

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

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

**Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí
quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.**

Mã số: T2019-B31

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



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

**Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ tên)**

Lưu Anh Tùng

Thái Nguyên, Tháng 7/2021



DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI

1. ThS Chu Mạnh Cường - Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
2. ThS Nguyễn Thái Bình – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
3. ThS Hà Đức Thuận - Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
4. ThS. Hoàng Văn Quyết - Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
5. TS Phạm Quang Đồng- Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
6. ThS Phạm Ngọc Duy – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
7. ThS Trần Thế Long – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
8. ThS Hoàng Anh Toàn – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
9. ThS Trần Văn Quân – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
10. ThS. Đinh Trọng Hải - Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
11. ThS. Nguyễn Thuấn - Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.
12. ThS Vũ Như Nguyệt - Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên.

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN

Đơn vị: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi..

- Mã số: **T2019-B31**

- Chủ nhiệm đề tài: ThS. Lưu Anh Tùng

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

- Thời gian thực hiện: Tháng 8 năm 2019 đến 31 tháng 7 năm 2020

2. Mục tiêu: Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

3. Tính mới và sáng tạo: Đã xác định được chế độ sửa đá thông qua 3 giai đoạn: Sửa đá thô, sửa đá tinh và chạy không ăn dao đảm bảo các đơn mục là nhám bề mặt nhỏ nhất, dung sai độ phẳng nhỏ nhất, năng suất bóc tách lớn nhất và tuổi bền đá mài lớn nhất khi mài phẳng thép SKD11 bằng đá mài Hải Dương.

4. Kết quả nghiên cứu:

Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt nhám bề mặt nhỏ nhất: Sửa đá thô bốn lần với chiều sâu 0.015 mm, sửa đá tinh một lần với chiều sâu 0.01 mm, chạy không ăn dao 3 lần cùng với lượng chạy dao 1.6 m/ph. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $Ra = 0.208 \mu\text{m}$, sai lệch 11.23% so với dự đoán $Ra = 0.187 \mu\text{m}$.

Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt dung sai độ phẳng nhỏ nhất: Sửa đá thô một lần với chiều sâu 0.025 mm, sửa đá tinh hai lần với chiều sâu 0.005 mm, cùng với lượng chạy dao 1.6 m/ph, không thực hiện chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $F1 = 4.05 \mu\text{m}$, sai lệch 11.38% so với dự đoán $F1 = 4.57 \mu\text{m}$.

Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt năng suất bóc tách lớn nhất: Sửa đá thô hai lần với chiều sâu 0.015 mm với lượng chạy dao 1.6 m/ph, không sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $MRR = 2.63 \text{ mm}^3/\text{s}$, sai lệch 3.83% so với dự đoán $MRR = 2.532 \text{ mm}^3/\text{s}$.

Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt tuổi bền đá mài lớn nhất: Sửa đá thô ba lần với chiều sâu 0.015 mm với lượng chạy dao 1.6 m/ph, không thực hiện sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $T_w = 28.9 \text{ ph}$, sai lệch 3.6% so với dự đoán $T_w = 29.98 \text{ ph}$.

Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm nhám bề mặt nhỏ nhất trong khi năng suất bóc tách vật liệu là lớn nhất: $t_{rd} = 0.015 \text{ mm}$, $n_{rd} = 2 \text{ lần}$, $n_{non} = 4 \text{ lần}$, $S = 1.6 \text{ m/ph}$, không thực hiện sửa đá tinh.

Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm dung sai độ phẳng mặt nhỏ nhất trong khi năng suất bóc tách vật liệu là lớn nhất: sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{ra} = 0.025\text{mm}$, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{ra} = 0,005\text{ mm}$ cùng với lượng chạy dao $S = 1.6\text{ m/min}$, không thực hiện sửa đá chạy không ăn dao.

5. Sản phẩm: Đã đăng được 02 bài báo quốc tế có chỉ số Scopus Q3, 02 bài báo quốc tế có chỉ số Scopus Q4. (01 Q3; 03 - Q4)

- Tran Thi Hong, Bui Thanh Danh, Nguyen Anh Tuan, Vu Trung Tuyen, Luu Anh Tung, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, "Effect of Dressing Parameters on Material Removal Rate when Surface Grinding SKD11 Tool Steel", Materials Science Forum, ISSN: 1662-9752, Vol. 1020, pp 60-67, 2021.
- Tran Thi Hong, Vu Trung Tuyen, Luu Anh Tung, Do The Vinh, Nguyen Thi Quoc-Dung, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, "Improvement of Wheel Life by Optimization of Dressing Parameters in Surface Grinding of SKD11 Steel", Materials Science Forum, ISSN: 1662-9752, Vol. 1020, pp 68-74, 2021.
- Tran Thi Hong, Ngo Ngoc Vu, Nguyen-Huu Phan, Tran Ngoc Giang, Nguyen Thanh Tu, Le Xuan Hung, Bui Thanh Danh, and Luu Anh Tung "Multi Response Optimization of Dressing Conditions for Surface Grinding SKD11 Steel by HaiDuong Grinding Wheel Using Grey Relational Analysis in Taguchi Method": ICERA 2020, LNNS 178, pp. 560-571, 2021.
- Tran Thi Hong, Do The Vinh, Tran Vinh Hung, Tran Ngoc Giang, Nguyen Thanh Tu, Le Xuan Hung, Bui Thanh Danh, and Luu Anh Tung "Multi-objective Optimization of Surface Roughness and MRR in Surface Grinding of Hardened SKD11 Using Grey-Based Taguchi Method" ICERA 2020, LNNS 178, pp. 584-593, 2021.

