

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT  
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP ĐẠI HỌC**

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ  
SỬA ĐÁ ĐẾN NĂNG SUẤT VÀ ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI MÀI  
LỖ NHỎ VẬT LIỆU 9XC QUA TÔI**

**Mã số: ĐH2013-TN02-05**

**Chủ nhiệm đề tài: ThS. Lưu Anh Tùng**

**Thái Nguyên, tháng 12/2018**

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT  
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP ĐẠI HỌC**

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ  
SỬA ĐÁ ĐẾN NĂNG SUẤT VÀ ĐỘ NHÁM BỀ MẶT KHI MÀI  
LỖ NHỎ VẬT LIỆU 9XC QUA TÔI**

**Mã số: ĐH2013-TN02-05**

**Xác nhận của tổ chức chủ trì  
KT. HIỆU TRƯỞNG  
PHÓ HIỆU TRƯỞNG**

**Chủ nhiệm đề tài**

**PGS.TS. Vũ Ngọc Pi**

**ThS. Lưu Anh Tùng**

**Thái Nguyên, tháng 12/2018**

**DANH SÁCH NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI  
VÀ ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH**

**1. DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU**

- i. PGS. TS. Vũ Ngọc Pi, trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp
- ii. ThS. Lê Xuân Hưng, trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp

**2. ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH**

Doanh nghiệp tư nhân cơ khí chính xác Thái Hà

## MỤC LỤC

DANH SÁCH NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI VÀ ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH.....	i
1.DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU .....	i
2.ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH .....	i
DANH MỤC HÌNH VẼ .....	iii
DANH MỤC HÌNH VẼ .....	v
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU .....	vi
INFORMATION ON RESEARCH RESULTS.....	viii
PHẦN MỞ ĐẦU .....	1
1. Tính cấp thiết của đề tài .....	1
2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn đề tài.....	2
3. Mục tiêu của nghiên cứu .....	2
4. Kết quả đạt được .....	3
5. Phương pháp nghiên cứu.....	3
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN MÀI LỖ.....	4
1.1. Đặc điểm của quá trình mài lỗ.....	4
1.2. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình mài.....	5
1.3. Trị số độ nhám bề mặt khi mài.....	6
1.4. Giới thiệu, phân loại đá mài .....	9
1.5. Mòn và tuổi bền của đá mài .....	12
1.6. Topography đá mài .....	15
CHƯƠNG 2. ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ TỚI QUÁ TRÌNH MÀI .....	20
2.1. Giới thiệu về sửa đá khi mài .....	20
2.2. Các phương pháp sửa đá và các dụng cụ sửa đá .....	21
2.3. Chế độ công nghệ sửa đá. ....	22
2.5. Kết luận chương 2.....	26

CHƯƠNG 3. THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ ĐẾN NHÁM BỀ MẶT, NĂNG SUẤT VÀ CHẾ ĐỘ SỬA ĐÁ HỢP LÝ KHI MÀI LỖ VẬT LIỆU 9XC QUA TÔL.....	28
3.1. Mục đích thí nghiệm .....	28
3.2. Chuẩn bị thí nghiệm.....	28
3.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm .....	30
3.4. Tiến trình thí nghiệm .....	34
3.5. Kết quả đo thực nghiệm .....	34
3.6. Đánh giá kết quả thực nghiệm.....	35
3.7. Tối ưu hóa đa mục tiêu .....	45
3.8. Kết luận chương 3.....	54
KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO.....	56
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	57

## DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1. Mài lỗ có tâm.....	4
Hình 2. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến các tham số quá trình mài .	6
Hình 3. Sự hình thành trị số độ nhám bề mặt khi mài [10].....	7
Hình 4. Nhiệt và sự phân bố năng lượng khi mài [10] .....	8
Hình 5. Các dạng mòn của đá mài [2].....	13
Hình 6. Quá trình mòn của đá [2] .....	14
Hình 7. Biên dạng bề mặt đá mài [2] .....	15
Hình 8. Ảnh hưởng của dụng cụ sửa đá đến chiều cao biên dạng $h_a$ .....	17
Hình 9. Ảnh hưởng của $S_{sd}$ sửa đá đến topography đá [2, 10] .....	17
Hình 10. Ảnh hưởng của chế độ sửa đá đến độ nhấp nhô tế vi bề mặt $R_a$ [2]	19
Hình 11. Mô hình quá trình sửa đá với phương pháp sửa đá tiếp xúc [2].....	20
Hình 12. Dụng cụ sửa đá kim cương [10].....	21
Hình 13. Cách gá mũi sửa đá kim cương một hạt [21, 29].....	22
Hình 14. Ảnh hưởng của lượng chạy dao khi sửa đá đến lực mài và độ nhám bề mặt khi mài [13] .....	23
Hình 15. Biểu đồ Schmitt mô tả ảnh hưởng của tốc độ bóc tách và lượng tiến dao khi mài lỗ đến độ nhám bề mặt [8] .....	24
Hình 16. Ảnh bề mặt của đá mài CBN trước (phải) và sau (trái) sửa đá [8]..	25
Hình 17. Đá mài .....	28
Hình 18. Hình ảnh máy đo nhám Mitutoyo SV-3100 tại công ty FUTU 1 ....	29
Hình 19. Phôi thép 9XC .....	29
Hình 20. Mũi sửa đá kim cương .....	29
Hình 21. Sơ đồ sửa đá .....	30
Hình 22. Ảnh hưởng của các thông số đến $R_a$ .....	37
Hình 23. Topography đá mài .....	38
Hình 24. Ảnh hưởng của các thông số đến tỷ số S/N của $R_a$ .....	40

Hình 25. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến MRR trung bình .....	43
Hình 26. Ảnh hưởng của các thông số đến tỷ số S/N của MRR.....	45
Hình 27. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số. ....	51

### DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. Bảng cỡ hạt đá mài.....	12
Bảng 2. Chế độ sửa đá khi sử dụng đầu sửa đá kim cương nhiều hạt [23] ...	25
Bảng 3. Chế độ sửa đá với đầu sửa đá kim cương của Winter [29].....	26
Bảng 4. Mức và các thông số đầu vào .....	31
Bảng 5. Sơ đồ thí nghiệm theo thiết kế Taguchi L18.....	32
Bảng 6. Đặc trưng đầu ra cho các thông số.....	34
Bảng 7. Kết quả trị số độ nhám Ra, MRR và tỉ số S/N của chỉ tiêu. ....	35
Bảng 8. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến trị số độ nhám trung bình. ....	36
Bảng 9. Phân tích ANOVA cho giá trị trị số độ nhám trung bình .....	36
Bảng 10. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến tỷ số S/N của trị số độ nhám .....	39
Bảng 11. Phân tích ANOVA cho tỷ số S/N của trị số độ nhám.....	39
Bảng 12. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến MRR.....	42
Bảng 13. Phân tích ANOVA cho tỷ số S/N của MRR .....	42
Bảng 14. Trị số SN, giá trị chuẩn hóa và trị số sai lệch dãy tham chiếu.....	47
Bảng 15. Trị số quan hệ xám của từng mục tiêu và trị số quan hệ xám trung bình.....	49
Bảng 16. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ xám. ....	50
Bảng 17. Kết quả ANOVA trị số quan hệ xám. ....	52
Bảng 18. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.....	54

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

### THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

#### 1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: *Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến năng suất và độ nhám bề mặt khi mài lỗ nhỏ vật liệu 9XC qua tôi.*

- Mã số: *DH2013-TN02-05*

- Chủ nhiệm đề tài: ThS. Lưu Anh Tùng

- Tổ chức chủ trì: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên

- Thời gian thực hiện: 2013-2014

#### 2. Mục tiêu:

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến năng suất và độ nhám bề mặt khi mài lỗ nhỏ vật liệu thép 9XC qua tôi.

#### 3. Tính mới và sáng tạo:

Chế độ sửa đá qua 3 bước: Thô, tinh và chạy không ăn dao. Ứng dụng phân tích quan hệ xám trong lý thuyết Taguchi.

#### 4. Kết quả nghiên cứu:

Đã xác định được chế độ công nghệ sửa đá đảm bảo hợp lý năng suất cao trong khi nhám bề mặt thấp.

#### 5. Sản phẩm:

**5.1. Sản phẩm khoa học:** 01 Bài báo tạp chí quốc tế có chỉ số Scopus.

Le Xuan Hung, Tran Thi Hong, Le Hong Ky, Luu Anh Tung, Nguyen Thi Thanh Nga, Vu Ngoc Pi (2018), “Optimum Dressing Parameters for Maximum Material Removal Rate When Internal Cylindrical Grinding Using Taguchi



Method”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Volume 9, Issue 12 (Acceptance).

**5.2. Sản phẩm đào tạo:** 01 luận văn thạc sĩ đã bảo vệ.

- Phạm Tuấn Hiệp (2017), *Nghiên cứu ảnh hưởng của công nghệ sửa đá đến nhám bề mặt khi mài lỗ nhỏ vật liệu 9XC qua tôi*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, ĐHTN.

**5.3. Sản phẩm ứng dụng**

Phương pháp và chế độ sửa đá hợp lý cho mài lỗ nhỏ các sản phẩm 9XC qua tôi. Ứng dụng để gia công mài tinh lỗ cối dập viên các loại.

**6. Phương thức chuyển giao, địa chỉ ứng dụng, tác động và lợi ích mang lại của kết quả nghiên cứu:**

Đã chuyển giao công nghệ sửa đá mài lỗ cho Doanh nghiệp tư nhân Cơ khí chính xác Thái Hà, năng suất cắt gọt tăng lên khoảng 27,34%.

*Ngày tháng năm 2018*

**Tổ chức chủ trì**

**Chủ nhiệm đề tài**

**KT. HIỆU TRƯỞNG**

**PHÓ HIỆU TRƯỞNG**

**ThS. Lưu Anh Tùng**

**PGS.TS. Vũ Ngọc Pi**

## INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

### 1. General information:

Project title: *Study on the effect of dressing parameters on productivity and surface roughness when grinding small hole 9XC material.*

Code number: *DH2013-TN02-05*

Coordinator: Master Luu Anh Tung

Implementing institution: TNU - Thai Nguyen University of Technology

Duration: from 2013 to 2014

**2. Objective(s):** Study on the effect of dressing parameters on productivity and surface roughness when grinding small hole 9XC material.

**3. Creativeness and innovativeness: Dressing wheel in 3 steps:** Coarse, fine and not run. Using Grey Relational Analysis in Taguchi method.

**4. Research results:** Dressing wheel has been determined to ensure high material remove rate while low surface roughness.

### 5. Products:

#### 5.1. Scientific products: 01 paper in a SCOPUS journal

Le Xuan Hung, Tran Thi Hong, Le Hong Ky, Luu Anh Tung, Nguyen Thi Thanh Nga, Vu Ngoc Pi (2018), "Optimum Dressing Parameters for Maximum Material Removal Rate When Internal Cylindrical Grinding Using Taguchi Method", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Volume 9, Issue 12 (Acceptance).

#### 5.2. Training products

- Pham Tuan Hiep (2017), *A study on the effect of dressing parameter to surface roughness in internal grinding 9XC steel*, Master thesis, Thai Nguyen University of Technology, TNU.

#### 5.3. Application products

Method and parameter for dressing in internal grinding of 9XC harden steel. Application for grinding hole.

**6. Transfer alternatives, application institutions, impacts and benefits of research results:** Has transferred dressing parameter to hole for Thai Ha Private Enterprise Precision Mechanics, redouble material remove rate to about 27,34%

## PHẦN MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Gia công mài nói chung và mài lỗ nói riêng được sử dụng rất rộng rãi trong gia công cơ khí. Đặc biệt, mài lỗ được sử dụng khá phổ biến và hiệu quả để gia công chính xác các lỗ hình trụ đường kính khác nhau. Các nghiên cứu về mài được tiến hành trên rất nhiều mặt của quá trình mài như cơ sở lý thuyết của quá trình mài, về ảnh hưởng của các thông số của quá trình đến chất lượng mài, về tối ưu hóa các thông số công nghệ của quá trình mài, về ảnh hưởng của bôi trơn làm mát khi mài đến năng suất và chất lượng mài vv... Cụ thể về các nghiên cứu này như sau:

Cơ sở lý thuyết của quá trình mài đã được nhiều tác giả nghiên cứu sâu trong các sách chuyên khảo như [10] và [13]. Trong những cuốn sách này, mô hình quá trình cắt khi mài tròn ngoài, mài phẳng vv... đã được mô tả cụ thể. Cấu tạo của đá mài, ảnh hưởng của các thông số của đá và các thông số của quá trình sửa đá đến năng suất và quá trình mài cũng được đánh giá. Vấn đề lực cắt và nhiệt cắt khi mài cũng được phân tích kỹ lưỡng.

Các nghiên cứu về quá trình mài với nhiều nội dung khác nhau đã được các tác giả trong và ngoài nước quan tâm. Nghiên cứu về công suất mài và trị số độ nhám khi mài ngoài được trình bày trong [15]. Việc mô phỏng quá trình mài đã được xây dựng bằng phương pháp phần tử hữu hạn [9] hay bằng các phương pháp khác [17, 26]. Thêm vào đó, hệ thống mài nhằm tối ưu hóa quá trình mài tròn ngoài đã được đề cập trong [18, 27]. Ảnh hưởng của loại chất bôi trơn, thành phần của dung dịch và chế độ bôi trơn làm mát đến chất lượng mài đã được khảo sát [5].

Việc ứng dụng các kỹ thuật tiên tiến để khảo sát trực tiếp khả năng cắt cũng như độ mòn của đá đã được nghiên cứu trong [12]. Độ mòn của đá cũng như chế độ sửa đá tối ưu cũng đã được đề cập đến trong [21, 28]. Phương pháp đánh giá Topography của đá mài đã được phân tích [29] và Topography của đá có thể đánh giá một cách gián tiếp như thông qua lực cắt, rung động trong quá trình mài [29] hoặc đo bằng cảm biến khoảng cách laser [4]. Thêm vào đó, chế độ sửa đá tối ưu cũng đã được chỉ ra trong [29].

Việc lựa chọn các thông số tối ưu trong quá trình mài như vận tốc quay của đá, vận tốc quay của phôi, chiều sâu sửa đá vv... đã được nghiên cứu cho cho mài tròn ngoài [4].

Trên thực tế có rất nhiều sản phẩm chính xác làm bằng thép 9XC qua tôi cần qua nguyên công mài lỗ như các loại cối dập thuốc, cối đột lỗ thép tấm vv... Nguyên công mài lỗ chiếm tỷ trọng đối lớn về thời gian chế tạo và giá thành của sản phẩm. Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu nào về xác định ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến trị số độ nhám bề mặt khi mài lỗ vật liệu thép 9XC qua tôi.

Trên cơ sở phân tích nêu trên, tác giả đã chọn đề tài: ***“Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến năng suất và độ nhám bề mặt khi mài lỗ nhỏ vật liệu 9XC qua tôi”***.

## **2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn đề tài**

### **2.1 Ý nghĩa khoa học**

- Xác lập được quan hệ giữa các thông số công nghệ sửa đá với năng suất cắt và độ nhám bề mặt lỗ khi mài.

- Đề tài sẽ bổ sung được một số kết quả nghiên cứu cơ bản về mài lỗ thép 9XC trong điều kiện kỹ thuật và công nghệ cụ thể ở Việt Nam.

### **2.2 Ý nghĩa thực tiễn**

Xuất phát từ điều kiện gia công cụ thể: Cặp đá mài – vật liệu gia công, hệ thống công nghệ, chất lượng sản phẩm yêu cầu... sẽ chọn được chế độ công nghệ sửa đá hợp lý nhằm đảm bảo năng suất cắt và độ nhám bề mặt của sản phẩm theo yêu cầu.

Ứng dụng để gia công mài tinh sản phẩm các lỗ cối dập viên các loại.

## **3. Mục tiêu của nghiên cứu**

Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến năng suất và độ nhám bề mặt khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi. Qua đó chọn được chế độ công nghệ sửa đá hợp lý nhằm đảm bảo cả năng suất và độ nhám bề mặt của sản phẩm theo yêu cầu khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi.

#### **4. Kết quả đạt được**

- Xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến độ nhám bề mặt khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi.

- Đề xuất chế độ công nghệ sửa đá hợp lý khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi nhằm nâng cao năng suất và chất lượng bề mặt.

#### **5. Phương pháp nghiên cứu**

- Đề tài được thực hiện bằng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN MÀI LỖ

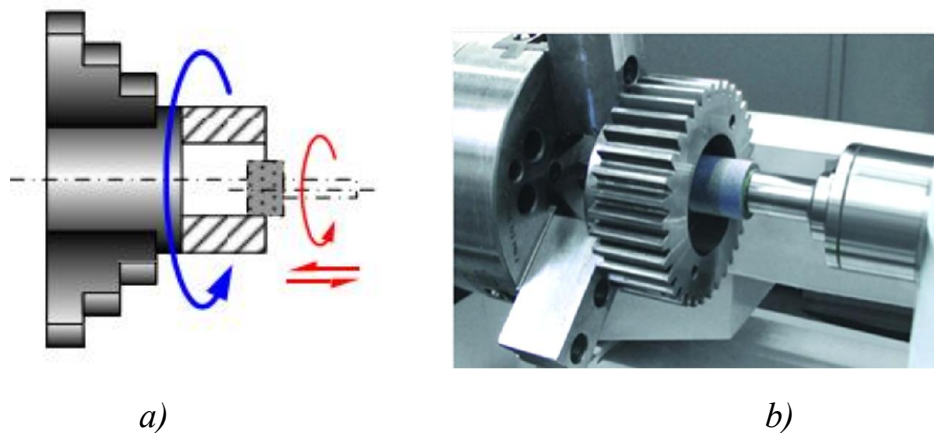
### 1.1. Đặc điểm của quá trình mài lỗ

Mài lỗ là phương pháp gia công tinh lỗ, các lỗ sau khi mài có thể đạt cấp chính xác 6 ÷ 7;  $Ra = 3,2 \div 0,2 \mu m$ . Mài lỗ thường dùng trong các trường hợp sau:

- Mài các lỗ lớn, lỗ phi tiêu chuẩn, lỗ có kết cấu không thuận tiện cho các phương pháp khác và có yêu cầu chính xác cao.
- Mài các lỗ có độ cứng cao (đã nhiều lần luyện).
- Mài các lỗ cần sửa lại sai lệch vị trí tương quan của lỗ do các nguyên công trước để lại.

