
 & + 3,487 \cdot 10^{-7}T_w \cdot C_{dm} - 5,2 \cdot 10^{-5}W_{pd} \cdot C_{dm} + 5,47 \cdot 10^{-11}C_{mh} \cdot C_{dm} \quad (4.28)
 \end{aligned}$$

4.4. Kiểm chứng mô hình xác định đường kính thay đá tối ưu bằng thực nghiệm

4.4.1. Điều kiện thực nghiệm

4.4.2. Cách thức tiến hành thí nghiệm

4.4.3. Kết quả thực nghiệm

Với thực nghiệm đường kính đá mài ban đầu $D_0 = 300\text{mm}$, giá trị tối ưu này xấp xỉ 265 mm. Kết quả này sai khác 1,95% so với tính toán theo lý thuyết (270,17%). Sử dụng thay đá theo đường kính tối ưu làm tăng tốc độ bóc tách 40,98%, tăng tuổi bền của đá 52,47%, giảm thời gian mài chi tiết 22,38% và cuối cùng dẫn đến giảm chi phí mài một chi tiết 14,14%.

4.5. Áp dụng mô hình thay đá tối ưu với chế độ sửa đá và chế độ tron nguội tối ưu

Nếu áp dụng chế độ sửa đá tối ưu, chế độ tron nguội tối ưu và thay đá ở đường kính tối ưu thì năng suất bóc tách tăng 49,53%, tuổi bền đá tăng 51,52%, thời gian mài giảm 22,35%, chi phí mài giảm 24,07% và chi phí mài giảm 9,93% so với chỉ áp dụng đường kính thay đá tối ưu (14,14%).

Kết luận Chương 4.

1. Đã phân tích được chi phí mài một chi tiết, đồng thời khảo sát được ảnh hưởng của tám thông số (đường kính đá ban đầu D_0 , chiều rộng đá mài W_{gw} , chiều sâu sửa đá tổng cộng a_{ed} , độ cứng Rockwell HRC của phôi, tuổi bền của đá mài T_w , lượng mòn của đá W_{pd} , chi phí giờ máy C_{mh} và giá của một viên đá mài C_{dm} đến chi phí mài.
2. Đã phân tích, khảo sát được ảnh hưởng của tám thông số kể trên và tương tác giữa chúng đến đường kính thay đá tối ưu để nhận được chi phí mài nhỏ nhất. Kết quả phân tích cho thấy, đường kính đá ban đầu D_0 là thông số có mức ảnh hưởng lớn nhất, trong khi đó, độ cứng Rockwell HRC và chiều rộng đá mài ảnh hưởng không đáng kể đến đường kính thay đá tối ưu.
3. Trên cơ sở phân tích định lượng, đã xây dựng được mô hình hồi quy tính toán đường kính thay đá tối ưu với độ tin cậy 99,99%:

$$\begin{aligned} De,op = & -1,29 + 0,95384D_0 - 67,02a_{ed} + 0,0045T_w - 51,1W_{pd} \\ & - 1,2 \cdot 10^{-5}C_{mh} - 1,7 \cdot 10^{-5}C_{dm} - 0,1522D_0 * a_{ed} + 0,001055D_0 * T_w \\ & - 0,1560D_0 * W_{pd} + 1,175 \cdot 10^{-7}D_0 * C_{mh} - 3,67 \cdot 10^{-8}D_0 * C_{dm} \\ & + 1,436a_{ed} * T_w + 344 a_{ed} * W_{pd} + 0,000159a_{ed} * C_{mh} - 5 \cdot 10^{-5}a_{ed} * C_{dm} \\ & - 1,1 \cdot 10^{-6}T_w * C_{mh} + 3,487 \cdot 10^{-7}T_w * C_{dm} - 5,2 \cdot 10^{-5}W_{pd} * C_{dm} \\ & + 5,47 \cdot 10^{-11}C_{mh} * C_{dm} \end{aligned}$$