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

Ngày tháng năm 2021

Chủ nhiệm đề tài

(ký, họ và tên)



Tổ chức chủ trì

KT. HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG

PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

Luu Anh Tùng

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: A study on measures to increase productivity and reduce costs of surface grinding process of SKD11 steel by Haiduong grinding wheel.

Code number: *T2019-B31*

Coordinator: Luu Anh Tung

Implementing institution: Thai Nguyen University of Technology

Duration: from 7/2019 to 7/2020

2. Objective(s): A study on measures to increase productivity and reduce costs of surface grinding process of SKD11 steel by Haiduong grinding wheel.

3. Creativeness and innovativeness: The dressing parameters include with 3 steps: rough dressing, fine dressing and non-feeding dressing to ensure the single targets are the smallest surface roughness, the smallest flatness tolerance, the largest material remove rate and longest wheel life when surface grinding SKD11 steel with Hai Duong grinding wheel.

4. Research results:

Optimized dressing parameter for surface roughness minimum: Dressing one time with depth of rough dressing cut (0.015 mm); three times with the depth of fine dressing cut (0.005 mm); three times with non-feeding dressing with same feed rate (1.6 m/min). The average surface roughness received after 3 times of the performed experiments is 0.208 μm . Deviation of these values is 11.23% comparing with the predicted values (0.187 μm).

Optimized dressing parameter for flatness tolerance minimum: Dressing one time with depth of rough dressing cut (0.025 mm); two times with the depth of fine dressing cut (0.005 mm) with same feed rate (1.6 m/min), the nonfeeding dressing was not used. The average flatness tolerance received after 3 times of the performed experiments is 4.05 μm . Deviation of these values is 11.38% comparing with the predicted values (4.57 μm).

Optimized dressing parameter for material remove rate maximum: Dressing two times with depth of rough dressing cut (0.015 mm) with feed rate (1.6 m/min), the fine dressing and the nonfeeding dressing were not used. The average material remove rate received after 3 times of the performed experiments is 2.63 mm^3/s . Deviation of these values is 3.83% comparing with the predicted values (2.532 mm^3/s).

Optimized dressing parameter for wheel life maximum: Dressing three times with depth of rough dressing cut (0.015 mm) with feed rate (1.6 m/min), the fine dressing and the nonfeeding dressing were not used. The average wheel life received

after 3 times of the performed experiments is 28.9 min. Deviation of these values is 3.6% comparing with the predicted values (29.98 min).

Optimized dressing wheel has been determined to minimize surface roughness while the material removal capacity is the largest: $t_{rd} = 0.015$ mm, $n_{rd} = 2$ times, $n_{non} = 4$ times, $S = 1.6$ m/min

Optimized dressing wheel has been determined to minimize the flatness tolerance while the material removal capacity is the largest: repair the rough stone 2 times with a depth of $t_{rd} = 0.025$ mm, repair the rough stone 2 times with a dimension. depth $t_{rd} = 0.005$ mm with feed rate $S = 1.6$ m/min.

5. Products: Published 04 international articles with Scopus index Q3.

- Tran Thi Hong, Bui Thanh Danh, Nguyen Anh Tuan, Vu Trung Tuyen, Luu Anh Tung, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, "Effect of Dressing Parameters on Material Removal Rate when Surface Grinding SKD11 Tool Steel", Materials Science Forum, ISSN: 1662-9752, Vol. 1020, pp 60-67, 2021.
- Tran Thi Hong, Vu Trung Tuyen, Luu Anh Tung, Do The Vinh, Nguyen Thi Quoc Dung, Nguyen Thanh Tu, Tran Ngoc Giang, Vu Ngoc Pi, "Improvement of Wheel Life by Optimization of Dressing Parameters in Surface Grinding of SKD11 Steel", Materials Science Forum, ISSN: 1662-9752, Vol. 1020, pp 68-74, 2021.
- Tran Thi Hong, Ngo Ngoc Vu, Nguyen Huu Phan, Tran Ngoc Giang, Nguyen Thanh Tu, Le Xuan Hung, Bui Thanh Danh, and Luu Anh Tung "Multi Response Optimization of Dressing Conditions for Surface Grinding SKD11 Steel by HaiDuong Grinding Wheel Using Grey Relational Analysis in Taguchi Method": ICERA 2020, LNNS 178, pp. 560-571, 2021.
- Tran Thi Hong, Do The Vinh, Tran Vinh Hung, Tran Ngoc Giang, Nguyen Thanh Tu, Le Xuan Hung, Bui Thanh Danh, and Luu Anh Tung "Multi objective Optimization of Surface Roughness and MRR in Surface Grinding of Hardened SKD11 Using Grey-Based Taguchi Method" ICERA 2020, LNNS 178, pp. 584-593, 2021.