Khi mài mặt trụ trong thì đường kính của đá mài phải nhỏ hơn đường kính của lỗ mài. Thường chọn đường kính đá bằng  $0,7 \div 0,9$  đường kính lỗ cần mài. Vì thế, không thể đạt được tốc độ mài bằng cách tăng đường kính đá mà phải tăng số vòng quay của trục mang đá, nhưng lúc này sẽ gặp nhiều trở ngại như lực quán tính ly tâm sẽ rất lớn, rung động và không an toàn. Tốc độ của đá không được vượt quá 35m/s. Do vậy, bề mặt của lỗ gia công đạt độ bóng không cao (so với mài ngoài).

Mài mặt trụ trong cũng được tiến hành bằng hai phương pháp đó là mài có tâm và mài vô tâm. Cụ thể trong nghiên cứu này tác giả sẽ sử dụng phương pháp mài có tâm là phương pháp thường dùng và phổ biến hơn cả.



Hình 1. Mài lỗ có tâm

a. Sơ đồ mài lỗ ; b. Ảnh chụp mài lỗ

Mài lỗ có tâm có hai cách gá đặt chi tiết:

+ Cách thứ nhất: Chi tiết được kẹp chặt trên mâm cặp và quay tròn (*Hình 1*). Trục đá chuyển động chính cũng là quay tròn và thực hiện cả chuyển động chạy dao dọc hoặc chuyển động chạy dao ngang. Phương pháp gá đặt này thường dùng để mài chi tiết nhỏ, các mặt tròn xoay, các vật dễ gá trên mâm cặp.

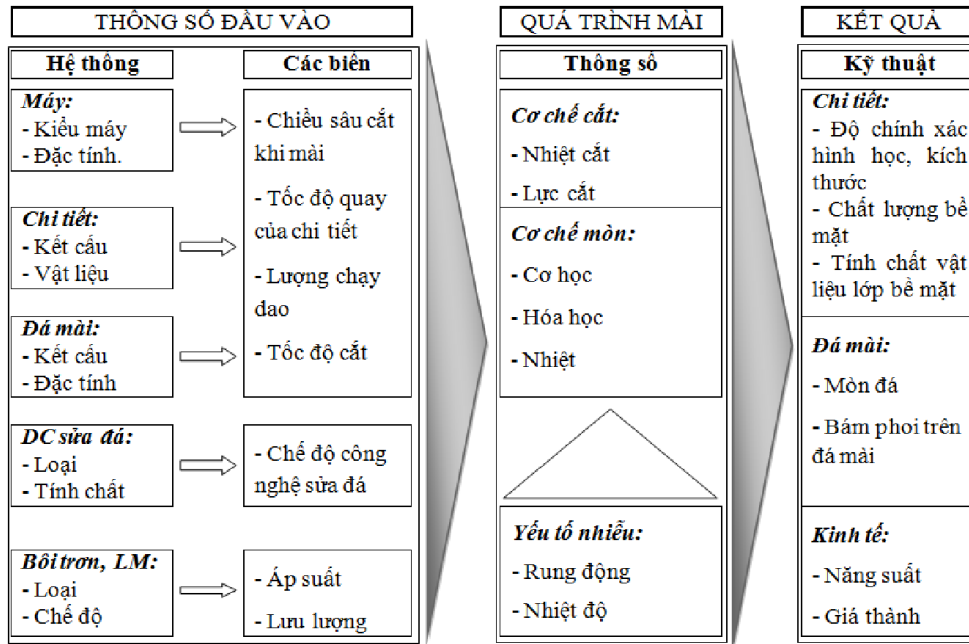
+ Cách thứ hai là chi tiết được gá cố định trên bàn máy. Trục mang đá thực hiện tất cả các chuyển động gồm: chuyển động quay tròn của đá, chuyển động chạy dao dọc hoặc ngang và chuyển động hành trình của đá xung quanh tâm lỗ gia công để cắt hết bề mặt chu vi lỗ. Thực chất chuyển động hành trình của đá ở phương pháp thứ hai là thay cho chuyển động quay tròn của chi tiết gia công của phương pháp thứ nhất. Phương pháp thứ hai này thuận tiện khi gia công các chi tiết lớn như: thân động cơ, các loại hộp, các chi tiết công kênh..

Dựa vào điều kiện thực tế và kích thước chi tiết gia công ta sử dụng cách thứ nhất để gia công trong nghiên cứu.

## **1.2. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình mài**

Quá trình mài chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố đặc trưng khác nhau. Hình 2 dưới đây mô tả ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến quá trình mài và kết quả của quá trình mài.





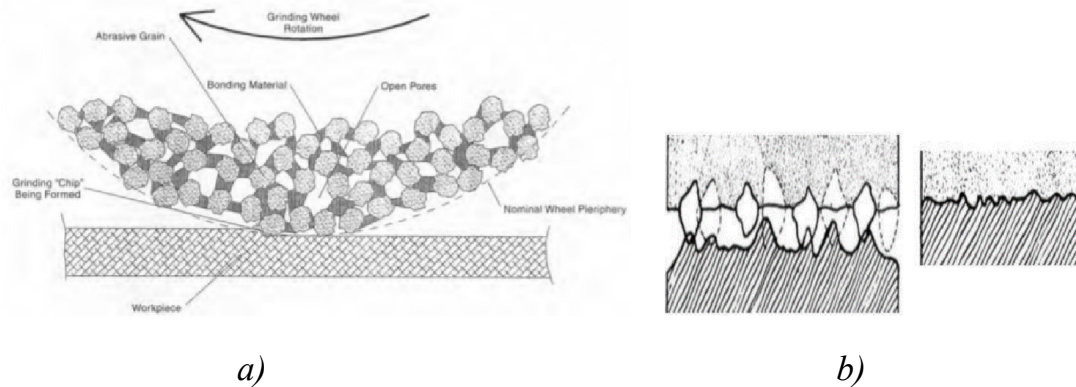
Hình 2. Ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến các tham số quá trình mài và chất lượng gia công [2, 10]

Các thông số đầu vào gồm máy, chi tiết gia công, đá mài, dung dịch bôi trơn làm mát và sửa đá. Các thông số của quá trình mài gồm có lực cắt, nhiệt cắt, rung động... Các yếu tố đầu ra gồm các yếu tố cả về kỹ thuật và kinh tế cũng như thể hiện trên đá mài. Các yếu tố về kỹ thuật để đánh giá kết quả quá trình mài là độ chính xác, chất lượng bề mặt, lượng mòn đá và các yếu tố kinh tế như năng suất và giá thành của nguyên công mài

### 1.3. Trị số độ nhám bề mặt khi mài

#### 1.3.1. Trị số độ nhám bề mặt gia công khi mài

Trị số độ nhám bề mặt mài được hình thành bởi vô số các vết cào xước chồng lên nhau của lưỡi cắt của các hạt mài có chiều cao không bằng nhau (hình 3).



Hình 3. Sự hình thành trị số độ nhám bề mặt khi mài [10]

a. Sơ đồ mài ; b. Nhám bề mặt gia công

\* Thông qua các nghiên cứu của các tác giả, bằng các ảnh chụp tế vi bề mặt sau khi mài cho thấy chất lượng bề mặt tăng lên là do:

- Vật liệu bị nén giãn sang 2 bên đường cắt.
- Phoi dính vào hạt mài rồi lại dính ngược vào phôi.
- Các hạt mài bị vỡ làm cho quá trình cắt thay đổi đột ngột tạo vết lồi lõm trên bề mặt ngoài và gây ra ứng suất tập trung.
- Các vết nứt do nhiệt mài trên bề mặt.

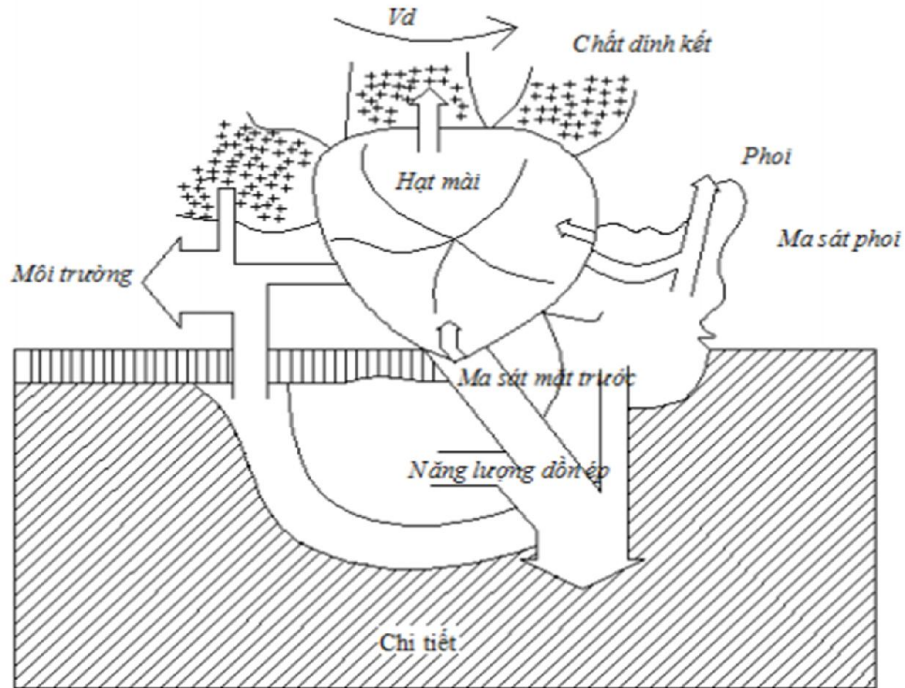
\* Chất lượng bề mặt mài giảm là do:

- Biến dạng đàn hồi theo phương hướng kính và sự bào mòn các đỉnh hạt mài.
- Sử dụng dung dịch trơn nguội phù hợp và phương pháp tưới nguội hợp lý.

### 1.3.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến trị số độ nhám bề mặt gia công khi mài

- Thay đổi chế độ cắt làm tăng chiều sâu cắt  $a_z$  của các hạt mài và làm cho nhám bề mặt khi mài tăng.
- Độ hạt và chế độ sửa đá ( $S_{sd}$ ,  $t_{sd}$ ) có ảnh hưởng đến nhám bề mặt khi mài. Hạt mài có kích thước lớn hơn, sửa đá thô hơn thì trị số độ nhám bề mặt tăng.
- Công nghệ tưới nguội, hệ số truyền nhiệt của vật liệu đá mài và vật liệu chi tiết gia công ảnh hưởng tới nhiệt độ vùng mài, qua đó ảnh hưởng tới trị số độ nhám bề mặt mài. Nhiệt độ vùng mài cao thì càng gây biến dạng dẻo mạnh, có

thể gây cháy, tạo vết nứt bề mặt. Nhiệt mài và sự phân bố năng lượng khi mài thể hiện như hình 4.



Hình 4. Nhiệt và sự phân bố năng lượng khi mài [10]

- Rung động khi mài cũng làm tăng trị số độ nhám bề mặt.
- Mức độ biến dạng dẻo của vật liệu càng lớn thì độ nhám bề mặt càng cao. Mài vật liệu dẻo, dai hơn sẽ cho trị số độ nhám cao hơn khi mài vật liệu cứng, giòn.

### 1.3.3. Phương pháp đánh giá trị số độ nhám bề mặt gia công khi mài

Để đánh giá trị số độ nhám của bề mặt thường dùng các phương pháp sau:

- Phương pháp so sánh bằng mắt: Trong xưởng sản xuất, người thợ đem chi tiết gia công so sánh với bề mặt mẫu và kết luận xem bề mặt gia công đạt cấp trị số độ nhám là bao nhiêu (thường từ cấp 3 đến cấp 7).
- Phương pháp dùng kính quang học: Đo được bề mặt có độ nhẵn bóng cao, từ cấp 10 đến cấp 14.
- Phương pháp đo trị số độ nhám  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$  bằng máy đo profin: dùng đầu dò để đo profin bề mặt, đo đến cấp 11. Trong nghiên cứu của đề tài này,

tác giả cũng sử dụng máy đo trị số độ nhám để đánh giá chất lượng bề mặt khi mài chi tiết 9XC qua tôi.

#### **1.4. Giới thiệu, phân loại đá mài**

Đá mài là một vật thể xốp do hạt mài và chất dính kết cấu tạo thành. Nói chung hạt mài của đá mài chỉ chiếm thể tích bằng một nửa thể tích của đá mài. Hạt mài đóng vai trò như những lưỡi cắt, còn chất dính kết có chức năng tạo hình dáng cho đá mài. .

Đá mài được đặc trưng bởi các thông số sau:

- vật liệu hạt mài
- cỡ hạt, độ cứng, chất dính kết
- cấu trúc, hình dạng kích thước của đá mài.

\* Vật liệu hạt mài:

Vật liệu hạt mài có nhiều loại khác nhau. Nhưng được chia làm hai dạng:

- Dạng hạt tự nhiên: thạch anh, đá granit, ô xít nhôm,...
- Dạng hạt nhân tạo (loại thông dụng): hạt Cacbit silic, hạt Cacbit bo,...

Cacbit silic: Cac bit silic là một hợp chất của Silic và các bon nhận được từ than cốc và cát thạch anh khi nung nóng tới 2000 – 2100°C trong lò điện. Các bit silic có màu xanh đậm, óng ánh. Tùy vào hàm lượng silic nguyên chất người ta chia làm hai loại: các bit silic xanh (trên 97% silic) và các bit silic đen. Cac bit silic có một số tính chất sau:

- + Độ cứng rất cao (chỉ sau kim cương, enbo và cacbit bo);
- + Do có hình đánh sắc nhọn nên khả năng cắt của nó rất cao;
- + Độ chịu nhiệt rất cao, có thể chịu được nhiệt độ 2050°C

Cacbit bo: Là một hợp chất của Bo với các bon BrC. Nó có khả năng cắt cao, chịu mài mòn và trơ hóa học. Cacbit bo được sản xuất với hàm lượng 87 – 94%

Tùy theo yêu cầu kỹ thuật và loại vật liệu gia công mà ta lựa chọn loại vật liệu hạt mài cho phù hợp.

\* Chất dính kết của đá mài:

Chất kết dính có tác dụng liên kết các hạt mài riêng lẻ để tạo hình khối cho đá mài, trong công nghiệp sử dụng rộng rãi các loại: Gôm, Bakelit, Vucanit

+ Chất dính kết Gôm: kí hiệu G, là chất dính kết vô cơ được sử dụng rộng rãi nhất, hiện nay có khoảng 70% đá mài được chế tạo từ những dính kết này. Chất dính kết gôm có độ bền, độ chịu nhiệt và độ cứng cao, chịu ăn mòn và chịu ẩm tốt, bền vững về mặt hóa học. Nhược điểm của chất dính kết gôm là giòn nên không dùng chế tạo đá mài có chiều dày nhỏ và chịu tải trọng va đập. Đá mài dùng chất dính kết gôm có thể cắt với tốc độ 50m/s và cho năng suất cao.

+ Chất dính kết Bakelit: kí hiệu B, là một loại chất hữu cơ được sử dụng rất phổ biến. Bakelit là loại nhựa tổng hợp được chế tạo từ axit cacbonic và phooc ma lin. Ưu điểm của chất dính kết này là: độ bền cao, độ đàn hồi lớn, chịu được va đập tốt, nhiệt sinh ra ít khi mài. Do đó cho phép cắt với tốc độ cao khoảng 60m/s. Nhược điểm là kém bền vững về phương diện hao nhiệt. Nó bị phá hủy bởi dung dịch kiềm có độ pH  $\geq 8$ . Độ bền cơ học và lực giữa hạt mài giảm nhanh ở nhiệt độ 200<sup>0</sup>C. Vì vậy chỉ được phép làm việc khi có tưới dung dịch trơn nguội với độ kiềm nhỏ hơn 1,5%. Đá mài dùng chất dính kết loại này được sử dụng rộng rãi ở tốc độ cao để mài rãnh, mài sắc dao đã tôi, mài bề mặt định hình, mài ta rô, bàn ren, mũi doa,...

+ Chất dính kết Vuncanit: kí hiệu V. Là chất dính kết hữu cơ được chế tạo bằng cách lưu hóa cao su đã được làm mềm bằng benzen với lưu huỳnh. Bao gồm 70% cao su và 30% lưu huỳnh.

Đá mài chế tạo bằng chất dính kết Vuncanit có độ bền mòn cao, thường dùng làm đá dẫn của các máy mài vô tâm. Đá mài Vuncanit cho phép dùng với tốc độ rất cao có thể tới 75m/s. Thường dùng để cắt đứt, mài rãnh, mài rãnh then, mài định hình chính xác lần cuối. Nhược điểm của đá mài Vuncanit là độ xốp thấp, chịu nhiệt kém. Ở nhiệt độ 150<sup>0</sup>C đá bắt đầu bị mềm. Khi nhiệt độ lớn hơn 200<sup>0</sup>C đá dễ bị cháy. Vì vậy khi cắt, bắt buộc phải tưới dung dịch trơn nguội không có kiềm tính.

\* Độ cứng của đá mài:

Là khả năng chống lại quá trình bứt hạt hạt mài ra khỏi bề mặt của đá dưới tác dụng của ngoại lực. Theo các tài liệu khuyên dùng thì khi mài vật liệu cứng nên chọn đá mềm và ngược lại khi mài vật liệu mềm nên chọn đá cứng.

Ký hiệu độ cứng của đá mài:

M: Mềm với các cấp M1, M2, M3

CM: Mềm trung bình với các cấp CM1, CM2

C: Trung bình với các cấp C1, C2

CT: Cứng trung bình với các cấp CT1, CT2, CT3

T: Cứng với các cấp T1, T2

BT: Rất cứng với các cấp BT1, BT2

Số thứ tự sau ký hiệu càng lớn thì độ cứng đá càng cao. Để xác định độ cứng đá người ta sử dụng phương pháp phun cát, ép bi cầu vào bề mặt hoặc khoan lỗ.

\* Cỡ hạt của đá mài:

Cỡ hạt còn gọi là độ hạt được biểu thị bằng kích thước thực tế của hạt mài. Tính năng cắt của đá mài phụ thuộc vào kính thước của hạt. Khi mài thô, dùng hạt mài có kích thước lớn. Khi mài tinh dùng cỡ hạt nhỏ. Khi gia công vật liệu mềm và dẻo, để giảm hiện tượng nhét phoi vào lỗ của bề mặt đã mài, nên dùng cỡ hạt nhỏ.

Hạt mài được chia làm 4 nhóm thể hiện như trong bảng 1.