4. Kết quả thực nghiệm cho thấy, mô hình tính toán trị số đường kính thay đá tối ưu được đề xuất trong chương 2 là phù hợp. Thực nghiệm cho thấy, đường kính thay đá tối ưu là 265 mm, sai lệch rất nhỏ (1,95%) so với đường kính thay đá tối ưu được tính toán bằng lý thuyết (270,17 mm).
5. So với kinh nghiệm sản xuất thực, khi áp dụng mô hình thay đá ở đường kính tối ưu làm năng suất gia công tăng 40,98%, tuổi bền của đá 52,47%, làm giảm thời gian mài chi tiết đi 22,38% và cuối cùng dẫn đến giảm chi phí mài một chi tiết 14,14% so với thay đá theo thói quen sử dụng.
6. Nếu kết hợp đồng thời thay đá đường kính thay đá tối ưu, chế độ bôi trơn làm mát và chế độ sửa đá tối ưu làm năng suất gia công tăng 49,53%, tuổi bền đá tăng 51,52%, thời gian mài một chi tiết giảm 22,35% và giảm chi phí mài 24,07%.

KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

1. Kết luận chung

1. Luận án đã đề xuất mô hình xác định chi phí mài phẳng để tính toán đường kính thay đá tối ưu nhằm đạt được chi phí thấp nhất bằng lý thuyết và kiểm chứng thực nghiệm;
2. Luận án đã đánh giá ảnh hưởng của chế độ bôi trơn làm mát và chế độ cắt khi mài phẳng để lựa chọn bộ thông số hợp lý khi mài tinh trên đối tượng thực nghiệm là thép 90CrSi bằng đá mài Hải Dương;
3. Luận án đã đánh giá ảnh hưởng của chế độ công nghệ sửa đá khi mài phẳng để lựa chọn bộ thông số hợp lý khi mài tinh trên đối tượng thực nghiệm là thép 90CrSi bằng đá mài Hải Dương.

2. Hướng nghiên cứu tiếp theo

Mặc dù nghiên cứu này đã đưa ra được một số giải pháp để nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng nhưng vẫn cần tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ bôi trơn làm mát, chế độ cắt và chế độ sửa đá đến cơ, lý tính của lớp bề mặt sau mài. Thêm vào đó, cần thiết phải nghiên cứu nâng cao hiệu quả khi mài bằng đá mài CBN.

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN
ĐỀ TÀI LUẬN ÁN**

1. Vu Ngoc Pi, **Luu Anh Tung**, Le Xuan Hung and Banh Tien Long, “*Cost Optimization of Surface Grinding Process*” Journal of Environmental Science and Engineering A 5 (2016), pp. 606-611.
2. Vu Ngoc Pi, **Luu Anh Tung**, Le Xuan Hung and Nguyen Van Ngoc, “*Experimental Determination of Optimum Exchanged Diameter in Surface Grinding Process*”, Journal of Environmental Science and Engineering A 6 (2017), pp. 85-89.
3. Vu Ngoc Pi, **Luu Anh Tung**, Tran Thi Hong, Nguyen Thi Thanh Nga, Le Xuan Hung, Banh Tien Long, “*An optimization of exchanged grinding wheel diameter when surface grinding alloy tool steel 9CrSi*”, materials Today: Proceedings, The 9th International Conference of Materials Processing and Characterization, ICMPC-2019 Science Direct, Volume 18, Part 7, pp. 2225-2233, **ScienceDirect, Scopus**, 2019.
4. Thi-Hong Tran, **Anh-Tung Luu**, Quoc-Tuan Nguyen, Hong-Ky Le, Anh-Tuan Nguyen, Tien-Dung Hoang, Xuan-Hung Le, Tien-Long Banh and Ngoc-Pi Vu, “*Optimization of Replaced Grinding Wheel Diameter for Surface Grinding Based on a Cost Analysis*”, Metals, 2019, pp.448, **SCIE**.
5. **Luu Anh Tung**, Vu Ngoc Pi, Do Thi Thu Ha, Le Xuan Hung and Tien Long Banh, “*A Study on Optimization of Surface Roughness in Surface Grinding 9CrSi Tool Steel by Using Taguchi Method*”, International Conference on Engineering Research and Applications 1-2 December, Thai Nguyen, Vietnam, pp. 100-108, 2018, **Scopus**.
6. **Luu Anh Tung**, Vu Ngoc Pi, Vu Thi Lien, Tran Thi Hong, Le Xuan Hung, Banh Tien Long, “*Optimization of Dressing Parameters of Grinding Wheel for 9CrSi tool Steel using the Taguchi Method with Grey Relational Analysis*”, **Materials Science and Engineering**, 635, pp. 12030, 2019, **Scopus**.