6. Transfer alternatives, application institutions, impacts and benefits of research results:

MỤC LỤC

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI.....	1
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU.....	2
MỤC LỤC	6
DANH MỤC HÌNH VẼ	8
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	10
PHẦN MỞ ĐẦU.....	12
I. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu.....	12
II. Mục tiêu của đề tài.....	13
III. Đối tượng nghiên cứu.....	13
IV. Phạm vi nghiên cứu.....	13
V. Phương pháp nghiên cứu.....	13
PHẦN I: TỔNG QUAN VỀ TỐI ƯU HÓA CHẾ ĐỘ BÔI TRƠN LÀM MÁT VÀ CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ KHI MÀI PHẪNG.....	14
1.1. Tổng quan về tối ưu hóa chế độ công nghệ sửa đá khi mài.....	14
1.1.1. Mòn đá mài và tuổi bền của đá mài.....	14
1.1.2. Tổng quan về tối ưu hóa các thông số công nghệ sửa đá mài.....	17
1.2. Xác định mục tiêu.....	27
1.2.1. Sơ đồ và cơ sở của nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng	27
1.2.2. Lựa chọn thông số đầu vào.....	28
1.2.3. Các giải pháp nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng.....	28
PHẦN II: XÂY DỰNG HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM.....	30
2.1. Các giả thiết của thí nghiệm.....	30
2.2. Thiết bị thực hiện thí nghiệm.....	30
2.2.1. Máy mài, đá mài và thiết bị đo lực cắt.....	30
2.2.2. Phôi thí nghiệm.....	32
2.2.3. Thiết bị đánh giá chất lượng sản phẩm.....	33
2.3. Xây dựng quy hoạch thực nghiệm.....	34
2.3.1. Khái quát về phương pháp Taguchi.....	34
2.3.2. Các bước thiết kế ma trận thí nghiệm.....	34
2.3.3. Các bước tối ưu hóa sử dụng phân tích quan hệ mờ (Grey Relational Analysis – GRA).....	37

PHẦN III: TỐI ƯU HÓA CHẾ ĐỘ SỬ ĐÁ KHI MÀI THÉP SKD11 QUA TÔI BẰNG ĐÁ MÀI HẢI DƯƠNG..... 39

3.1. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu nhám bề mặt nhỏ nhất. 40

3.2. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu dung sai độ phẳng nhỏ nhất. 45

3.3. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu năng suất bóc tách lớn nhất. 51

3.4. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu tuổi bền đá mài lớn nhất. . 57

3.5 Tối ưu hóa đa mục tiêu nhám bề mặt và năng suất bóc tách..... 61

3.6. Tối ưu hóa đa mục tiêu dung sai độ phẳng và năng suất bóc tách 67

Kết luận chương 3:..... 73

PHẦN IV: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO..... 74

4.1. Kết luận chung..... 74

4.2. Hướng nghiên cứu tiếp theo 75

TÀI LIỆU THAM KHẢO 76

- Thầy Thanh :
+ SP : 2 bài Q3 + 2 bài Q4 => đã điền chính
thuyết minh đề tài.

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1. Các dạng mòn của đá mài [18].....	14
Hình 2. Quá trình mòn của đá [19]	15
Hình 3. Dụng cụ sửa đá kim cương một hạt [21]	17
Hình 4. Dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt [21].....	17
Hình 5. Quá trình sửa đá [21, 22, 23].....	18
Hình 6. Mòn đá mài vi mô [22, 23].....	18
Hình 7. Các dạng mòn đá mài [21, 22, 23].....	19
Hình 8. Ảnh hưởng của hệ số trùng khít đến nhấp nhô bề mặt đá mài R_t , [22, 23].	19
Hình 9. Chế độ cắt khi sửa đá [22, 23].....	20
Hình 10. Ảnh hưởng của U_d đến kết quả đầu ra khi mài [22].	20
Hình 11. Ảnh hưởng của lượng chạy dao khi sửa đá đến lực mài và độ nhám bề mặt khi mài [21].....	21
Hình 12. Sơ đồ sửa đá bằng bút sửa đá một hạt [29]	22
Hình 13. Ảnh hưởng lượng chạy dao dọc, chiều sâu sửa đá và góc gá mũi sửa đá đến độ nhám bề mặt gia công [31].....	22
Hình 14. Cách gá mũi sửa đá kim cương một hạt [31]	23
Hình 15. Hình dạng của một hạt mài sau sửa đá [31].....	24
Hình 16. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng bút sửa đá một hạt theo [34]	24
Hình 17. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng mũi sửa đá nhiều hạt [34].	25
Hình 18. Sơ đồ nghiên cứu thực nghiệm khi mài phẳng.....	27
Hình 19. Mô hình nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng.....	28
Hình 20. Máy mài phẳng MOTO – YOKOHAMA.....	30
Hình 21. Đá mài	31
Hình 22. Đầu đo lực Kistler 9257BA.....	31
Hình 23. Bút sửa đá kim cương nhiều hạt.....	31
Hình 24. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.....	32
Hình 25. Máy đo độ nhám SJ-201 của hãng Mitutoyo – Nhật Bản.....	33
Hình 26. Máy đo tọa độ CMM 544 – Mitutoyo	34
Hình 27. Đầu đo tiếp xúc TP20 – Hãng RENISHAW ^R	34
Hình 28. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến R_a khi sửa đá	42
Hình 29. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của R_a khi sửa đá.	44
Hình 30. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến F_l khi sửa đá.....	47