*Bảng 1. Bảng cỡ hạt đá mài*

Nhóm độ hạt	Độ hạt	Phương pháp phân loại
Hạt mài	200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32,25, 20,	Sàng
Bột mài	16	Sàng
Bột mài mịn	12, 10, 8, 6, 5, 4, 3	Lắng đọng
Bột mài rất mịn	M63, M50, M40, M28, M20, M14 M10, M7, M5, M3, M1	Lắng đọng

Kích thước thực các cỡ hạt của hạt mài và bột mài được nhân với 0,01mm, của bột mài mịn và bột mài cực mịn được nhân với 0,001mm.

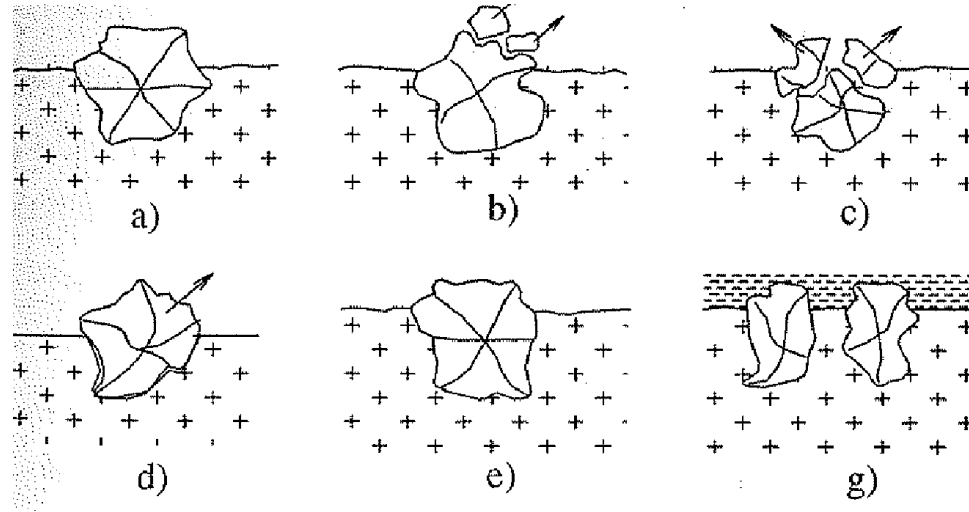
## **1.5. Mòn và tuổi bền của đá mài**

### **1.5.1. Mòn của đá mài**

Mòn là quá trình làm thay đổi kích thước, hình dạng và khả năng cắt của đá. Quá trình mòn đá mài là một quá trình cơ, lý, hóa rất phức tạp. Nó phụ thuộc vào các thông số của đá, topography của đá, cơ lý tính của vật liệu gia công, chế độ công nghệ khi mài ... [13].

Mòn của đá mài ảnh hưởng lớn đến nhiệt cắt, lực cắt khi mài và dẫn đến ảnh hưởng lớn đến năng suất, chất lượng gia công. Các dạng mòn cơ bản khi mài bao gồm (*Hình 5*) [13]:

- Mài mòn đỉnh các hạt mài, tạo ra các diện tích mòn trên bề mặt hạt mài (*H5a*);
- Phá hủy tế vi hạt mài, làm các phần nhỏ của hạt mài tách khỏi hạt mài (*H5b*);
- Hạt mài bị phá hủy; hạt bị vỡ thành các mảng lớn và bật ra khỏi bề mặt làm việc của đá (*Hình 5c*);
- Hạt mài bị bật khỏi bề mặt làm việc của đá (*Hình 5d*);
- Hạt mài bị phá hủy do phản ứng hóa học ở vùng tiếp xúc giữa hạt mài và chi tiết gia công ở nhiệt độ cao (mòn do khuếch tán hoặc do dính) (*Hình 5e*);
- Mòn do phoi bị chèn ép vào khoảng không giữa các hạt làm mất khả năng cắt của đá (*Hình 5g*).



Hình 5. Các dạng mòn của đá mài [2]

Các dạng mòn trên xuất hiện đồng thời trong quá trình mài. Tuy nhiên, tùy theo điều kiện gia công mà sẽ có những dạng xuất hiện nổi trội [2].

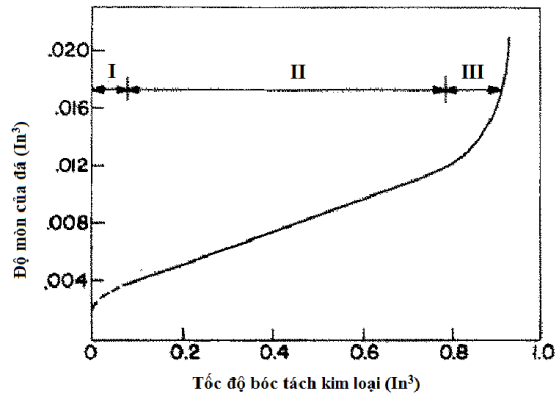
Quá trình mòn của đá mài chia làm 3 giai đoạn (Hình 6) [10]:

- Giai đoạn I: Giai đoạn mòn ban đầu. Trong giai đoạn này, thời gian mòn nhỏ nhưng độ mòn lớn. Nguyên nhân là do sau khi sửa đá các hạt mài có đỉnh sắc nhọn và nhiều hạt không bám chặt vào chất dính kết. Các hạt mài này sẽ bị mài mòn đỉnh nhọn nhanh chóng hoặc bị bật khỏi đá mài.

- Giai đoạn II: giai đoạn mòn ổn định (còn gọi là mòn bình thường). Thời gian làm việc của đá được tính trong giai đoạn này. Độ mòn của đá trong giai đoạn này chủ yếu phụ thuộc vào tải trọng cơ nhiệt.

- Giai đoạn III: Giai đoạn mòn khốc liệt. Khi này, các hạt đá mài đã bị mài mất các cạnh sắc và các lỗ rỗng trên bề mặt đá mài bị phoi và các sản phẩm của quá trình mòn lấp đầy. Đá mất khả năng cắt. Vì vậy, đến giai đoạn này cần tiến hành sửa đá.





Hình 6. Quá trình mòn của đá [2]

### 1.5.2. Tuổi bền của đá mài

Tuổi bền của đá mài là khoảng thời gian làm việc liên tục của đá giữa hai lần sửa đá. Tuổi bền của đá là một chỉ tiêu kinh tế – kỹ thuật rất quan trọng. Để xác định tuổi bền của đá, có thể dùng các chỉ tiêu đánh giá sau [2]:

- *Kinh nghiệm của người thợ*: Theo phương pháp này, thời điểm sửa đá được quyết định bởi người thợ mài dựa trên đánh giá chủ quan và kinh nghiệm của họ khi quan sát các hiện tượng xảy ra khi mài (như âm thanh khi mài, các vết gia công, vết gợn, vết cháy trên bề mặt mài vv...). Phương pháp này không chính xác nhưng đơn giản, rẻ tiền nên thường dùng trong sản xuất đơn chiếc, loạt nhỏ.

- *Gia công các chi tiết thử nghiệm*: Nội dung của phương pháp này là: tiến hành gia công các chi tiết thử nghiệm và đo các thông số đánh giá chất lượng chi tiết như độ chính xác, độ nhám bề mặt ( $R_a$ ,  $R_z$ ) vv... Từ đó xác định tuổi bền của đá căn cứ vào giá trị cho phép của các thông số. Phương pháp này cho độ chính xác khá cao; việc thực hiện không quá phức tạp và tốn kém. Tuy nhiên, thời gian thực hiện khá lâu.

- *Thông qua lực hướng kính  $P_y$  hoặc lực tiếp tuyến  $P_z$* : thời điểm sửa đá sẽ được xác định dựa trên sự tăng của lực  $P_y$  hoặc  $P_z$  khi đá mòn. Phương pháp này cho kết quả khá chính xác. Tuy nhiên nó đòi hỏi chi phí cao và việc xây dựng quan hệ giữa lực  $P_y$  hoặc  $P_z$  với các thông số khi mài khá phức tạp.

- *Thông qua năng suất cắt khi mài:* theo phương pháp này, thời điểm sửa đá sẽ được quyết định bởi năng suất giới hạn khi mài (tốc độ bóc kim loại giới hạn).
- *Thông qua nhiệt cắt khi mài:* theo phương pháp này, thời điểm sửa đá sẽ được quyết định khi theo dõi sự tăng lên của nhiệt cắt khi mài. Phương pháp này cho kết quả khá chính xác. Tuy nhiên nó khá phức tạp và đòi hỏi chi phí cao.
- *Thông qua chỉ tiêu rung động trong quá trình cắt:* theo phương pháp này cần phải đo rung động của hệ thống công nghệ theo phương lực  $P_y$  và quyết định thời điểm sửa đá dựa trên ảnh hưởng (tăng) đến rung động do đá mòn.

## 1.6. Topography đá mài

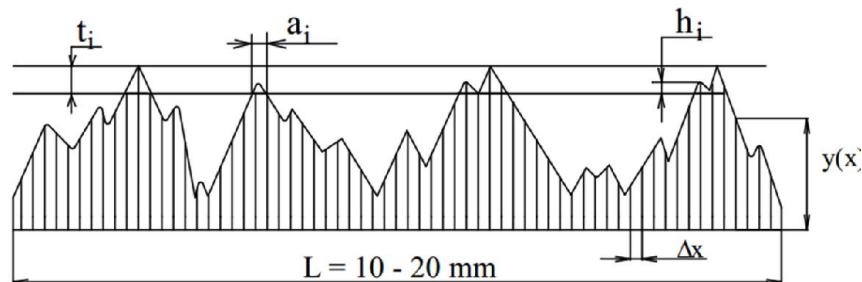
### 1.6.1. Định nghĩa, tính chất topography đá mài

Tập hợp tất cả các lồi lõm trên bề mặt đá gọi là Topography của đá (*hình 7*).

Topography phụ thuộc vào các thông số đặc trưng của đá mài như độ cứng, độ hạt, cấu trúc, vật liệu hạt mài, vật liệu kết dính...

Topography phụ thuộc và điều kiện và chế độ công nghệ sửa đá.

Topography luôn biến đổi trong quá trình mài. Sự biến đổi của Topography phụ thuộc vào dạng Topography khởi thủy đạt được sau khi sửa đá, vào tải trọng cơ nhiệt tác động trên hạt mài, trên chất dính kết, có nghĩa là phụ thuộc vào chế độ công nghệ khi mài.



Hình 7. Biên dạng bề mặt đá mài [2]

Topography ảnh hưởng quyết định đến khả năng cắt, đến độ mòn và tuổi bền của đá mài, đến chất lượng bề mặt gia công.v.v...

### ***1.6.2. Ý nghĩa của topography đá mài***

Topography của đá đặc trưng cho cấu trúc hình học tế vi của bề mặt đá mài. Đặc điểm hình học của dụng cụ mài phức tạp hơn rất nhiều so với dụng cụ cắt có lưỡi cắt xác định. Dụng cụ mài có số lưỡi cắt rất lớn, các hạt mài có hình dạng khác nhau, các thông số hình học của các lưỡi cắt khác nhau và thường không hợp lý, các hạt mài phân bố ngẫu nhiên trong đá mài v.v... Tất cả các điều đó làm cho quá trình nghiên cứu đánh giá Topography gặp rất nhiều khó khăn.

Topography của đá ảnh hưởng trực tiếp đến tính chất tiếp xúc giữa bề mặt làm việc của đá và bề mặt chi tiết gia công nên nó ảnh hưởng rất lớn đến tính năng cắt gọt, độ mòn và tuổi bền của đá mài.

Bởi vậy, khi các điều kiện công nghệ khác đã xác định thì việc nghiên cứu để tạo ra được Topography của đá thích hợp có ý nghĩa kinh tế - kỹ thuật rất lớn để cải thiện tính cắt gọt, mở rộng khả năng gia công của đá mài, nâng cao năng suất, độ chính xác gia công, cơ lý tính lớp bề mặt chi tiết gia công và nâng cao tuổi bền của đá mài .

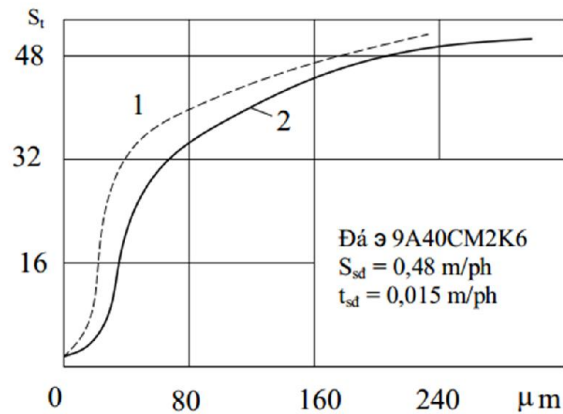
### ***1.6.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến topography đá mài***

#### **a. Ảnh hưởng của các thông số đặc trưng của đá mài đến topography đá**

Các thông số đặc trưng của đá mài như: Vật liệu hạt, độ hạt, vật liệu chất dính kết, độ cứng của đá, cấp cấu trúc đều ảnh hưởng đến Topography của đá.

#### **b. Ảnh hưởng của dụng cụ sửa đá đến topography đá**

Dụng cụ sửa đá ảnh hưởng đến mật độ lưỡi cắt, đến chiều cao biên dạng đá  $h_a$ , đến quy luật phân bố lưỡi cắt theo chiều cao biên dạng v.v... Sự thay đổi số lưỡi cắt trên bề mặt làm việc của đá theo chiều cao biên dạng  $h_a$  phụ thuộc vào dụng cụ sửa đá được giới thiệu ở (hình 8).



Hình 8. Ảnh hưởng của dụng cụ sửa đá đến chiều cao biên dạng  $h_a$

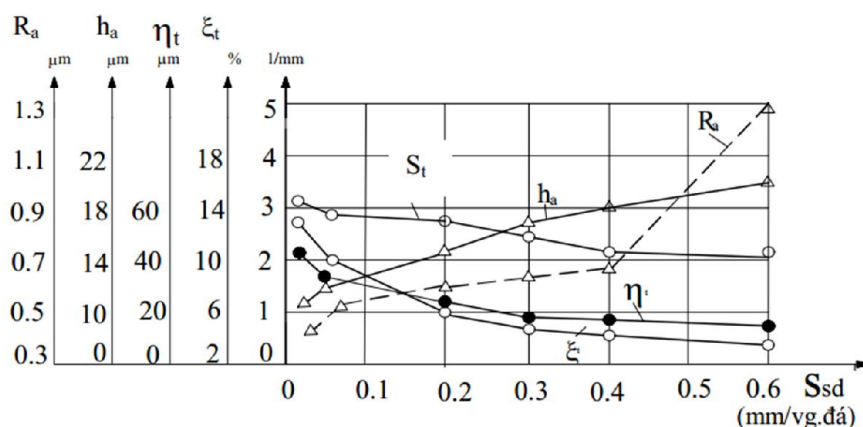
- Đường 1- sửa đá bằng con lăn hợp kim cứng.
- Đường 2- sửa đá bằng bút chì kim cương.[2]

Từ đồ thị ta thấy ảnh hưởng của dụng cụ sửa đến số lượng lưỡi cắt lớn nhất ở chiều sâu 20 đến 60  $\mu\text{m}$ , nghĩa là chiều sâu có tính khả ước với chiều sâu mài.

Ngoài ra dụng cụ sửa đá còn ảnh hưởng đến việc tạo góc sắc, tạo bán kính  $\rho$  và diện tích mòn trên bề mặt đá .

### c. Ảnh hưởng của chế độ công nghệ sửa đá đến topography đá

- Ảnh hưởng của  $S_{sd}$  đến Topography của đá đánh giá qua các chỉ tiêu và qua nhấp nhô tế vi bề mặt chi tiết được chỉ ra trên hình 9: Quá trình mài thép 45 đã tôi



Hình 9. Ảnh hưởng của  $S_{sd}$  sửa đá đến topography đá [2, 10]

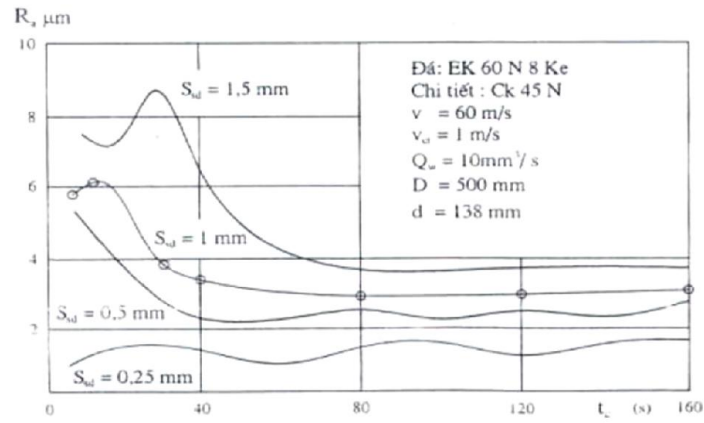
Kết quả nghiên cứu chỉ rõ: khi giảm  $S_{sd}$  sẽ làm tăng mật độ lưới cắt tĩnh  $S_t$  và làm giảm độ nhọn sắc của lưới cắt. Chỉ tiêu làm cùn  $\eta_t$  tăng lên, độ cao ha của các lưới cắt giảm xuống. Những thay đổi đó sẽ làm cho bề mặt đá bằng phẳng hơn. Với chiều cao nhấp nhô bề mặt đá nhỏ do đó chiều cao nhấp nhô tế vi bề mặt chi tiết gia công Ra giảm so với khi sửa với  $S_{sd}$  lớn. Khi  $S_{sd}$  nhỏ thì chỉ tiêu làm cùn  $\eta_t$  sẽ tăng lên nên nó sẽ làm giảm khả năng cắt của đá [2-3] .v.v....

- Ảnh hưởng của chiều sâu sửa đá  $t_{sd}$  : Khi tăng chiều sâu  $t_{sd}$  sẽ làm tăng chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài, tăng chiều cao ban đầu. Tăng lực pháp tuyến khi sửa đá và làm tăng hiệu ứng nhiệt khi sửa đá do đó sẽ làm tăng sai lệch hình dạng bề mặt đá.