Hình 31. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá	49
Hình 32. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến MMR khi sửa đá	53
Hình 33. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá	55
Hình 34. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến Tw khi sửa đá	58
Hình 35. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá	61
Hình 36. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số (Factor effects on grade values).....	64
Hình 37. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số (Factor effects on grade values).....	70

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. Lựa chọn lượng chạy dao sửa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng bút sửa đá một hạt [34].....	24
Bảng 2. Lựa chọn lượng chạy dao sửa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng mũi sửa đá nhiều hạt [34]	25
Bảng 3. Chế độ sửa đá khi sử dụng đầu sửa đá kim cương nhiều hạt của Winter [35].	25
Bảng 4. Chế độ sửa đá khi sử dụng đầu sửa đá kim cương nhiều hạt [33].....	26
Bảng 5. Thông số kỹ thuật của máy mài phẳng.....	31
Bảng 6. Thành phần hóa học các nguyên tố.....	32
Bảng 7. Chế độ nhiệt luyện.....	32
Bảng 8. Các mức thí nghiệm tối ưu hóa của các thông số a_r , n_r , a_f , n_f và S.	39
Bảng 9. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa theo a_r , n_r , a_f , n_f và S.	39
Bảng 10. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa, kết quả đo, và tỷ số S/N của chỉ tiêu nhám bề mặt.	40
Bảng 11. ANOVA giá trị Ra khi sửa đá.....	41
Bảng 12. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến Ra khi sửa đá.....	41
Bảng 13. ANOVA tỉ số S/N của Ra khi sửa đá.....	43
Bảng 14. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá.....	44
Bảng 15. Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm sửa đá theo các thông số đầu vào a_r , n_r , a_f , n_f , n_{non} và S	45
Bảng 16. ANOVA giá trị Fl khi sửa đá.....	46
Bảng 17. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến Fl khi sửa đá.....	46
Bảng 18. ANOVA tỉ số S/N của Fl khi sửa đá	48
Bảng 19. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của MMR khi sửa đá..	48
Bảng 20.. Phân tích phương sai khi đưa a_f vào phân tích lỗi.....	49
Bảng 21. Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm sửa đá theo các thông số đầu vào a_{edr} , n_r , a_{edf} , n_f , n_{non} và S.....	51
Bảng 22. ANOVA giá trị MMR khi sửa đá.	52
Bảng 23. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến MMR khi sửa đá.	52
Bảng 24. ANOVA tỉ số S/N của MMR khi sửa đá.....	54
Bảng 25. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của MMR khi sửa đá..	55
Bảng 26. Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm sửa đá theo các thông số đầu vào a_{edr} , n_r , a_{edf} , n_f , n_{non} và S.....	57
Bảng 27. ANOVA giá trị Tw khi sửa đá.....	57

Bảng 28. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến T_w khi sửa đá.....	58
Bảng 29. ANOVA tỉ số S/N của T_w khi sửa đá.....	60
Bảng 30. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của T_w khi sửa đá.....	60
Bảng 31. SN ratio values, normalized SN ratio values and the absolute value.....	62
Bảng 32. Trị số quan hệ mờ của từng thông số và trị số trung bình.....	63
Bảng 33. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ mờ (Main effects on grey grades).....	63
Bảng 34. Results of ANOVA on grey grade.....	64
Bảng 35. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.....	66
Bảng 36. SN ratio values, normalized SN ratio values and the absolute value.	68
Bảng 37. Trị số quan hệ mờ của từng thông số và trung bình.....	69
Bảng 38. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ mờ (Main effects on grey grades).....	69
Bảng 39. Results of ANOVA on grey grade.....	70
Bảng 40. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.....	72

PHẦN MỞ ĐẦU

I. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu.

Gia công mài nói chung và mài phẳng nói riêng được sử dụng khá rộng rãi để gia công tinh và bán tinh trong ngành chế tạo cơ khí. Chi phí cho gia công mài nói chung chiếm khoảng 1/4 chi phí gia công cơ cho các sản phẩm cơ khí. Do vậy, các nghiên cứu về mài nói chung và về mài phẳng nói riêng đã thu hút sự chú ý của các nhà nghiên cứu trong nước và quốc tế.

Cho đến nay đã có khá nhiều nghiên cứu về mài cũng như về mài phẳng. Về cơ sở lý thuyết của quá trình mài đã được các tác giả giới thiệu trong [1] và [2]. Nghiên cứu về sửa đá mài đã có khá nhiều công bố. Các phương pháp sửa đá với các dụng cụ sửa khác nhau đã được khảo sát như nghiên cứu sửa đá bằng mũi sửa đá kim cương một hạt [3], sửa đá bằng đĩa sửa đá kim cương [4], sửa đá bằng laser [5] và sửa đá điện hóa [6]. Các nhà nghiên cứu còn tiến hành mô phỏng topography của đá [7], đánh giá chất lượng bề mặt gia công sau khi sửa [8, 9], sửa đá để mài các vật liệu khác nhau như thép F-5229 [10], gốm [11] và các bit vonfram [12]...

Các tác giả trong [13] đã tiến hành một nghiên cứu về tối ưu hóa on-line quá trình mài lỗ ở lần nhằm giảm thời gian gia công mà vẫn đảm bảo chất lượng khi mài. Kết quả nghiên cứu đã góp phần giảm thời gian mài lỗ ở lần từ 50-70%. Trong [14] đã trình bày nghiên cứu tối ưu hóa các thông số quá trình mài, thời gian mài với hàm mục tiêu lực hướng kính.

Ngoài ra, đã có khá nhiều các nghiên cứu về tối ưu hóa quá trình mài để lựa chọn các thông số mài tối ưu như xác định vận tốc quay của đá, vận tốc quay của phôi, chiều sâu sửa đá tối ưu vv... Các nghiên cứu này đã thực hiện cho mài phẳng [15], và cho mài tròn ngoài [16, 17]. Bên cạnh đó, vấn đề tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình mài cũng đã được khảo sát [17].

Từ các phân tích trên có thể thấy cho đến nay có khá nhiều nghiên cứu về mài nói chung cũng như về mài phẳng nói riêng. Tuy nhiên nghiên cứu giải bài toán tối ưu hóa khi mài phẳng nhằm nâng cao năng suất và giảm chi phí khi mài phẳng thép SKD11 qua tôi còn chưa được quan tâm. Chính vì vậy "*Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm giá thành quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi*" là cấp thiết.

II. Mục tiêu của đề tài.

Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

III. Đối tượng nghiên cứu.

Các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

IV. Phạm vi nghiên cứu.

Các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

V. Phương pháp nghiên cứu.

Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm.

PHẦN I: TỔNG QUAN VỀ TỐI ƯU HÓA CHẾ ĐỘ BÔI TRƠN LÀM MÀI VÀ CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ KHI MÀI PHẪNG.

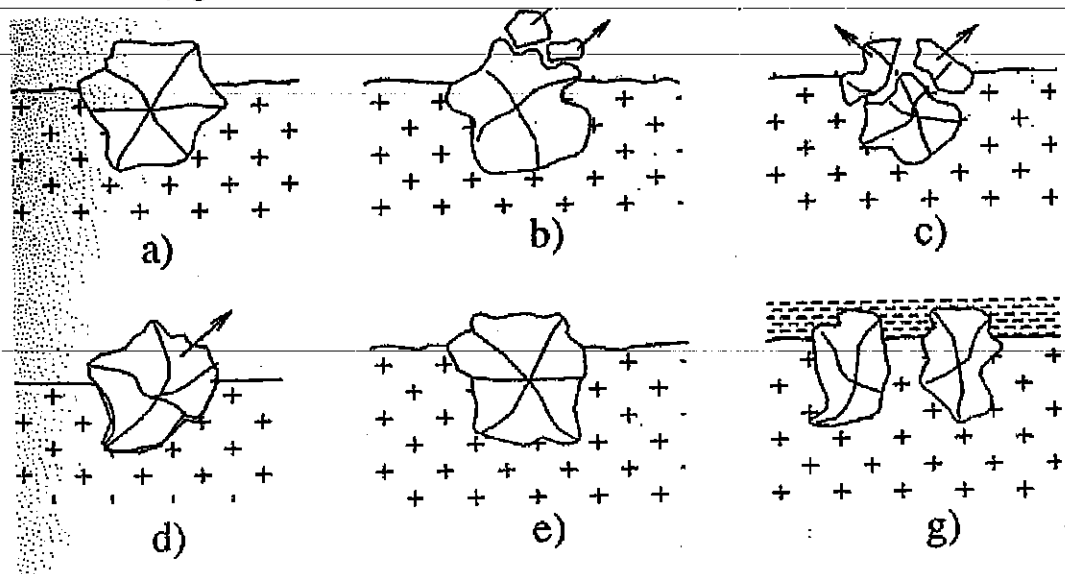
1.1. Tổng quan về tối ưu hóa chế độ công nghệ sửa đá khi mài.

1.1.1. Mòn đá mài và tuổi bền của đá mài

1.1.1.1. Mòn của đá mài

Mòn là quá trình làm thay đổi kích thước, hình dạng và khả năng cắt của hạt mài và do đó làm thay đổi dạng bề mặt và kích thước 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 ... [7]. Mòn của đá mài ảnh hưởng lớn đến nhiệt cắt, lực cắt khi mài và từ đó ảnh hưởng lớn đến năng suất, chất lượng của quá trình gia công.