- Ảnh hưởng của vận tốc cắt khi sửa đá: Vận tốc cắt khi sửa đá ảnh hưởng tới Topography thông qua thời gian tiếp xúc và năng lượng va đập giữa hạt mài và hạt kim cương. Thời gian tiếp xúc và va đập sẽ ảnh hưởng đến quá trình “vỡ” của các hạt mài và sự “bung ra” của các hạt mài khỏi chất dính kết. Khi  $V_c$  lớn ( $> 25\text{m/s}$ ) thời gian “tiếp xúc” giữa hạt mài và hạt kim cương nhỏ, xung va đập lớn nên các hạt mài dễ bị vỡ thành nhiều mảnh nhỏ. Mảnh lớn nhất vẫn được giữ lại trên bề mặt đá, trên mảnh đó hình thành nhiều lưới cắt; các hạt mài “ít” bị bật ra khỏi chất dính kết. Khi giảm  $V_c$  thì quá trình sẽ ngược lại. Ngoài ra các yếu tố khác như độ cứng vững của HTCN, sự gá đặt dụng cụ sửa đá trên máy, rung động của HTCN đều ảnh hưởng đến Topography của đá và ảnh hưởng đến độ mòn và tuổi bền của dụng cụ sửa đá.

#### ***1.6.4. Ảnh hưởng của topography đá đến độ nhấp nhô tế vi bề mặt***

Khi tăng hệ số trùng khớp  $U_d$  (sửa đá tinh) thì nhấp nhô bề mặt đá giảm (*hình 10*). Nguyên nhân: Khi sửa đá tinh, mật độ lưới cắt động tăng, chiều cao biên dạng đá giảm nên chiều cao nhấp nhô Ra giảm.



Hình 10. Ảnh hưởng của chế độ sửa đá đến độ nhám nhỏ tế vi bề mặt  $R_a$  [2]

## CHƯƠNG 2. ẢNH HƯỞNG CỦA CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ TỚI QUÁ TRÌNH MÀI

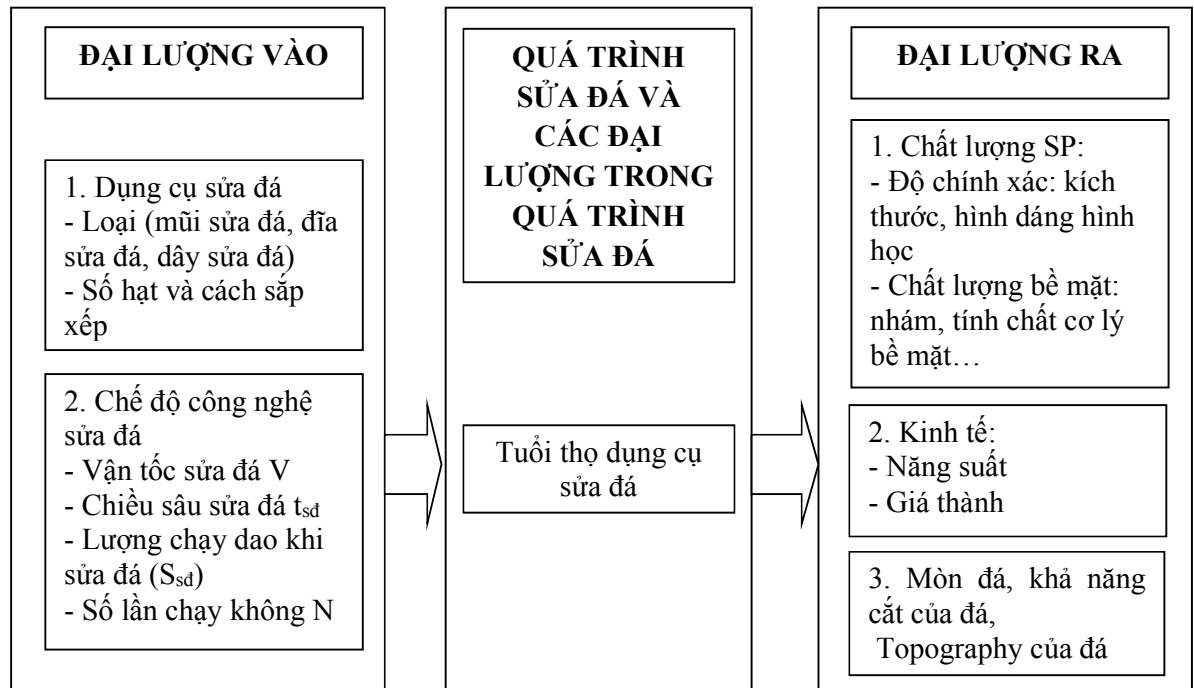
### 2.1. Giới thiệu về sửa đá khi mài

Quá trình sửa đá khi mài gồm 2 giai đoạn: tạo biên dạng và làm sắc [13]..

+ Làm sắc (dressing) là quá trình tạo khả năng cắt cho đá mài. Quá trình này gồm: hạ thấp độ cao của chất dính kết trên chiều cao biên dạng đá để tạo không gian chứa phoi và làm cho các hạt mài nhô ra khỏi chất dính kết và tạo các lưỡi cắt trên các hạt mài

+ Tạo biên dạng (truing) là quá trình tạo cho đá mài tròn và đồng tâm với trục quay của đá. Tạo biên dạng cũng là quá trình tạo hình cụ thể trên bề mặt của đá phù hợp với chi tiết gia công.

Mô hình quá trình sửa đá với phương pháp sửa đá tiếp xúc được thể hiện trên hình 11.



Hình 11. Mô hình quá trình sửa đá với phương pháp sửa đá tiếp xúc [2]

## 2.2. Các phương pháp sửa đá và các dụng cụ sửa đá

Có nhiều phương pháp sửa đá với dụng cụ sửa đá khác nhau như: sửa đá bằng dụng cụ sửa đá kim cương, sửa đá bằng chùm tia nước hạt mài [24, 25], sửa đá bằng laser [23] và nhiều tác giả khác. Với các đá mài truyền thống (đá SiC hoặc Corindon) nhất là đá mài lỗ (có kích thước nhỏ), thường sửa đá bằng dụng cụ sửa đá tĩnh với dụng cụ sửa đá kim cương một hạt hoặc nhiều hạt [10]. Phương pháp sửa đá bằng dụng cụ sửa đá tĩnh có nguyên lý giống như phương pháp tiện. Ở đây, dụng cụ sửa đá đóng vai trò dao tiện, còn đá mài đóng vai trò phôi. Phương pháp sửa đá này hay dùng vì nó đơn giản, độ tin cậy cao, năng suất và chất lượng bề mặt sửa đá tốt.

Dụng cụ sửa đá kim cương được phân ra: loại một hạt và loại nhiều hạt: Dụng cụ sửa đá kim cương một hạt có góc ở đỉnh hạt kim cương thường là  $60^{\circ}$  hoặc  $90^{\circ}$ . Loại này thường để sửa và tạo biên dạng định hình cho đá (*hình 12a*). Dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt (*Hình 12b*) là loại dùng phổ biến và kinh tế nhất để sửa đá có biên dạng thẳng.



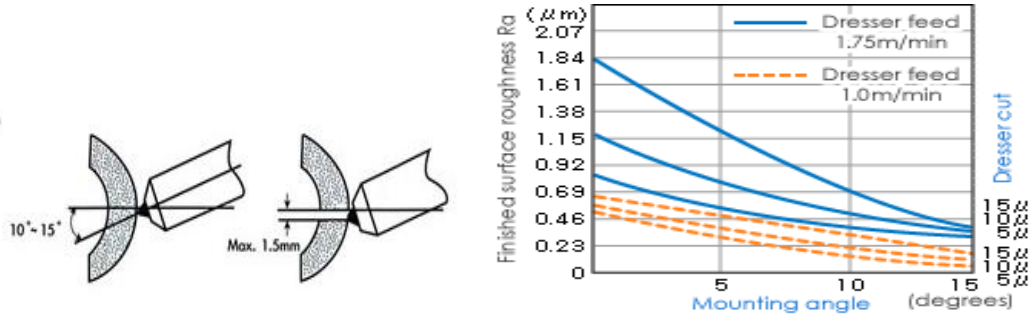
a)

b)

Hình 12. Dụng cụ sửa đá kim cương [10]

a. Dụng cụ sửa đá kim cương một hạt; b. Dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt



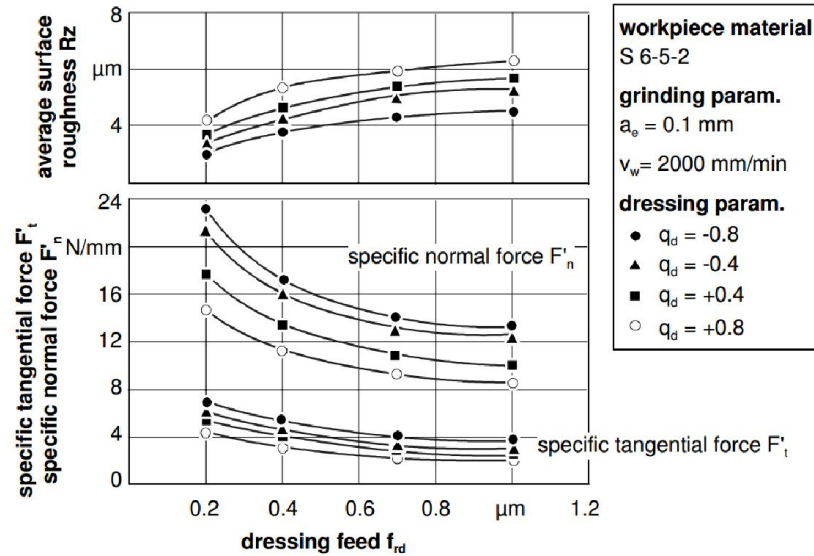


Hình 13. Cách gá mũi sửa đá kim cương một hạt [21, 29]

Trong tài liệu này nêu rõ, với mũi sửa kim cương một hạt, khi sửa cần gá nghiêng mũi sửa một góc 15° để đạt được hiệu quả tốt nhất (Hình 13).

### 2.3. Chế độ công nghệ sửa đá.

Cho đến nay, đã có khá nhiều nghiên cứu về sửa đá khi mài. Việc ứng dụng các kỹ thuật tiên tiến để khảo sát trực tiếp khả năng cắt cũng như độ mòn của đá đã được nghiên cứu trong [6]. Độ mòn của đá cũng như chế độ sửa đá tối ưu cũng đã được đề cập đến trong [7]. Nghiên cứu về tối ưu hóa các thông số của quá trình sửa đá để giảm lực cắt quá trình mài nhằm đạt độ nhám bề mặt theo yêu cầu đã được thực hiện cho đá mài Oxit nhôm, vật liệu chi tiết là SPK 12080 qua tôi [11]. Đánh giá tuổi bền của đá mài thông qua tỉ số mài và lực cắt khi mài cũng đã được khảo sát trong [14]. So sánh hiệu quả của sửa đá mài bằng dụng cụ sửa đá kim cương với sửa đá bằng laser đã được thực hiện trong [23] khi mài vật liệu 100Cr6 qua tôi bằng đá mài SiC.



Hình 14. Ảnh hưởng của lượng chạy dao khi sửa đá đến lực mài và độ nhám bề mặt khi mài [13]

Fritz Klocke [13] đã khảo sát ảnh hưởng của lượng chạy dao khi sửa đá đến lực mài và độ nhám bề mặt khi mài khi sửa đá bằng bánh xe sửa đá (như thể hiện trên hình 14). Khi lượng ăn dao khi sửa đá tăng thì độ nhám bề mặt chi tiết mài tăng và lực cắt khi mài giảm. Do vậy, với mỗi yêu cầu về độ nhám bề mặt sẽ có một giá trị giới hạn về lượng ăn dao khi sửa đá mài.

Các tác giả trong nước cũng đã có nhiều nghiên cứu về lĩnh vực sửa đá mài. Ảnh hưởng của chế độ và công nghệ sửa đá đến chất lượng chi tiết gia công cũng đã được chỉ ra trong nhiều nghiên cứu [19, 21, 28]. Phương pháp đánh giá Topography của đá mài đã được phân tích [29] và Topography của đá có thể đánh giá một cách gián tiếp như thông qua lực cắt, rung động trong quá trình mài [21] hoặc đo bằng cảm biến khoảng cách laser [4]. Thêm vào đó, chế độ sửa đá tối ưu cũng đã được chỉ ra trong [29].

Chế độ công nghệ sửa đá khi mài tròn ngoài cũng đã được đề cập đến trong nhiều tài liệu. Milton C. Shaw [20] đã hướng dẫn chế độ công nghệ sửa đá khi mài ngoài như sau: Sửa thô: 2-3 lần với chiều sâu sửa đá  $T_{sd} = 0,025 \text{ mm/htđ}$ ; lượng chạy dao dọc  $S_{sd} = 0,25 \text{ mm/vòng}$ ; Sửa tinh: 2-3 lần với  $T_{sd} = 0,005 \text{ mm/htđ}$ ; lượng chạy dao dọc  $S_{sd} = 0,05 \text{ mm/vòng}$ .

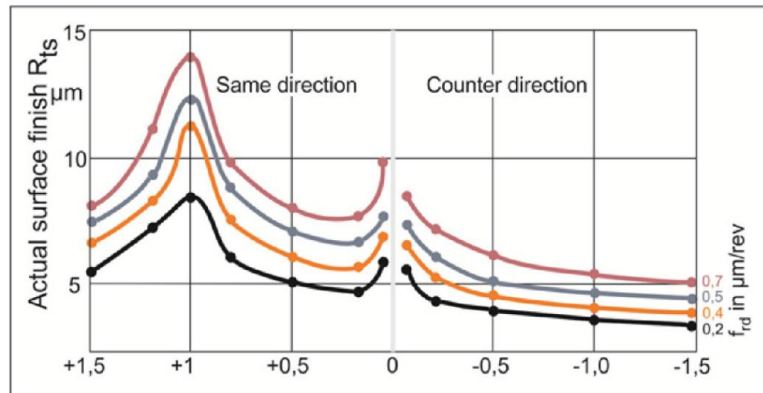
Sửa đá khi mài tròn ngoài nhằm đạt độ nhám bề mặt  $Ra=0,32-1,25$  ( $\mu\text{m}$ ) được đề xuất trong [22] với chế độ công nghệ như sau: lượng chạy dao dọc  $S_d=0,4$  (m/ph); sửa 4 lần với chiều sâu sửa đá  $t_{sd}=0,03$  mm/htđ và chạy không ăn dao 4 lần.

S. Malkin đã đưa ra chế độ sửa đá với dụng cụ sửa đá kim cương như sau [19]: Khi dùng mũi sửa kim cương một hạt:  $S_{sd}<0,2$  mm/vòng;  $0,01 \leq T_{sd} \leq 0,03$  (mm). Với mũi sửa kim cương nhiều hạt:  $S_{sd}<0,5$  mm/vòng;  $0,01 \leq T_{sd} \leq 0,05$  (mm).

Trần Minh Đức [2] đã tiến hành nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của chế độ công nghệ sửa đá đến topography và tuổi bền của đá khi mài ngoài thép 45 thường hóa. Nghiên cứu này chỉ rõ, với chi tiết gia công thép 45 nhiệt luyện nên chọn lượng chạy dao dọc  $S_d$  và chiều sâu sửa đá  $t_{sd}$  nhỏ. Ngược lại, khi mài thép 45 thường hóa thì các giá trị này nên chọn lớn hơn.

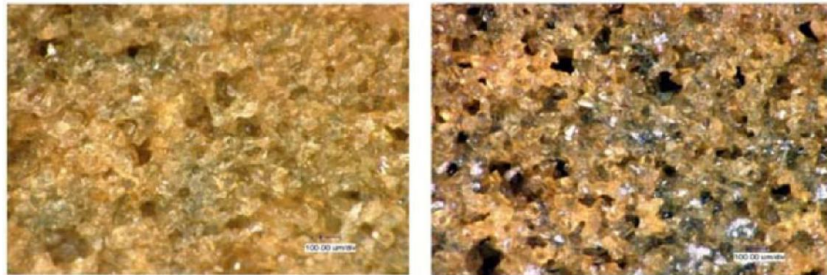
Ảnh hưởng lượng chạy dao dọc, chiều sâu sửa đá và góc gá mũi sửa đá đến độ nhám bề mặt chi tiết khi mài tròn ngoài sửa đá bằng mũi sửa kim cương một hạt (Hình 2.8) đã được chỉ ra trong [21].

Trong [8], đá mài lỗ được sửa bằng đĩa sửa đá quay. Nghiên cứu kết luận rằng, ảnh hưởng của tỷ số sửa đá  $U_d$  tuân theo đúng như biểu đồ Schmitt như hình 15 [8].



Hình 15. Biểu đồ Schmitt mô tả ảnh hưởng của tốc độ bóc tách và lượng tiến dao khi mài lỗ đến nhám bề mặt [8]

Sở dĩ, đá mài suy giảm khả năng cắt, lực mài tăng, trị số độ nhám chi tiết gia công tăng sau một thời gian mài là do phoi bám vào đá mài, gây bịt khoảng trống giữa các hạt mài (hình 16). Trong [8], tác giả cũng nhận xét và đánh giá cao việc phải có giai đoạn chạy không ăn dao khi sửa đá (spark – out). Quá trình này làm cùn bớt cạnh sắc của đá mài sau khi sửa. Điều đó giúp tăng tuổi bền của đá.



Hình 16. Ảnh bề mặt của đá mài CBN trước (phải) và sau (trái) sửa đá [8]

Thêm vào đó, lượng chạy dao khi sửa đá phụ thuộc vào số vòng quay của đá mài trong một phút và cỡ hạt của đá mài. Công ty Norton đưa ra hướng dẫn chế độ công nghệ sửa đá khi mài ngoài khi dùng dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt như trong bảng 2 [23].

Bảng 2. Chế độ sửa đá khi sử dụng đầu sửa đá kim cương nhiều hạt [23]

nhám bề mặt	$S_{sd}$	Chiều sâu sửa đá (mm/htđ)				Số hành trình không ăn dao
		Khi sửa thô		Khi sửa tinh		
Ra ( $\mu\text{m}$ )	(mm/ph)	Chiều sâu	Số hành trình	Chiều sâu	Số hành trình	
0,8	0,3-0,4			0,01		
0,4	0,2-0,3	0,02-0,03	2-3 lần	0,01	1-2 lần	1-2 lần
0,2	0,1-0,2			0,01		
0,1	0,05-0,1			0,005		

Bảng 3. Chế độ sửa đá với đầu sửa đá kim cương của Winter [29]

Độ hạt của đá	Tsd (mm/v)	Tốc độ đá mài (v/ph)									
		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
150	0,005	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
100	0,15	75	150	225	300	375	420	525	600	675	750
60	0,25	125	250	375	500	625	750	875	1000	1125	1250
46	0,35	175	350	525	700	875	1050	1225	1400	1575	1750
<46	0,45	225	450	675	900	1125	1350	1575	1800	2025	2250
Lượng chạy dao khi sửa đá (mm/ph)											

Trong chế độ này, cả lượng chạy dao dọc của dụng cụ sửa đá  $S_{sd}$  và chiều sâu sửa đá  $S_{sd}$  đều phụ thuộc vào độ nhám yêu cầu của bề mặt gia công.