Các dạng mòn cơ bản khi mài được thể hiện như trên Hình 1 [7], bao gồm:



Hình 1. Các dạng mòn của đá mài [18]

- Mài mòn đỉnh các hạt mài, tạo ra các diện tích mòn trên bề mặt hạt mài (Hình 1a);
- Phá hủy tế vi hạt mài, làm các phần nhỏ của hạt mài tách khỏi hạt mài (Hình 1b);
- Hạt mài bị phá hủy; hạt bị vỡ thành các mảnh lớn và bật ra khỏi bề mặt làm việc của đá (Hình 1c);
- Hạt mài bị bật khỏi bề mặt làm việc của đá (Hình 1d);
- Hạt mài bị phá hủy do phản ứng hóa học ở vùng tiếp xúc giữa hạt mài và vật liệu gia công ở nhiệt độ cao (mòn do khuếch tán hoặc do dính) (Hình 1e);
- Phoi bị chèn ép vào lỗ trống giữa các hạt làm mất khả năng cắt của đá (Hình 1g).

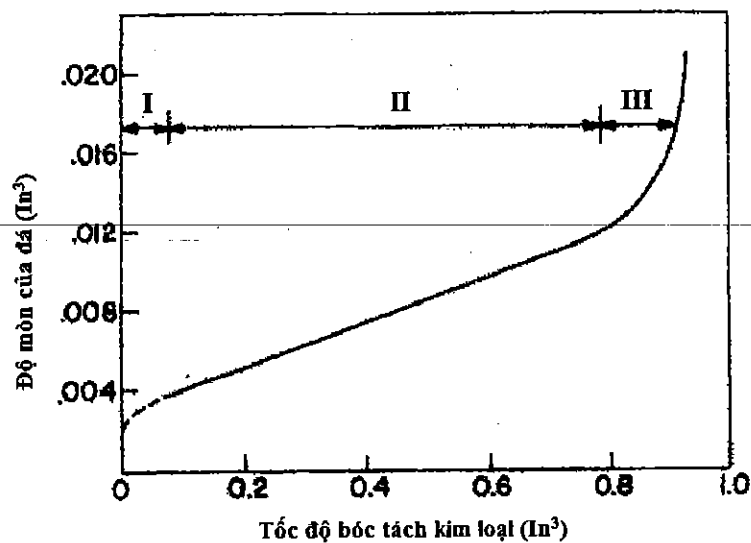
Các dạng mòn trên xuất hiện đồng thời trong quá trình mài. Tuy nhiên, tùy theo điều kiện gia công mà sẽ có những dạng mòn chiếm ưu thế [18].

Quá trình mòn của đá mài chia làm 3 giai đoạn như được thể hiện trên Hình 2 [19]:

- Giai đoạn I là 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 là giai đoạn mòn ổn định. Thời gian làm việc (hoặc tuổi bền) của đá được tính chủ yếu trong giai đoạn này. Độ mòn của đá trong giai đoạn này phụ thuộc chủ yếu vào tải trọng cơ nhiệt.

- Giai đoạn III là giai đoạn mòn khốc liệt. Ở giai đoạn này, các hạt đá mài đã bị mài mất các cạnh sắc, các lỗ trống trên bề mặt đá mài bị phoi và các sản phẩm của quá trình mòn lấp đầy dẫn đến đá mất khả năng cắt. Vì vậy, phải tiến hành sửa đá để khôi phục khả năng cắt của đá mài.



Hình 2. Quá trình mòn của đá [19]

1.1.1.2. 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 phương pháp sau [18, 20]:

- *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 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 tuy không chính xác nhưng đơn giản, rẻ tiền nên thường dùng trong sản xuất đơn chiếc, loạt nhỏ.

- *Gia công thử nghiệm các chi tiết*: Phương pháp này thực hiện bằng cách tiến hành gia công thử nghiệm các chi tiết 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* : Phương pháp này dựa trên sự tăng của lực P_y hoặc P_z khi đá mòn để xác định thời điểm sửa đá. Do đó 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*: Thời điểm sửa đá sẽ được quyết định bởi năng suất giới hạn (chiều sâu bóc tách kim loại giới hạn của hạt mài) khi mài.

- *Thông qua nhiệt cắt khi mài*: 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 nhưng 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) của P_y đến rung động do đá mòn.

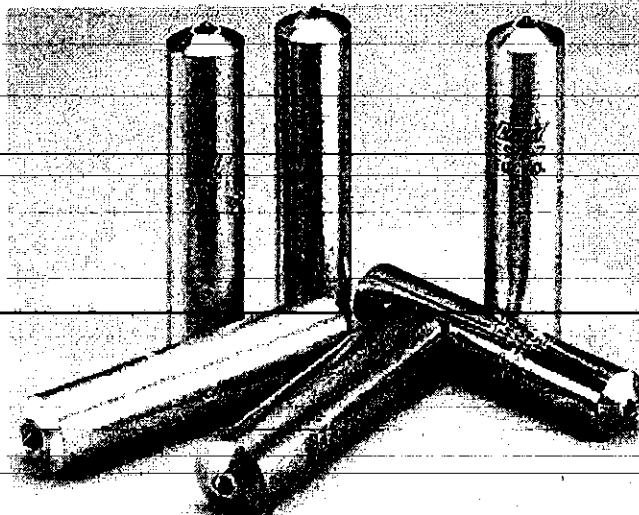
1.1.1.3. Dụng cụ sửa đá

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, sửa đá bằng laser vv... Các đá mài truyền thống (đá SiC hoặc Corindon) thường sửa đá bằng dụng cụ sửa đá tĩnh với bút sửa đá kim cương một hạt hoặc nhiều hạt [20]. Phương pháp sửa đá bằng dụng cụ sửa đá tĩnh có nguyên lý giống như phương pháp tiện, trong đó dụng cụ sửa đá đóng vai trò dao tiện còn đá mài đóng vai trò phôi. Phương pháp sửa đá này thường được sử dụng vì đơn giản, độ tin cậy cao, năng suất và chất lượng bề mặt sửa đá tốt.

Dụng cụ sửa đá kim cương gồm hai loại là loại một hạt và loại nhiều hạt.

- *Dụng cụ sửa đá kim cương một hạt (Hình 3) [21]*: Góc ở đỉnh hạt kim cương thường là 60° hoặc 90° . Loại này thường để sửa và tạo biên dạng định hình cho đá.

- *Dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt (Hình 4) [21]*: Là loại dùng phổ biến và kinh tế nhất để sửa đá có biên dạng thẳng.



Hình 3. Dụng cụ sửa đá kim cương một hạt [21]



Hình 4. Dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt [21]

Với đá mài Hải Dương (đá mài truyền thống), trên thực tế thường dùng đá SiC hoặc Corindon, chất dính kết thường dùng là Keramit hoặc Bakelit. Với các loại đá này, quá trình tạo biên dạng đồng thời là quá trình làm sắc và được gọi chung là quá trình sửa đá, chọn dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt.

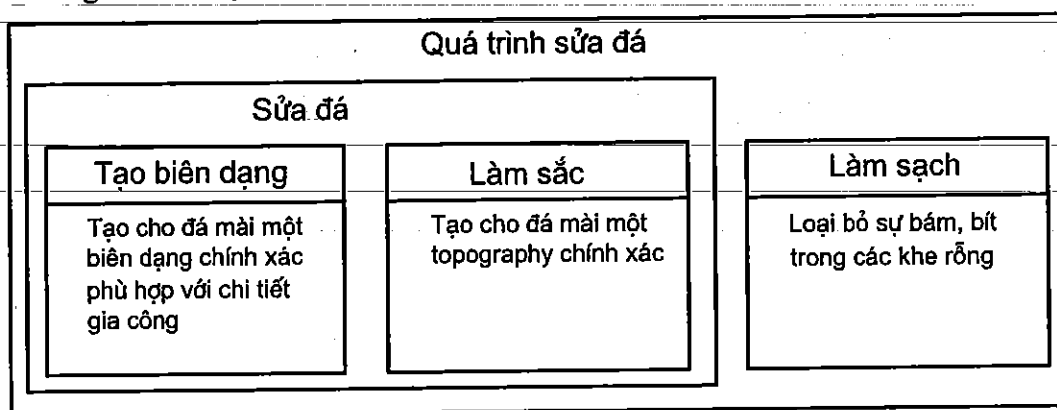
1.1.2. Tổng quan về tối ưu hóa các thông số công nghệ sửa đá mài

Đá mài trước khi làm việc và khi bị mòn (hết tuổi bền) thì phải sửa đá. Cho đến nay đã có khá nhiều nghiên cứu về sửa đá khi mài. Quá trình sửa đá thông thường bao gồm hai giai đoạn là sửa đá và làm sạch (như Hình 5) [21, 22, 23].

Sửa đá bao gồm hai quá trình là tạo biên dạng và làm sắc. Mục tiêu là thay thế và làm mới bề mặt đá mài. Quá trình sẽ hạ thấp độ cao của chất dính kết trên chiều cao

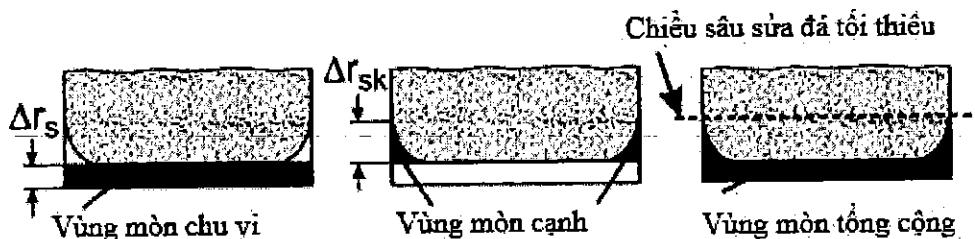
biên dạng đá để tạo không gian chứa phoi và làm cho các hạt mài nhô ra khỏi chất dính kết và tạo các lưỡi cắt trên các hạt mài [18]. Điều này rất cần thiết cho lần đầu tiên sử dụng đá mài. Mặt khác, chất lượng bề mặt sản phẩm chỉ có thể được duy trì đồng nhất bằng cách lặp lại bề mặt đá trong suốt quá trình mài. Bề mặt đá sau sửa có ảnh hưởng quyết định đến khả năng cắt, tuổi bền, khả năng công nghệ của đá mài, góp phần nâng cao độ chính xác và chất lượng bề mặt gia công đồng thời tăng hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của quá trình mài.