Công ty Winter cũng giới thiệu chế độ công nghệ khi sửa đá bằng dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt cho trường hợp mài ngoài [29]. Trong chế độ này, lượng chạy dao dọc của dụng cụ sửa đá  $S_{sd}$  phụ thuộc vào độ hạt của đá và tốc độ đá mài (v/ph). Chiều sâu sửa đá  $S_{sd}$  cũng phụ thuộc vào độ hạt của đá (bảng 3).

Haepman M.C. [6] đề xuất chế độ công nghệ sửa đá cho mài tròn ngoài chạy dao dọc khi dùng dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt nhằm đạt độ nhám bề mặt gia công. Theo tác giả, chế độ công nghệ sửa đá được phân ra sửa thô (2-3 lần), sửa đá tinh (1-2 lần) và chạy không ăn dao (1-2 lần).

## 2.5. Kết luận chương 2

Từ các thống kê nói trên, có thể nói cho đến nay đã có khá nhiều nghiên cứu về tuổi bền của đá, về topography của đá và các thông số ảnh hưởng đến nó, về tối ưu hóa các thông số công nghệ sửa đá của một số loại đá và vật liệu gia công cụ thể vv... Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu nào về chế độ sửa đá tối ưu hay hợp lý khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi. Chính vì vậy, **“Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến năng suất và độ nhám bề mặt khi mài lỗ nhỏ vật liệu 9XC qua tôi”** là rất cần thiết.

Với đá mài lỗ có đường kính nhỏ thì dụng cụ sửa đá kim cương được sử dụng là chủ yếu.

Khi sửa đá nên gá ngang tâm và nghiêng một góc  $15^{\circ}$

Chế độ công nghệ sửa đá bao gồm chiều sâu sửa đá, lượng chạy dao sửa đá, số lần chạy không và được chia thành bước sửa đá thô, sửa đá tinh được áp dụng sẽ cho nhiều ưu điểm.

Trị số độ nhám bề mặt, năng suất bóc tách vật liệu được chọn là các chỉ tiêu đánh giá với tiêu chí trị số độ nhám Ra nhỏ nhất, năng suất bóc tách MRR lớn nhất.

### CHƯƠNG 3. THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ ĐẾN NHÁM BỀ MẶT, NĂNG SUẤT VÀ CHẾ ĐỘ SỬA ĐÁ HỢP LÝ KHI MÀI LỖ VẬT LIỆU 9XC QUA TÔI.

#### 3.1. Mục đích thí nghiệm

- Xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến trị số độ nhám bề mặt khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi.
- Đề xuất chế độ công nghệ sửa đá hợp lý khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi bằng đá mài nhằm đạt chất lượng bề mặt gia công tốt nhất.
- Đề xuất chế độ công nghệ sửa đá hợp lý khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi bằng đá mài nhằm đạt năng suất bóc tách tốt nhất.

#### 3.2. Chuẩn bị thí nghiệm

- Đá mài lỗ: Đá Nhật Bản: 19A 120 L 8 AS1 V S 1A size: 25x25x8 (sửa đá về kích thước (20x25x8))



Hình 17. Đá mài

- Dung dịch tưới nguội : Aquatex 3180 nồng độ 3,91%.
- Máy đo nhám bề mặt : Mitutoyo SV-3100



*Hình 18. Hình ảnh máy đo nhám Mitutoyo SV-3100 tại công ty FUTU 1*

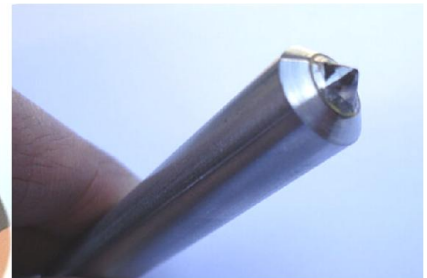
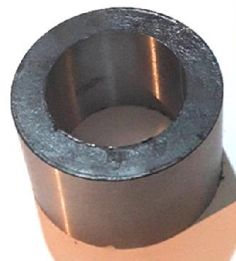
- Chi tiết gia công:

+ Vật liệu thép dụng cụ 9XC qua tôi (Độ cứng bề mặt 58-60 HRC). Bề mặt chi tiết yêu cầu độ nhám bề mặt thấp ( $4 \mu\text{m}$ ).

+ Kích thước phôi:  $\phi 25 \times \phi 36 \times 22$  (mm) (đường kính lỗ, đường kính ngoài, chiều dài)



*Hình 19. Phôi thép 9XC*



*Hình 20. Mũi sửa đá kim cương*

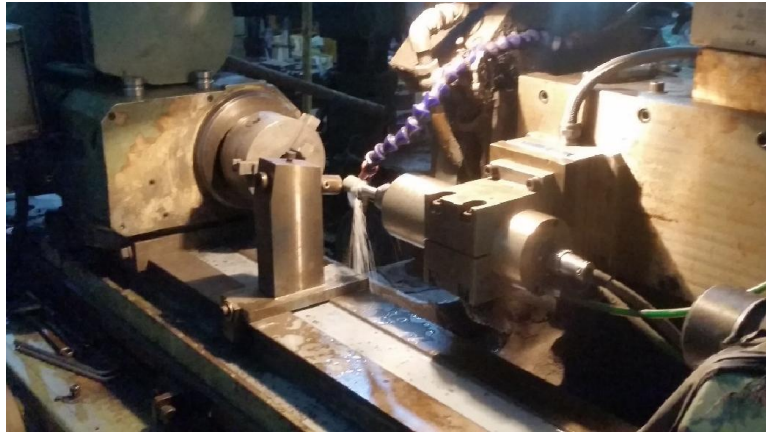
- Dụng cụ sửa đá: mũi sửa đá kim cương một hạt hãng NRT, ký hiệu DKB3E002110, kiểu 10, (Nhật Bản).

- Máy mài tròn Nhật Bản ký hiệu Minakuchi, có các thông số như sau:

+ Công suất động cơ trục chính: 2,2 KW

+ Số vòng quay trục chính tối đa: 24000v/p





*Hình 21. Sơ đồ sửa đá*

*Chế độ gia công*

- Tổng lượng dư gia công 0,1 mm
- Vận tốc phôi : 150 v/p
- Vận tốc đá : 12.000 v/p  $\approx$  12,56m/s
- Lượng chạy dao dọc: 1,2m/p
- Lượng chạy dao ngang: 0,0025mm/htk

*Chế độ sửa đá*

- Vận tốc đá khi sửa: 6000 v/p
- Đường kính đá:  $\Phi$ 20mm (sửa đá từ  $\Phi$ 25mm về  $\Phi$ 20mm)

### **3.3. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm**

Taguchi (Nhật bản) là người đặt nền móng cho phương pháp thiết kế thí nghiệm này, cũng là người đề ra phương pháp thực nghiệm mang tên ông. Các ma trận thí nghiệm được thiết kế dựa vào các ma trận trực giao cố định. Các thông số công nghệ đưa vào ma trận thí nghiệm với số lượng lớn (3÷50) và các mức có thể khác nhau (cả trị số và số lượng). Điều này cho phép xác định được ảnh hưởng của hầu hết các thông số đến giá trị trung bình của kết quả đầu ra với số lượng thí nghiệm nhỏ nhất, thời gian và chi phí ít nhất. Đồng thời xác định được các thông số ảnh hưởng mạnh nhất đến các kết quả đầu ra, từ đó đưa ra những thử nghiệm tiếp theo và loại bỏ những thông số có ảnh hưởng không đáng kể (ảnh hưởng yếu). Mục đích là điều chỉnh các thông số đến mức tối ưu để quá trình/sản phẩm ổn định ở mức chất

lượng tốt nhất. Do đó phương pháp này cho phép sử dụng tối thiểu các thí nghiệm cần thiết để để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số lên một đặc tính được lựa chọn nào đó của một quá trình/sản phẩm từ đó nhanh chóng điều chỉnh các thông số tiến đến tối ưu nhanh nhất.

Tác giả sử dụng sơ đồ thí nghiệm thiết kế theo phương pháp Taguchi để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số chế độ sửa đá (Chiều sâu sửa đá thô, số lần sửa đá thô, chiều sâu sửa đá tinh, số lần sửa đá tinh, số lần chạy không, lượng chạy dao dọc sửa đá) đến trị số độ nhám bề mặt chi tiết lỗ  $\phi 25$  vật liệu 9XC qua tôi.

*Bảng 4. Mức và các thông số đầu vào*

STT	Yếu tố	Ký hiệu	Mức của yếu tố					
			Mức 1	Mức 2	Mức 3	Mức 4	Mức 5	Mức 6
1	Số lần chạy không ăn dao	CK	0	1	2	3	4	5
2	Chiều sâu sửa đá thô (mm)	T <sub>thô</sub>	0.02	0.025	0.03	-	-	-
3	Số lần sửa thô	N <sub>thô</sub>	1	2	3	-	-	-
4	Chiều sâu sửa đá tinh (mm)	T <sub>tinh</sub>	0.005	0.01	0.015	-	-	-
5	Số lần sửa đá tinh	N <sub>tinh</sub>	1	2	3	-	-	-
6	Lượng chạy dao sửa đá (m/p)	S <sub>sđ</sub>	1	1.2	1.4	-	-	-

*Bảng 5. Sơ đồ thí nghiệm theo thiết kế Taguchi L18*

<b>Chế độ</b>	<b>CK</b>	<b>T<sub>thô</sub></b>	<b>N<sub>thô</sub></b>	<b>T<sub>tinh</sub></b>	<b>N<sub>tinh</sub></b>	<b>S<sub>sđ</sub></b>
1	0	0.02	1	0.005	1	1
2	0	0.025	2	0.01	2	1.2
3	0	0.03	3	0.015	3	1.4
4	1	0.02	1	0.01	2	1.4
5	1	0.025	2	0.015	3	1
6	1	0.03	3	0.005	1	1.2
7	2	0.02	2	0.005	3	1.2
8	2	0.025	3	0.01	1	1.4
9	2	0.03	1	0.015	2	1
10	3	0.02	3	0.015	2	1.2
11	3	0.025	1	0.005	3	1.4
12	3	0.03	2	0.01	1	1
13	4	0.02	2	0.015	1	1.4
14	4	0.025	3	0.005	2	1
15	4	0.03	1	0.01	3	1.2
16	5	0.02	3	0.01	3	1
17	5	0.025	1	0.015	1	1.2
18	5	0.03	2	0.005	2	1.4

Sử dụng Minitab 17 để thiết kế Taguchi L18 (1 biến 6 mức và 5 biến 3 mức), sơ đồ thí nghiệm như bảng 5.

Dựa vào bảng trên, tác giả tiến hành 18 thí nghiệm với 18 chế độ sửa đá khác nhau. Để tăng độ chính xác của thực nghiệm, tiến hành lặp 3 lần với mỗi chế độ sửa đá.

Phương pháp Taguchi sử dụng tỷ số tín hiệu/nhiều (signal-to-noise) S/N  
Tỷ số S/N: Thí nghiệm có giá trị tỷ số S/N cao nhất sẽ cho kết quả tối ưu ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhất. Tỷ số S/N dùng để xác định mức cho kết quả đầu ra tối ưu. Tỷ số S/N của các kết quả đầu ra được xác định như sau.

- Phân tích bài toán: Trong quá trình tối ưu hóa bài toán tĩnh ta có thể sử dụng 3 hệ số (S/N) tương ứng với các trường hợp sau:

+ *Nhỏ hơn là tốt hơn*

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [\text{MSD}]$$

MSD – Tổng bình phương trung bình của các giá trị đo.

$$MSD = \frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}$$

Công thức trên thường được sử dụng trong các trường hợp xuất hiện các hiện tượng không mong như: các khuyết tật, sai số... mà trị số lí tưởng là bằng không. Ngoài ra khi giá trị lí tưởng là một trị số hữu hạn và một giá trị lớn nhất hoặc nhỏ nhất được xác định bởi k, tiếp theo sự khác nhau giữa giá trị đo và giá trị lí tưởng dự kiến sẽ càng nhỏ càng tốt. Và hệ số S/N sẽ trở thành:

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [\text{MSD}]$$

$$MSD = \frac{(y_1 - k)^2 + (y_2 - k)^2 + \dots + (y_n - k)^2}{n}$$

+ *Lớn hơn là tốt hơn:*

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [\text{MSD}]$$

MSD – Tổng nghịch đảo bình phương trung bình của các giá trị đo.

$$MSD = \frac{\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots + \frac{1}{y_n^2}}{n}$$

+ *Giá trị danh nghĩa là tốt nhất:*

$$S/N = -10 \text{Log}_{10} [\text{MSD}]$$

$$MSD = \frac{(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2}{n}$$

m – Giá trị mục tiêu.

Trong mọi trường hợp, tỷ số S/N càng lớn thì đặc tính nhận được càng tốt. Phương pháp thực nghiệm Taguchi do không sử dụng toàn bộ các tổ hợp thí nghiệm nên không đưa ra được một con số chính xác về ảnh hưởng của một thông số đầu vào nào đó đến kết quả đầu ra mà chỉ mang tính chất định hướng. Mặc dù vậy, bằng việc đánh giá qua tỷ số S/N giúp những nhà công nghệ biết xu hướng và mức độ ảnh hưởng của từng thông số công nghệ đến kết quả đầu ra. Từ các nhận biết này sẽ giúp các nhà nghiên cứu nhanh chóng tìm ra các thông số công nghệ và phạm vi cần tác động để nhận được hiệu quả đầu ra tốt nhất. Trên cơ sở đánh giá ảnh hưởng riêng lẻ các thông số có thể tìm ra được tổ hợp các thông số công nghệ tối ưu cho kết quả đặc tính đầu ra mong muốn.

*Bảng 6. Đặc trưng đầu ra cho các thông số*

STT	Đặc trưng cho kết quả	Kiểu đặc trưng	Đơn vị
1	Trị số độ nhám bề mặt (Ra)	Thấp hơn là tốt hơn	$\mu\text{m}$
2	Năng suất bóc tách (MRR)	Cao hơn là tốt hơn	$\text{mm}^3/\text{phút}$

Trong nghiên cứu này, tỉ số S/N của đặc trưng nhám bề mặt (Ra) và năng suất bóc tách (MRR) là: lớn hơn thì tốt hơn

### 3.4. Tiến trình thí nghiệm

- Bước 1: Sửa đá với chế độ lấy trong bảng 5.
- Bước 2: Với mỗi chế độ sửa đá ở bảng 5, tiến hành mài chi tiết với lượng dư 0,2mm (đường kính)
- Bước 3: Tiến hành đo trị số độ nhám bề mặt và năng suất bóc tác ứng với từng chế độ sửa đá.

### 3.5. Kết quả đo thực nghiệm

Các kết quả thực nghiệm Ra và kết quả xử lý số liệu thể hiện ở bảng 7. Phần mềm Minitab 16 được sử dụng để phân tích dữ liệu theo quy hoạch thực nghiệm của Taguchi

### 3.6. Đánh giá kết quả thực nghiệm

#### 3.6.1. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến Ra.

Bảng 7. Kết quả trị số độ nhám Ra, MRR và tỉ số S/N của chi tiêu.

TT	Trị số độ nhám Ra ( $\mu\text{m}$ )					MRR ( $\text{mm}^3/\text{s}$ )				
	Lần 1	Lần 2	Lần 3	$\overline{Ra}$	S/N	Lần 1	Lần 2	Lần 3	$\overline{MRR}$	S/N
1	0.502	0.273	0.409	0.395	7.836	2.098	2.153	2.075	2.109	6.477
2	0.418	0.452	0.31	0.393	8.003	1.876	2.022	2.063	1.987	5.942
3	0.371	0.451	0.453	0.425	7.397	2.305	2.199	2.191	2.232	6.965
4	0.437	0.302	0.312	0.35	8.979	2.058	2.213	2.056	2.109	6.466
5	0.362	0.426	0.448	0.412	7.668	1.977	2.169	2.094	2.08	6.341
6	0.573	0.658	0.448	0.56	4.939	1.832	2.043	1.852	1.909	5.586
7	0.505	0.366	0.413	0.428	7.293	3.142	2.863	2.813	2.939	9.335
8	0.449	0.451	0.425	0.442	7.095	2.178	2.354	2.251	2.261	7.073
9	0.514	0.456	0.509	0.493	6.131	2.115	2.324	2.231	2.223	6.921
10	0.538	0.657	0.547	0.581	4.684	2.465	2.276	2.348	2.363	7.455
11	0.483	0.462	0.602	0.516	5.691	2.933	2.813	2.945	2.897	9.232
12	0.482	0.658	0.479	0.54	5.254	2.054	2.213	2.110	2.126	6.538
13	0.686	0.646	0.583	0.638	3.88	2.322	2.132	2.179	2.211	6.875
14	0.648	0.626	0.552	0.609	4.293	2.786	2.532	2.626	2.648	8.438
15	0.614	0.748	0.471	0.611	4.133	2.465	2.564	2.334	2.454	7.779
16	0.51	0.599	0.588	0.566	4.928	3.032	2.956	2.847	2.945	9.373
17	0.512	0.491	0.538	0.514	5.78	2.886	3.054	2.777	2.906	9.245
18	0.633	0.645	0.55	0.609	4.282	3.012	2.845	3.028	2.962	9.420

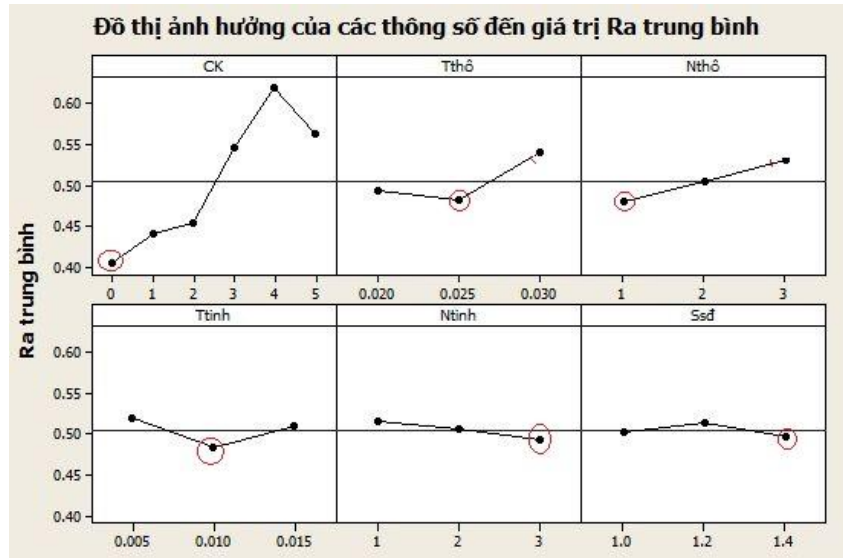
Thứ tự ảnh hưởng của các thông số và ANOVA giá trị trung bình của nhám bề mặt ( $\overline{Ra}$ ) được thể hiện trong bảng 8 và 9. Từ kết quả ANOVA cho thấy thứ tự ảnh hưởng của các thông số khảo sát đến nhám bề mặt Ra: Số lần chạy không; chiều sâu sửa thô đá; số lần sửa thô đá; chiều sâu sửa tinh đá; số lần sửa tinh đá; lượng chạy dao sửa đá.

Bảng 8. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến trị số độ nhám trung bình

Mức	CK	T <sub>thô</sub>	N <sub>thô</sub>	T <sub>tinh</sub>	N <sub>tinh</sub>	S <sub>sd</sub>
1	0.4043	0.4929	0.4797	0.5193	0.5146	0.5023
2	0.4407	0.4808	0.5034	0.4836	0.5059	0.5144
3	0.4542	0.5396	0.5302	0.5104	0.4929	0.4967
4	0.5453	-	-	-	-	-
5	0.6193	-	-	-	-	-
6	0.5629	-	-	-	-	-
Delta	0.2150	0.0588	0.0505	0.0357	0.0217	0.0177
Thứ tự ảnh hưởng	1	2	3	4	5	6

Bảng 9. Phân tích ANOVA cho giá trị trị số độ nhám trung bình

Thông số	Bậc tự do	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
CK	5	0.1047	0.1046	0.0209	<b>5.48</b>	0.162
T <sub>thô</sub>	2	0.0115	0.0115	0.0057	1.51	0.398
N <sub>thô</sub>	2	0.0076	0.0076	0.0038	1.00	0.499
T <sub>tinh</sub>	2	0.0041	0.0041	0.0021	0.54	0.648
N <sub>tinh</sub>	2	0.0014	0.0014	0.0007	0.19	0.842
S <sub>sd</sub>	2	0.0009	0.0009	0.0005	0.13	0.886
Lỗi	2	0.0076	0.0076	0.0038		
Tổng	17	0.1381				



*Hình 22. Ảnh hưởng của các thông số đến Ra*

Kết quả cho thấy:

Số lần chạy không ăn dao ảnh hưởng mạnh nhất đến nhám bề mặt. Nhám bề mặt đạt trị số nhỏ nhất khi không chạy không ăn dao sau đó tăng dần khi số lần chạy không ăn dao tăng dần và lớn nhất khi số lần chạy không ăn dao là 4 lần, cuối cùng giảm khi số lần chạy không ăn dao là 5 lần. Điều này có thể được lý giải vì việc không chạy không ăn dao khi sửa đá sẽ khiến cho bề mặt đá mài nhấp nhô, không gian thoát phoi, chứa phoi lớn, làm giảm nhiệt cắt, lực cắt và giảm Ra. Số lần chạy không càng nhiều càng làm giảm các đỉnh nhấp nhô, giảm không gian thoát phoi do đó làm tăng Ra [15]

Chiều sâu sửa thô đá là 0.025 mm cho nhám bề mặt nhỏ nhất so với chiều sâu sửa thô đá là 0.02 mm và 0.03 mm. Trị số độ nhám thay đổi không đáng kể ở 2 mức  $T_{thô} = 0.02\text{mm}$  và  $0.025\text{mm}$  nhưng tăng mạnh khi  $T_{thô} = 0.03\text{mm}$ . Khi chiều sâu sửa đá tăng làm nhấp nhô bề mặt lớn đồng thời làm tăng tuổi bền, năng suất mài (phù hợp với mài thô). Số lần sửa thô càng tăng thì nhám bề mặt tăng theo.

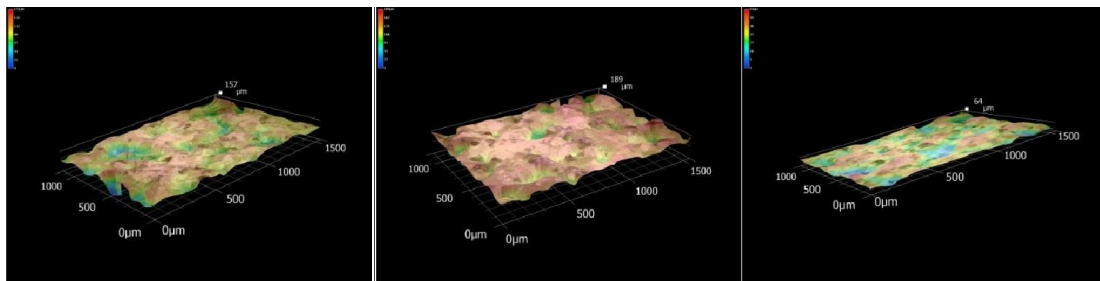
Số lần sửa thô là 1 lần cho nhám bề mặt nhỏ nhất. Điều này có thể lý giải như sau: Khi số lần sửa thô đá tăng lên thì số đỉnh nhấp nhô trong tiết diện dọc trục của đá tăng lên dẫn đến nhám bề mặt tăng theo.



Chiều sâu sửa tinh đá là 0.01mm cho trị số nhám bề mặt nhỏ nhất so với 0.005mm và 0.015mm. Điều này có thể lý giải như sau: Khi chiều sâu sửa tinh đá quá nhỏ dẫn đến chiều cao nhấp nhô trên bề mặt đá nhỏ dẫn đến khi mài khó chứa và thoát phoi dẫn đến nhám bề mặt tăng. Còn khi chiều sâu sửa tinh đá lớn, các nhấp nhô tinh trên các nhấp nhô thô của bề mặt đá trong tiết diện dọc sẽ cao và nhanh chóng bị san phẳng dẫn đến đá nhanh mòn và làm tăng nhám bề mặt.

Số lần sửa tinh càng tăng thì nhám bề mặt càng nhỏ. Điều này có thể được lý giải như sau: Khi số lần sửa tinh tăng, số nhấp nhô tinh trên các nhấp nhô thô trong tiết diện dọc trục của đá tăng lên làm số hạt mài tham gia cắt trên một diện tích bề mặt đá tăng lên làm nhám bề mặt giảm xuống.

Trong trường hợp cụ thể này, lượng chạy dao sửa đá không ảnh hưởng nhiều tới trị số độ nhám bề mặt. Khi  $S_{sd}$  là 1 m/p và 1.4 m/p cho nhám bề mặt thấp hơn 1.2 m/p. Điều đó có thể do khi bước tiến dao lớn làm cho điều kiện thoát phoi dễ dàng hơn dẫn đến nhám bề mặt giảm. Nhám bề mặt đạt trị số nhỏ nhất khi lượng chạy dao sửa đá là 1.4 m/p và lớn nhất khi lượng chạy dao sửa đá là 1.2 m/p.



a)

b)

c)

Hình 23. Topography đá mài

a) Đá mài chỉ sửa thô; b) Đá mài có sửa thô và sửa tinh ; c) Đá mài có sửa chạy không ăn dao

### 3.6.2. Tối ưu hóa Ra

Với phương pháp quy hoạch thực nghiệm theo phương pháp Taguchi, nhiều tác giả thường sử dụng tỷ số S/N để tính toán tối ưu hóa. Kết quả phân

tích mức độ ảnh hưởng của các thông số chế độ công nghệ sửa đá đến tỷ số S/N và phân tích ANOVA tỷ số S/N của Ra thể hiện trong bảng 10 và bảng 11.

*Bảng 10. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến tỷ số S/N của trị số độ nhám*

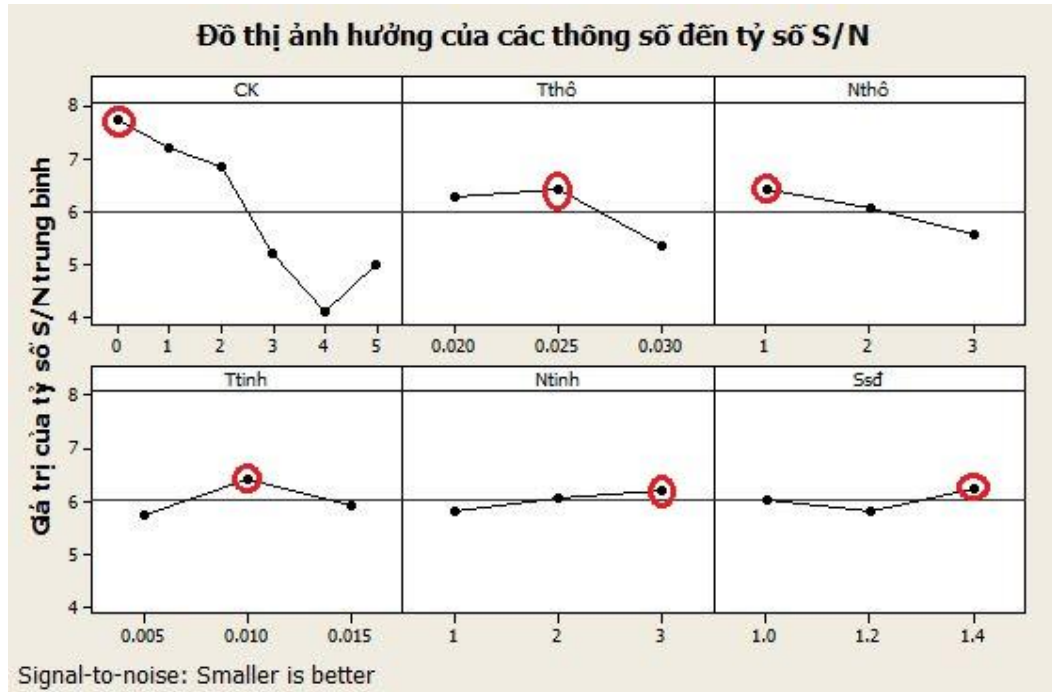
Mức	CK	T <sub>thô</sub>	N <sub>thô</sub>	T <sub>tinh</sub>	N <sub>tinh</sub>	S <sub>sđ</sub>
1	7.745	6.266	6.425	5.722	5.797	6.018
2	7.196	6.422	6.063	6.399	6.062	5.805
3	6.840	5.356	5.556	5.923	6.185	6.221
4	5.210	-	-	-	-	-
5	4.102	-	-	-	-	-
6	4.997	-	-	-	-	-
Delta	3.644	1.066	0.869	0.676	0.388	0.415
Thứ tự ảnh hưởng	1	2	3	4	6	5

*Bảng 11. Phân tích ANOVA cho tỷ số S/N của trị số độ nhám*

Thông số	Bậc tự do	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
CK	5	31.239	31.239	6.248	5.02	0.174
T <sub>thô</sub>	2	3.976	3.976	1.988	1.60	0.385
N <sub>thô</sub>	2	2.286	2.286	1.143	0.92	0.521
T <sub>tinh</sub>	2	1.447	1.447	0.723	0.58	0.632
N <sub>tinh</sub>	2	0.471	0.471	0.235	0.19	0.841
S <sub>sđ</sub>	2	0.517	0.517	0.258	0.21	0.828
Lỗi	2	2.490	2.490	1.245		
Tổng	17	42.428				

Theo đó, thứ tự ảnh hưởng của các thông số khảo sát đến tỉ số S/N của nhóm bề mặt Ra: Số lần chạy không; chiều sâu sửa thô đá; số lần sửa thô đá; chiều sâu sửa tinh đá; lượng chạy dao sửa đá dọc; số lần sửa tinh đá. Trị số tối ưu của

Ra được xác định bởi mức của các thông số công nghệ (khoanh tròn màu đỏ) trong hình 24: CK = 0 lần (A1); Tthô = 0.025 mm (B2); Nthô = 1 lần (C1); Ttinh = 0.01mm (D2); Ntinh = 3 lần (E3); Ssd = 1.4 m/HTĐ (F3).



Hình 24. Ảnh hưởng của các thông số đến tỷ số S/N của Ra

### Giá trị tối ưu Ra

Trị số Ra tối ưu được xác định theo công thức tại các mức: CK (A1); Tthô (B2); Nthô (C1); Ttinh (D2); Ntinh (E3); Ssd (F3).

$$\overline{Ra_{t\text{oiuu}}} = \overline{A_1} + \overline{B_2} + \overline{C_1} + \overline{D_2} + \overline{E_3} + \overline{F_3} - 5.T_{gg}$$

Trong đó:

$$\overline{A_1} : \overline{Ra} \text{ với số lần chạy không là 0 lần, } \overline{A_1} = 0.404 \mu m$$

$$\overline{B_2} : \overline{Ra} \text{ Với chiều sâu sửa thô đá là 0.02 mm, } \overline{B_2} = 0.481 \mu m$$

$$\overline{C_1} : \overline{Ra} \text{ Với số lần sửa thô đá là 1 lần, } \overline{C_1} = 0.48 \mu m$$

$$\overline{D_2} : \overline{Ra} \text{ Với chiều sâu sửa tinh đá là 0.01 mm, } \overline{D_2} = 0.484 \mu m$$

$$\overline{E_3} : \overline{Ra} \text{ Với số lần sửa tinh đá là 3 lần, } \overline{E_3} = 0.493 \mu m$$

$\overline{F_3} : \overline{Ra}$  Với lượng chạy dao dọc sửa đá là 1.4 m/HTĐ,  $\overline{F_3} = 0.497 \mu m$

$\overline{T_{gg}}$  là giá trị trung bình của Ra:

$$\overline{T_{gg}} = \frac{\sum_1^{18} R_{a1} + \sum_1^{18} R_{a2} + \sum_1^{18} R_{a3}}{54} = 0.504 \mu m$$

Thay số vào có:

$$\overline{R_{atoiuu}} = 0.404 + 0.481 + 0.48 + 0.484 + 0.493 - 5 \times 0.504 = 0.318 \mu m$$

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left( \frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0.14$$

Trong đó,  $F_{\alpha}(1, f_e)$  8.5262 là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa  $\alpha\%=90\%$ ,  $f_e=2$  là bậc tự do của lỗi,  $V_e = 0.003822$  là sai số trung bình của lỗi,  $n_{eff}$  là số lần lặp hiệu quả,  $R = 3$  là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{Tổng số bậc tự do của các yếu tố tính toán trong công thức tối ưu}}$$

$$= \frac{54}{1 + 15} = 3.375$$

Theo đó, với mức ý nghĩa  $\alpha = 90\%$  thì nhám bề mặt được dự đoán với mức tối ưu của các thông số đầu vào  $n_{CK1}/t_{tho2}/n_{tho1}/t_{tinh2}/n_{tinh3}/S_3$  như sau:

$$(0.318 - 0.14) \leq \overline{Ra}_{op} \leq (0.318 + 0.14) \text{ hay } 0.178 \leq Ra_{op} \leq 0.458 \mu m$$

### 3.6.3. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến MRR.

Năng suất bóc tách kim loại MRR ( $mm^3/s$ ) được xác định bằng thể tích bóc tách kim loại trên một đơn vị thời gian. Thể tích kim loại bóc tách trong một quá trình mài được xác định bằng cách đo kiểm đường kính lỗ phôi thí nghiệm trước và sau khi mài. Tuổi bền được xác định bằng kinh nghiệm người thợ, lực mài Py. Kết quả của MRR ứng với 18 chế độ công nghệ sửa đá khác nhau được kê tại bảng 7.

Thứ tự ảnh hưởng của các thông số và ANOVA giá trị trung bình của năng suất bóc tác ( $\overline{Ra}$ ) được thể hiện trong bảng 12. Từ kết quả ANOVA cho

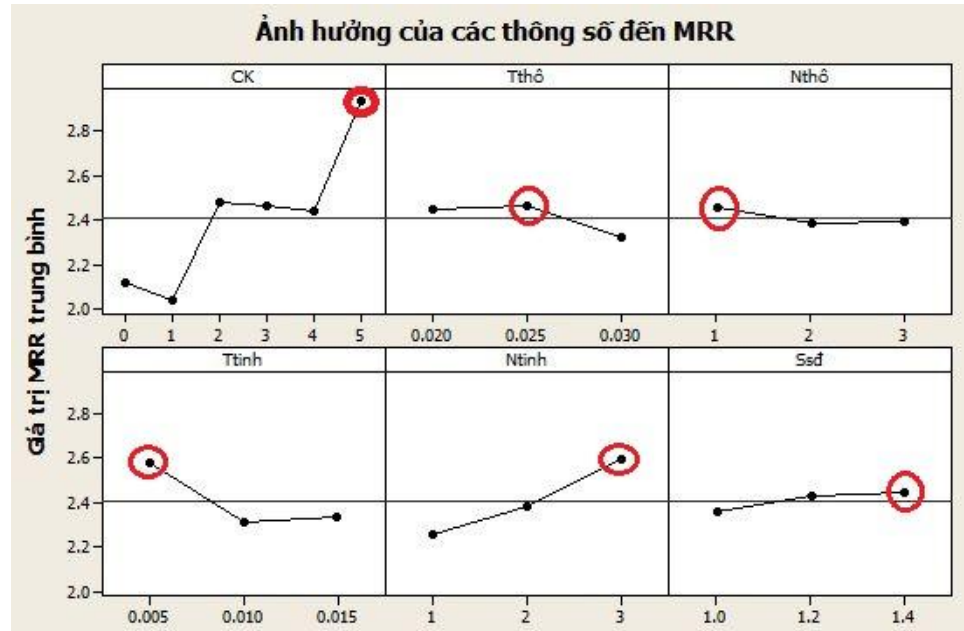
thấy thứ tự ảnh hưởng của các thông số khảo sát đến năng suất bóc tách MRR: Số lần chạy không; số lần sửa tinh đá; chiều sâu sửa tinh đá; chiều sâu sửa thô đá; lượng chạy dao sửa đá dọc; số lần sửa thô đá.

*Bảng 12. Thứ tự ảnh hưởng của các thông số đến MRR*

Mức	CK	T <sub>thô</sub>	N <sub>thô</sub>	T <sub>tinh</sub>	N <sub>tinh</sub>	S <sub>sd</sub>
1	2.109	2.446	2.450	2.577	2.253	2.355
2	2.033	2.463	2.384	2.314	2.382	2.426
3	2.475	2.318	2.393	2.336	2.591	2.445
4	2.462	-	-	-	-	-
5	2.438	-	-	-	-	-
6	2.937	-	-	-	-	-
Delta	0.905	0.146	0.066	0.264	0.338	0.090
Thứ tự ảnh hưởng	1	4	6	3	2	5

*Bảng 13. Phân tích ANOVA cho tỷ số S/N của MRR*

Thông số	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
CK	5	1.556	1.556	0.311	<b>9.69</b>	0.096
T <sub>thô</sub>	2	0.076	0.076	0.038	1.18	0.458
N <sub>thô</sub>	2	0.015	0.015	0.007	0.24	0.809
T <sub>tinh</sub>	2	0.256	0.256	0.128	3.99	0.200
N <sub>tinh</sub>	2	0.348	0.348	0.174	5.43	0.156
S <sub>sd</sub>	2	0.027	0.027	0.013	0.42	0.703
Lỗi	2	0.064	0.064	0.032		
Tổng	17	2.343				



Hình 25. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến MRR trung bình

Theo đó, thứ tự ảnh hưởng của các thông số khảo sát đến tỉ số S/N của MRR: Số lần chạy không; số lần sửa tinh đá; chiều sâu sửa tinh đá; chiều sâu sửa thô đá; lượng chạy dao sửa đá dọc; số lần sửa thô đá. Trị số tối ưu của MRR được xác định bởi mức của các thông số công nghệ (khoanh tròn màu đỏ) trong hình 3.8: CK = 5 lần (A1); Tthô = 0.025 mm (B2); Nthô = 1 lần (C1); Ttinh = 0.005mm (D2); Ntinh = 3 lần (E3); Ssđ = 1.4 m/HTĐ (F3).

Từ bảng 12, 13 và hình 25 có nhận xét như sau:

Số lần chạy không ảnh hưởng lớn tới năng suất bóc tách (bảng 12). Càng tăng số lần chạy không thì năng suất càng tăng (ngược lại so với ảnh hưởng tới Ra). Khi tăng số lần chạy không, bề mặt đá mài càng mịn, mật độ lưỡi cắt nhiều hơn và số lượng các rãnh chứa phoi cũng vẫn nhiều. Đồng thời, chiều cao nhấp nhô cũng thấp, sự bám dính của hạt mài với chất dính kết cũng chắc chắn hơn, tuổi bền tăng dẫn đến năng suất bóc tách tăng.

Chiều sâu sửa đá thô và sửa đá tinh càng tăng làm giảm năng suất. Chiều sâu sửa đá thô từ 0.02mm đến 0.025mm hầu như không làm thay đổi MRR và khi  $T_{thô} = 0.03mm$  thì MRR giảm. Khi chiều sâu sửa đá tinh tăng từ 0.005mm

đến 0.01mm thì MRR giảm và khi  $T_{\text{tinh}}$  tăng lên 0.015mm thì MRR cũng không tăng nhiều. Sở dĩ, chiều sâu sửa đá tăng làm giảm MRR.

Số lần sửa đá thô hầu như không ảnh hưởng tới MRR có thể vì với độ hạt 120 thì chỉ cần 1 lần sửa đá thô thì lớp đá bị mòn đã bị bóc hết và có tăng số lần sửa đá thô cũng không làm thay đổi MRR. Số lần sửa đá tinh lại là nhân tố ảnh hưởng mạnh thứ 2 tới MRR sau số lần chạy khô. MRR tỷ lệ thuận với số lần sửa đá tinh.

Lượng chạy dao khi sửa đá không làm thay đổi nhiều đến MRR (tương tự như ảnh hưởng tới  $R_a$ ).

#### 3.6.4. Tối ưu hóa MRR

Với phân tích tỷ số S/N của MRR như hình 3.9 (tiêu chí lớn hơn thì tốt hơn), ta xác định được các điểm mà MRR có giá trị lớn nhất.

Trị số MRR max được xác định theo công thức tại các mức: CK (A6);  $T_{\text{thô}}$  (B2);  $N_{\text{thô}}$  (C1);  $T_{\text{tinh}}$  (D1);  $N_{\text{tinh}}$  (E3);  $S_{\text{sd}}$  (F3).

$$\overline{MRR}_{\text{toiuu}} = \overline{A}_5 + \overline{B}_2 + \overline{C}_1 + \overline{D}_1 + \overline{E}_3 + \overline{F}_3 - 5 \cdot \overline{T}_{\text{gg}}$$

Trong đó:

$$\overline{A}_6 = 2.937 \text{ (mm}^3/\text{s)}: \overline{MRR} \text{ với số lần chạy khô là 5 lần,}$$

$$\overline{B}_2 = 2.463 \text{ (mm}^3/\text{s)}: \overline{MRR} \text{ với chiều sâu sửa thô đá là 0.025 mm,}$$

$$\overline{C}_1 = 2.450 \text{ (mm}^3/\text{s)}: \overline{MRR} \text{ Với số lần sửa thô đá là 1 lần,}$$

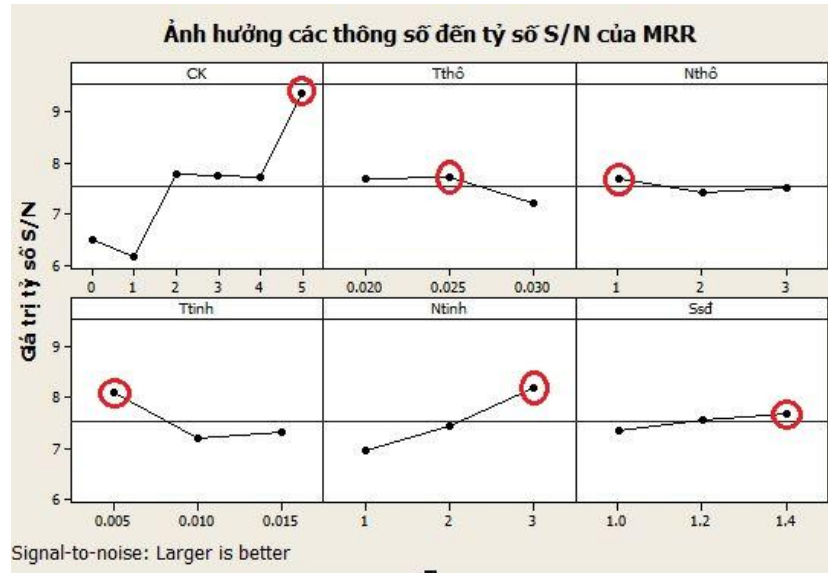
$$\overline{D}_1 = 2.577 \text{ (mm}^3/\text{s)}: \overline{MRR} \text{ Với chiều sâu sửa tinh đá là 0.005 mm,}$$

$$\overline{E}_3 = 2.591 \text{ (mm}^3/\text{s)}: \overline{MRR} \text{ Với số lần sửa tinh đá là 3 lần,}$$

$$\overline{F}_3 = 2.445 \text{ (mm}^3/\text{s)}: \overline{MRR} \text{ Với lượng chạy dao dọc sửa đá là 1.4 m/HTĐ,}$$

$$\overline{T}_{\text{gg}} \text{ là giá trị trung bình của MRR: } \overline{T}_{\text{gg}} = 2.415 \text{ (mm}^3/\text{s)}$$

$$\text{Thay số vào có: } \overline{MRR}_{\text{toiuu}} = 3.388 \text{ (mm}^3/\text{s)}$$



Hình 26. Ảnh hưởng của các thông số đến tỷ số S/N của MRR

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left( \frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0.415$$

Trong đó,  $F_{\alpha}(1, f_e) = 8.5262$  là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa  $\alpha\% = 90\%$ ,  $f_e = 2$  là bậc tự do của lỗi,  $V_e = 0.032125$  là sai số trung bình của lỗi,  $n_{\text{eff}}$  là số lần lặp hiệu quả,  $R = 3$  là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{Tổng số bậc tự do của các yếu tố tính toán trong công thức tối ưu}}$$

$$= \frac{54}{1 + 15} = 3.375$$

Theo đó, với mức ý nghĩa  $\alpha = 90\%$  thì nhám bề mặt được dự đoán với mức tối ưu của các thông số đầu vào  $n_{CK6}/t_{tho2}/n_{tho1}/t_{tint1}/n_{tinh3}/S_3$  như sau:

$$(3.388 - 0.415) \leq \overline{MRR}_{op} \leq (3.388 + 0.415) \text{ hay } 2.973 \leq \overline{MRR}_{op} \leq 3.803 (\text{mm}^3 / \text{s})$$

### 3.7. Tối ưu hóa đa mục tiêu

Mục tiêu của bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu ở đây là nhám bề mặt thấp nhất đồng thời năng suất cắt gọt lớn nhất.

Điều này thực hiện được thực hiện bằng phương pháp phân tích quan hệ xám (GRA - Grey Relational Analysis) trong phương pháp Taguchi.



Các bước thực hiện phân tích quan hệ xám (GRA) trong phương pháp Taguchi:

*Bước 1:* Xác định tỉ số S/N: Trong các thí nghiệm được tiến hành của ma trận thí nghiệm, Kết quả mong muốn đối với nhám bề mặt là “Nhỏ hơn thì tốt hơn”. Tỉ số này xác định như sau:

$$SN = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (1)$$

Còn đối với năng suất cắt MRR, mong muốn “lớn hơn thì tốt hơn” và được xác định theo công thức:

$$SN = -10\log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2)$$

Trong đó: n là số lần lặp ở mỗi thí nghiệm

$y_i$  là giá trị đo được ở lần đo thứ  $i = 1, 2, \dots, n$  ( $n=3$ )

*Step 2:* Tỉ số S/N lớn hơn sẽ cho kết quả đáng tin cậy nhất và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhất. Tỉ số này được chuẩn hóa bằng  $Z_{ij}$  ( $0 \leq Z_{ij} \leq 1$ ) theo công thức sau đây để tránh ảnh hưởng của việc sử dụng các đơn vị khác nhau và để giảm sự biến đổi.

$$Z_{ij} = \frac{SN_{ij} - \min(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, k)}{\max(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, n) - \min(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, n)} \quad (3)$$

Trong đó: j là số thí nghiệm ( $j=18$ ).

Tỉ số SN và giá trị chuẩn hóa Z ứng với mỗi mục tiêu đầu ra được thể hiện trong bảng 14.

Bảng 14. Trị số SN, giá trị chuẩn hóa và trị số sai lệch dãy tham chiếu

TT	SN		Zij		$\Delta_j(k)$	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
			Trị số tham chiếu			
			1.000	1.000		
1	7.840	6.477	0.777	0.232	0.223	0.768
2	7.998	5.942	0.808	0.093	0.192	0.907
3	7.402	6.965	0.691	0.360	0.309	0.640
4	8.979	6.466	1.000	0.230	0.000	0.770
5	7.666	6.341	0.742	0.197	0.258	0.803
6	4.938	5.586	0.207	0.000	0.793	1.000
7	7.294	9.335	0.669	0.978	0.331	0.022
8	7.095	7.073	0.630	0.388	0.370	0.612
9	6.133	6.921	0.442	0.348	0.558	0.652
10	4.684	7.455	0.157	0.487	0.843	0.513
11	5.693	9.232	0.355	0.951	0.645	0.049
12	5.256	6.538	0.270	0.248	0.730	0.752
13	3.882	6.875	0.000	0.336	1.000	0.664
14	4.294	8.438	0.081	0.744	0.919	0.256
15	4.131	7.779	0.049	0.572	0.951	0.428
16	4.926	9.373	0.205	0.988	0.795	0.012
17	5.775	9.245	0.371	0.954	0.629	0.046
18	4.282	9.420	0.079	1.000	0.921	0.000

*Bước 3:* Tính toán hệ số tương tác trong quan hệ xám đối với các tỉ số SN chuẩn hóa:

$$\gamma(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_j(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (4)$$

Trong đó:

+)  $j=1, 2, \dots, n$ ;  $k=1, 2, \dots, m$ ,  $n$  là số thí nghiệm,  $k$  là số mục tiêu đầu ra.

$\Delta_{0j}$  is the deviation sequence (là trị số sai lệch của dãy tham chiếu).

$\Delta_{0j} = \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$  là giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa  $Z_0(k)$  (trị số tham chiếu) và  $Z_j(k)$  (trị số  $Z$  của thí nghiệm thứ  $j$  của mục tiêu thứ  $k$ ).

+)  $\Delta_{min} = \min_{\forall j \in i} \min_{\forall k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$  là giá trị nhỏ nhất của  $\Delta_{0j}$

+)  $\Delta_{max} = \max_{\forall j \in i} \max_{\forall k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$  là giá trị lớn nhất của  $\Delta_{0j}$

+)  $\zeta$  là hệ số phân biệt, được xác định trong khoảng  $0 \leq \zeta \leq 1$  (giá trị có thể được điều chỉnh dựa trên yêu cầu thực tế của hệ thống,  $\zeta=0.5$  được sử dụng tính toán trong nghiên cứu này).

*Bước 4:* Xác định mức độ Quan hệ xám theo công thức:

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \quad (5)$$

Đây là giá trị trung bình của các tương tác trong quan hệ xám đã xác định ở bước 3.  $k$  là số mục tiêu cần tối ưu.

Bảng 15 thể hiện trị số quan hệ xám ứng với các mục tiêu và trị số quan hệ xám trung bình.

Bảng 15. Trị số quan hệ xám của từng mục tiêu và trị số quan hệ mờ trung bình

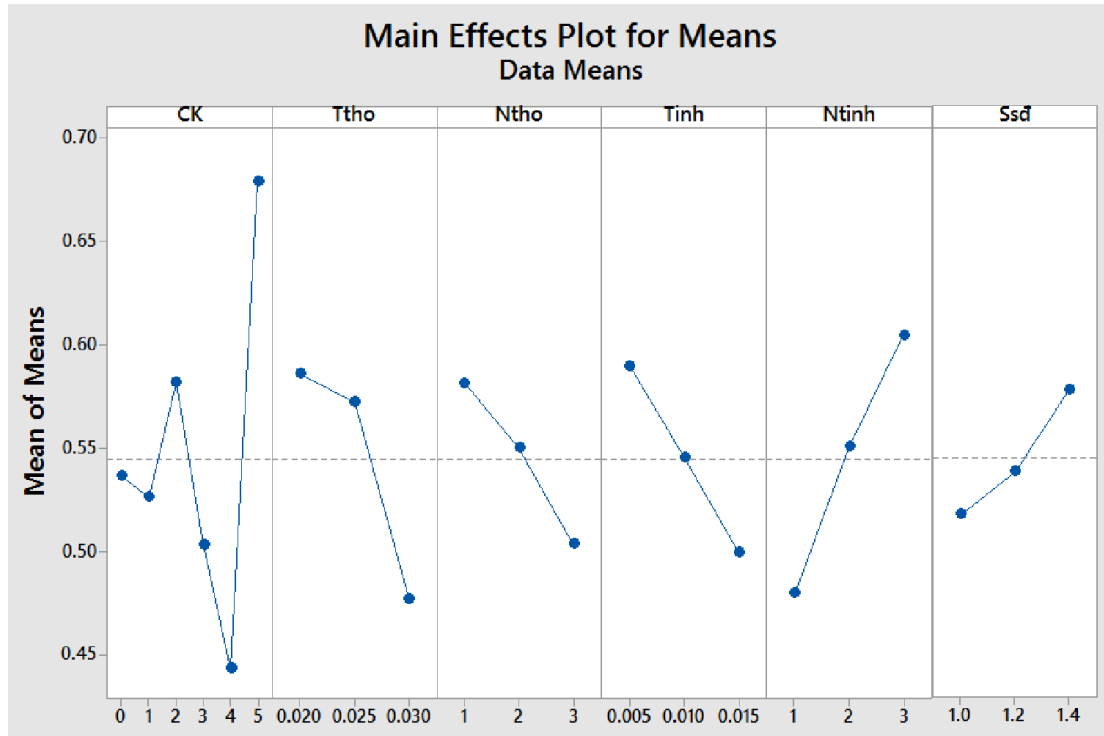
TT	Trị số quan hệ mờ $\gamma_j$		$\bar{\gamma}$
	Ra	MRR	
1	0.691	0.394	0.543
2	0.722	0.355	0.539
3	0.618	0.439	0.528
4	1.000	0.394	0.697
5	0.660	0.384	0.522
6	0.387	0.333	0.360
7	0.602	0.957	0.780
8	0.575	0.450	0.512
9	0.472	0.434	0.453
10	0.372	0.494	0.433
11	0.437	0.911	0.674
12	0.406	0.399	0.403
13	0.333	0.430	0.381
14	0.352	0.661	0.507
15	0.345	0.539	0.442
16	0.386	0.976	0.681
17	0.443	0.916	0.680
18	0.352	1.000	0.676

*Bước 5: Xác định mức tối ưu của các yếu tố tối ưu:*

Trị số quan hệ xám cao hơn hàm ý chất lượng sản phẩm tốt hơn. Do đó, dựa trên mức độ quan hệ xám, có thể ước lượng tác động của yếu tố và mức độ tối ưu cho mỗi yếu tố có thể kiểm soát. Bảng 5 cho thấy trị số quan hệ xám cho mỗi thí nghiệm và trị số quan hệ xám tương tác. Theo đó, thí nghiệm số 7 ( $T_{tho1}$ ,  $N_{tho2}$ , CK3,  $N_{tinh1}$ ,  $T_{tinh3}$ ,  $S_{sd2}$ ) có trị số quan hệ xám tương tác lớn nhất. Điều đó chỉ ra rằng thí nghiệm số 7 thu được có tỉ số SN tương ứng gần với tỉ số SN được chuẩn hóa và nó có nhiều đặc tính tốt trong số 18 thí nghiệm. Tuy nhiên, đây chưa phải là mức độ tối ưu của các yếu tố. Theo phương pháp của Taguchi, cần xác định trị số quan hệ xám trung bình cho mỗi yếu tố ở các mức khác nhau. Trị số quan hệ xám trung bình tại các mức của mỗi yếu tố được xác định trong bảng 16 và hình 27 (sử dụng phần mềm Minitab 17 để phân tích).

*Bảng 16. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ xám.*

Mức	Thông số					
	CK	$T_{tho}$	$N_{tho}$	$T_{tinh}$	$N_{tinh}$	$S_{sd}$
1	0.5366	<b>0.5858</b>	<b>0.5813</b>	<b>0.5898</b>	0.4798	0.5181
2	0.5262	0.5722	0.5501	0.5456	0.5508	0.5388
3	0.5817	0.477	0.5036	0.4996	<b>0.6044</b>	<b>0.5781</b>
4	0.5033					
5	0.4433					
6	<b>0.6789</b>					
Delta	0.2356	0.1089	0.0777	0.0903	0.1245	0.0599
Thứ tự ảnh hưởng	1	3	5	4	2	6
Trị số quan hệ mờ trung bình 0.545						



Hình 27. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số.

Trị số quan hệ xám của mỗi yếu tố ở mức nào là lớn nhất là mức tối ưu của yếu tố đó. Do đó, theo *bảng 16* và *hình 27*, bộ thông số tối ưu của quá trình sửa đá khi mài phẳng đáp ứng cả nhám bề mặt và dung sai độ phẳng nhỏ nhất là:  $T_{tho1}/N_{tho1}/CK6/N_{tinh3}/T_{tinh1}/S_{sd3}$  tương ứng với  $T_{tho}=0.02\text{mm}$ ,  $N_{tho} = 1$  lần,  $CK = 5$  lần,  $N_{tinh} = 3$  lần,  $T_{tinh} = 0.005 \text{ mm}$ ,  $S_{sd} = 1.4 \text{ m/ph}$ .

*Bước 6:* Thực hiện phân tích hồi quy phương sai (Analysis of Variance – ANOVA) để xác định các yếu tố quan trọng.

Phân tích hồi quy phương sai là áp dụng phương pháp thống kê để xác định ảnh hưởng của mỗi yếu tố. Qua đó xác định được tác động của từng yếu tố đến mục tiêu của quá trình. Tỷ lệ đóng góp khi sử dụng ANOVA sẽ bù đắp cho việc không đánh giá được ảnh hưởng của các thông số trên toàn bộ quá trình của phương pháp Taguchi.

Tổng độ lệch bình phương  $SS_T$  (Sum of Squares) được phân tách thành hai nguồn: Tổng các độ lệch bình phương do mỗi tham số quy trình và tổng bình phương của lỗi (the sum of the squared deviations due to each process

parameter and the sum of the squared error). Phần trăm đóng góp của mỗi tham số quy trình trong tổng số độ lệch bình phương  $SS_T$  được sử dụng để đánh giá tầm quan trọng của thay đổi của tham số. Sự thay đổi của tham số quá trình được đánh giá có ảnh hưởng đáng kể đến mục tiêu khi giá trị F lớn trị số F tra bảng với mức  $\alpha\%$  tương ứng.

Kết quả phân tích hồi quy phương sai được thể hiện trong *bảng 17*.

*Bảng 17. Kết quả ANOVA trị số quan hệ xám.*

Thông số	DF	SS	Adj SS	MS	F	C %
CK	5	0.09534	0.09534	0.019068	1.45	36.02
T <sub>thô</sub>	2	0.0422	0.0422	0.0211	1.6	15.94
N <sub>thô</sub>	2	0.01837	0.01837	0.009185	0.7	6.94
T <sub>tinh</sub>	2	0.02445	0.02445	0.012225	0.93	9.24
N <sub>tinh</sub>	2	0.04683	0.04683	0.023415	1.78	17.69
S <sub>sd</sub>	2	0.01112	0.01112	0.00556	0.42	4.20
Lỗi	2	0.02637	0.02637	0.013185		9.97
Tổng	17	0.26467				100

Kết quả ANOVA trong *bảng 17* cho thấy: Số lần chạy không ăn dao CK (36.02%) có ảnh hưởng mạnh nhất, tiếp theo là số lần sửa đá tinh  $n_{tinh}$  (17.69%), chiều sâu sửa đá thô  $t_{thô}$  (15.94%), chiều sâu sửa đá tinh (9.24%), số lần sửa đá thô  $n_{thô}$  (6.94%), cuối cùng là lượng chạy dao  $S_{sd}$  (4.2%).

*Bước 8:* Tính toán tối ưu hóa và kiểm nghiệm

Xác định trị số quan hệ mờ tối ưu được xác định:

$$\overline{\mu_{op}} = \eta_m + \sum_{i=1}^6 (\bar{\eta} - \eta_m) = T_{thô1} + N_{thô1} + CK_6 + N_{tinh3} + T_{tinh1} + S_{sd3} - 5 * \eta_m \quad (6)$$

Trong đó:  $\eta_m$  là trị số quan hệ xám trung bình  $T = 0.545$ , các trị số  $T_{th\hat{o}1}$ ,  $N_{th\hat{o}1}$ ,  $CK_6$ ,  $N_{tinh3}$ ,  $T_{tinh1}$ ,  $S_{sd3}$  là trị số quan hệ xám của các thông số ứng với mức tối ưu hóa tương ứng và được lấy từ bảng 3.7. Theo đó,  $\mu_{op} = 0.8933$ .

Xác định kết quả tối ưu.

Căn cứ vào mức tối ưu của các thông số đầu vào, giá trị tối ưu của các kết quả đầu ra Ra và Fl được xác định theo công thức sau:

$$(Ra, MRR)_{Toiuu} = T_{th\hat{o}1} + N_{th\hat{o}1} + CK_6 + N_{tinh3} + T_{tinh1} + S_{sd3} - 5 * \bar{T}$$

Trong đó:

$(Ra, Fl)_{Toiuu}$  là trị số nhám bề mặt hoặc dung sai độ phẳng tối ưu

$\overline{T_{th\hat{o}1}}$  là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất cắt khi chiều sâu sửa đá thô ở mức 1

$\overline{N_{th\hat{o}1}}$  là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất cắt khi số lần sửa đá thô ở mức 1

$\overline{CK_6}$  là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất cắt khi số lần chạy không ăn dao ở mức 6

$\overline{N_{tinh3}}$  là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất cắt khi số lần sửa đá tinh ở mức 3

$\overline{T_{tinh1}}$  là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất cắt khi chiều sâu sửa đá tinh ở mức 1

$\overline{S_{sd3}}$  là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất cắt khi lượng chạy dao sửa đá ở mức 3

$\bar{T}$  là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất cắt của toàn bộ thí nghiệm.

Theo đó:

$$(Ra)_{Toiuu} = 0.4929 + 0.4797 + 0.563 + 0.5193 + 0.4929 + 0.4966 - 5 * 0.5045 = 0.522 \mu m$$

$$(MRR)_{Toiuu} = 2.446 + 2.45 + 2.937 + 2.577 + 2.591 + 2.445 - 5 * 2.4089 = 3.4 mm^3/s$$

Để đánh giá độ chính xác của việc tính toán, tiến hành thực nghiệm kiểm chứng với bộ thông số tối ưu đã tìm được với số lần lặp là 2 lần. Bộ thông số



thực nghiệm là:  $T_{tho} = 0.02$  mm,  $N_{tho} = 1$  lần,  $CK = 5$  lần,  $N_{tinh} = 3$  lần,  $T_{tinh} = 0.005$  mm,  $S_{sd} = 1.4$  m/ph. Kết quả thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán tối ưu được thể hiện trong *bảng 18*.

*Bảng 18. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.*

Đặc trưng gia công	Thông số tối ưu		
	Tính toán	Thực nghiệm	% sai lệch
	CK6, $T_{tho1}$ , $N_{tho1}$ , $N_{tinh3}$ , $T_{tinh1}$ , $S_{sd3}$	CK6, $T_{tho1}$ , $N_{tho1}$ , $N_{tinh3}$ , $T_{tinh1}$ , $S_{sd3}$	
Nhám bề mặt Ra ( $\mu\text{m}$ )	0.522	0.566	8.43
Năng suất cắt MRR ( $\text{mm}^3/\text{s}$ )	3.4	3.1	8.82
Giá trị quan hệ xám	0.8933	0.828	

Kết quả thực nghiệm cho thấy, sai số lớn nhất so với tính toán là 8,82% ứng với tính toán năng suất cắt nên phương pháp tính toán hoàn toàn có thể được sử dụng để dự báo chính xác đồng thời hai đặc trưng là nhám bề mặt và năng suất cắt.

### 3.8. Kết luận chương 3

- Đã tiến hành nghiên cứu thực nghiệm. Đã thu nhận, lưu trữ và xử lý được số liệu thí nghiệm. Số liệu thí nghiệm phong phú đảm bảo độ tin cậy.

- Đã xây dựng được mô hình quan hệ giữa trị số độ nhám bề mặt gia công, năng suất mài MRR với chế độ công nghệ sửa đá khi mài lỗ thép 9XC qua tời trên máy mài tròn vạn năng. Mô hình cho phép đánh giá mức độ ảnh hưởng của chế độ công nghệ sửa đá (chiều sâu sửa thô đá, số lần sửa thô, chiều sâu sửa tinh đá, số lần sửa tinh, lượng chạy dao sửa đá dọc và số lần chạy không) tới trị số độ nhám bề mặt gia công, năng suất mài ứng với các điều kiện công nghệ cụ thể và là cơ sở để lựa chọn chế độ công nghệ sửa đá hợp lý hoặc tối ưu góp phần giảm chi phí, nâng cao hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của quá trình sản xuất.

- Đã đánh giá được chất lượng bề mặt gia công, năng suất khi mài lỗ thép 9XC qua tôi qua thông số nhám bề mặt, đưa ra được thông số trị số độ nhám tối ưu ứng với bộ thông số sửa đá hợp lý theo đơn mục tiêu  $Ra_{min}$  hoặc  $MRR_{max}$ .
- Đã tối ưu hóa đa mục tiêu với nhám bề mặt nhỏ nhất và năng suất cắt lớn nhất.

## KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

### \* *Kết luận chung:*

Mục tiêu của đề tài là nghiên cứu ảnh hưởng chế độ công nghệ sửa đá đến chất lượng bề mặt gia công, năng suất khi mài lỗ vật liệu 9XC qua tôi.

- Số lần chạy không ảnh hưởng mạnh mẽ nhất đến trị số độ nhám bề mặt và năng suất mài. Không chạy không khi sửa đá có thể giúp giảm trị số độ nhám nhưng việc chạy không ăn dao khi sửa đá giúp tăng năng suất mài lên đáng kể.

- Sửa đá cần thực hiện theo các bước sửa thô, sửa tinh và sửa không ăn dao giúp tạo sự ổn định cho Topography của đá

- Lượng chạy dao khi sửa đá khi mài lỗ không có ảnh hưởng nhiều đến trị số độ nhám và năng suất mài

- Kết quả nghiên cứu giúp cho việc lựa chọn loại các chế độ sửa đá hợp lý khi mài lỗ nhỏ thép 9XC qua tôi để đạt được các điều kiện về kinh tế, kỹ thuật khác nhau

Khi cần đạt trị số độ nhám nhỏ nhất (mài tinh) chế độ công nghệ sửa đá là: CK = 0 lần;  $T_{thô} = 0.025\text{mm}$ ;  $N_{thô} = 11$  lần;  $T_{tinh} = 0.01\text{mm}$ ;  $N_{tinh} = 3$  lần;  $S_{sd} = 1.4\text{m/p}$ ; Nhám bề mặt dự đoán  $Ra_{min} = 0.318\mu\text{m}$

Khi cần đạt năng suất mài cao nhất (mài thô) chế độ công nghệ sửa đá là: CK = 5 lần;  $T_{thô} = 0.025\text{mm}$ ;  $N_{thô} = 1$  lần;  $T_{tinh} = 0.005\text{mm}$ ;  $N_{tinh} = 3$  lần;  $S_{sd} = 1.4\text{m/p}$ ; Năng suất cắt dự đoán  $MRR_{max} = 3.388\text{ mm}^3/\text{s}$ .

Khi cần đạt nhám bề mặt nhỏ đồng thời năng suất cắt gọt cao, chế độ công nghệ sửa đá là: CK=5 lần,  $T_{thô}=0.02\text{mm}$ ,  $N_{thô}=1$  lần,  $T_{tinh} = 0.005\text{ mm}$ ,  $N_{tinh} = 3$  lần,  $S_{sd} = 1,4\text{ m/ph}$ . Nhám bề mặt được dự đoán là  $Ra = 0.522\ \mu\text{m}$  và năng suất cắt gọt  $MRR = 3,4\text{ mm}^3/\text{s}$ .

### \* *Hướng nghiên cứu tiếp theo*

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá tới nhám bề mặt khi mài lỗ với các loại vật liệu khác nhau.

- Nghiên cứu tối ưu hóa tuổi bền đá mài và tối ưu hóa đa mục tiêu để đạt đồng thời  $Ra_{min}$ ,  $MRR_{max}$  và tuổi bền đá mài.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### I. Tài liệu tham khảo tiếng việt

- [1] Đỗ Mạnh Cường (2010), *Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ sửa đá đến độ nhám bề mặt khi mài thép không gỉ trên máy mài tròn ngoài*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
- [2] Trần Minh Đức (2002), *Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sửa đá đến tuổi bền của đá mài khi mài tròn ngoài*, Luận án tiến sĩ Kỹ thuật, Trường ĐH Bách Khoa Hà Nội.
- [3] Trần Minh Đức (2010), “Ảnh hưởng của chế độ công nghệ khi sửa đá đến tính cắt của đá mài”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái nguyên*, 64(2), tr. 75-78
- [4] Vũ Ngọc Pi (2015), *Nghiên cứu chế độ sửa đá hợp lý khi mài nhằm tăng độ chính xác và tuổi bền khi mài*, Đề tài NCKH cấp Bộ mã số B2012-TN01-01, Bộ Giáo dục và Đào tạo.

### II. Tài liệu tiếng Anh

- [5] Brinksmeier E., Heinzl C., Wittmann M. (1999), “Friction, Cooling and Lubrication in Grinding”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 48, Issue 2, pp. 581-598.
- [6] Brinksmeier E., Werner F. (1992), “Monitoring of Grinding Wheel Wear”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 41, Issue 1, pp. 373-376.
- [7] Chen X, Allanson D. R., Rowe W. B. (1998), “Life cycle model of the grinding process”, *Computers in Industry*, Volume 36, Issues 1-2, 30 April, pp. 5-11.
- [8] Daneshia A., Jandaghi N., Tawakoli T. (2014), “Effect of Dressing on Internal Cylindrical Grinding”, *Applied 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting*, HPC2014: Procedia CIRP 14, pp. 37 – 41,
- [9] Doman D. A., Warkentin A., Bauer R. (2009), “Finite element modeling approaches in grinding”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 49, Issue 2, February, pp. 109-116.
- [10] Fritz Klocke (2009), *Manufacturing processes 2 – Grinding, honing, lapping*, Springer.

- [11] Hamid Baseri (2012), “Simulated annealing based optimization of dressing conditions for increasing the grinding performance”, *Int J Adv Manuf Technol*, No. 59, pp. 531–538.
- [12] Inasaki I. (1991), “Monitoring and Optimization of Internal Grinding Process”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 40, Issue 1, pp. 359-362.
- [13] Ioan D. Marinescu, Mike Hitchiner, EckartUhmman, W.Brian Rowe, Ichiro Inasaki (2007), *Handbook of Machining with Grinding Wheels*, CRC Press.
- [14] Jae-Seob Kwak, Man-Kyung Ha (2002), “Evaluation of Wheel Life by Grinding Ratio and Static Force”, *KSME International Journal*, Vol. 16, No. 9, pp. 1072-1077.
- [15] Jae-Seob Kwak, Sung-Bo Sim, Yeong-Deug Jeong (2006), “An analysis of grinding power and surface roughness in external cylindrical grinding of hardened SCM440 steel using the response surface method”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 46, Issues 3-4, March, pp. 304-312.
- [16] Kozuro L. M., Panov A. A., Remizovski E. I., Tristosepdov P. S. (1981), *Handbook of Grinding* (in Russian), Publish Housing of High-education, Minsk.
- [17] Krajnik P., Kopac J., Sluga A. (2005), “Design of grinding factors based on response surface methodology”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 162-163, 15 May, pp. 629-636.
- [18] Kruszyński B.W., Lajmert P. (2005), “An Intelligent Supervision System for Cylindrical Traverse Grinding”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 54, Issue 1, pp. 305-308.
- [19] Malkin S. (1989), *Grinding technology: Theory and Applications of Machining with abrasives*, Ellis Horwood Limited, Endland.
- [20] Milton C. Shaw (1996), *Principles of Abrasive Processing*, Oxford University Press.
- [21] Norton Catalog, *Diamond tools*, <http://www.nortonabrasives.com/> (truy cập 8/10/2015)

- [22] Peters J., Aerens R. (1980), “Optimization Procedure of Three Phase Grinding Cycles of a Series without Intermediate Dressing”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 29, Issue 1, pp. 195-200.
- [23] Ramesh Babu N., Radhakrishnan V. (1989), “Investigations on Laser Dressing of Grinding Wheels—Part II: Grinding Performance of a Laser Dressed Aluminum Oxide Wheel”, *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 111/253, AUGUST, pp. 253-261.
- [24] Salje E., Mackensen H. G. (1984), “Dressing of Conventional and CBN Grinding Wheels with Diamond Form Rollers”, *Annals of the CIRP*, Vol. 33/1, pp. 205-209.
- [25] Shen J. Y., Xu X. P., Lin B. and Xu Y. S. (2001), “Lap-grinding of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics assisted by Waterjet Dressing metal bond diamond wheel”, *Key Engineering Material*, Vols 202-203, pp.171-176.
- [26] Tönshoff H. K., Peters J., Inasaki I., Paul T. (1992), “Modelling and Simulation of Grinding Processes”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 41, Issue 2, pp. 677-688.
- [27] Trmal G. J., Zhu C. B., Midha P. S. (1992), “An expert system for grinding process optimization”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 33, Issue 4, September, pp. 507-517.
- [28] Warnecke G., Barth C. (1999), “Optimization of the Dynamic Behavior of Grinding Wheels for Grinding of Hard and Brittle Materials Using the Finite Element Method”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 48, Issue 1, pp. 261-264.
- [29] Winter Sain-Gobain (2015), *Catalogue No.5 Dressing Tools: WINTER diamond tools for dressing grinding wheels*, Full-Line Industrial Market.

### **III. Tài liệu tiếng Nga**

- [30] Наерман М.С. (1985), *Справчник молодого шлифовщика*, М. Высшая школа.