Làm sạch đá mài nhằm loại bỏ các vết bẩn, bột và cặn bám làm tắc nghẽn các lỗ trống trên bề mặt đá mài.

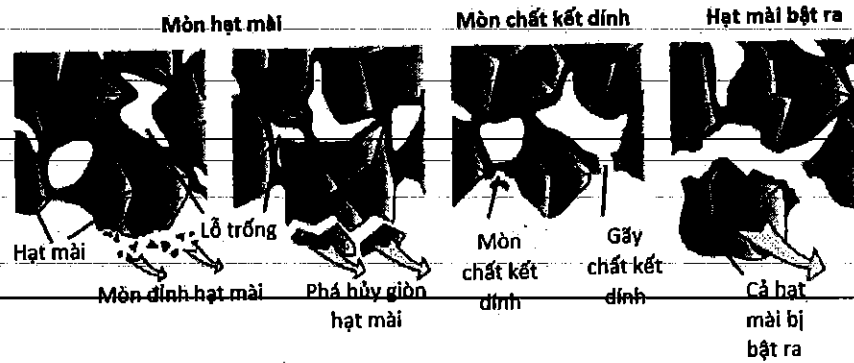


Hình 5. Quá trình sửa đá [21, 22, 23].

Trong suốt quá trình mài, đá mài luôn chịu tác động của cơ, nhiệt và hóa học phức tạp làm cho đá bị mòn. Sự mòn vĩ mô được mô tả gồm mòn chu vi và mòn cạnh (Hình 6). Mòn vi mô bao gồm mòn hạt mài, mòn chất kết dính và hạt mài bị bật ra (Hình 7) [21, 22, 23]. Chiều sâu sửa đá tối thiểu phải hết lớp mòn này.



Hình 6. Mòn đá mài vĩ mô [22, 23].



Hình 7. Các dạng mòn đá mài [21, 22, 23].

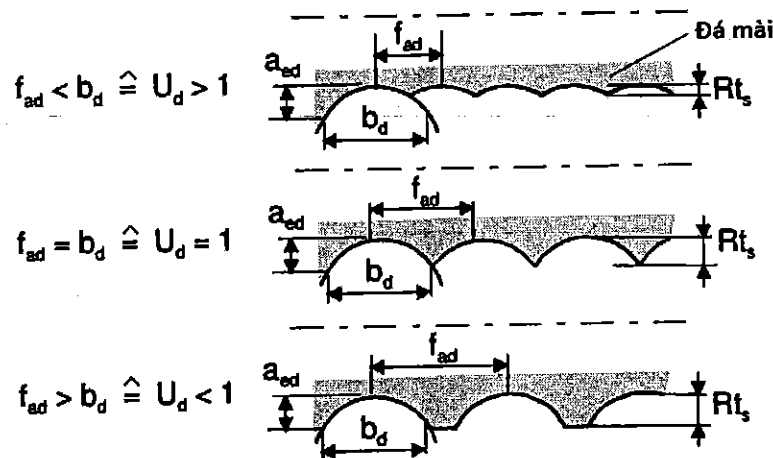
Cũng theo [22, 23], các thông số đầu vào của quá trình sửa đá phụ thuộc vào dụng cụ sửa đá và quy trình sửa đá (Hình 8). Chiều sâu cắt khi sửa đá a_{ed} (trong nghiên cứu này là a) là đại lượng dùng để xác định chiều rộng của dụng cụ sửa đá b_d . Số lượng vết tiếp xúc của bề mặt đá mài và dụng cụ sửa đá được đặc trưng bởi hệ số trùng khít U_d (Hình 9) xác định bởi tỉ số giữa chiều rộng cắt a_{pd} với lượng chạy dao dọc sau mỗi vòng quay của đá f_{ad} như sau:

$$U_d = \frac{a_{pd}}{f_{ad}} = \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{(2r_{pd}a_{ed})}}{f_{ad}} \quad (1)$$

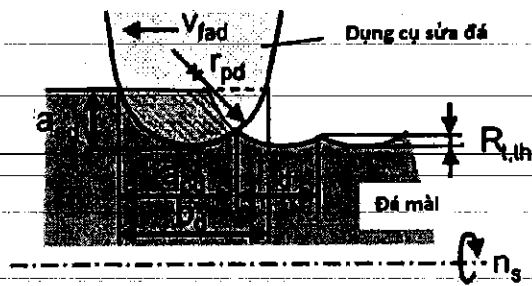
Trong đó: r_{pd} là bán kính của dụng cụ sửa đá; a_{pd} và b_d có thể xác định như sau.

$$a_{pd} = \frac{1}{2} \cdot (b_d + f_{ad}) \quad (2)$$

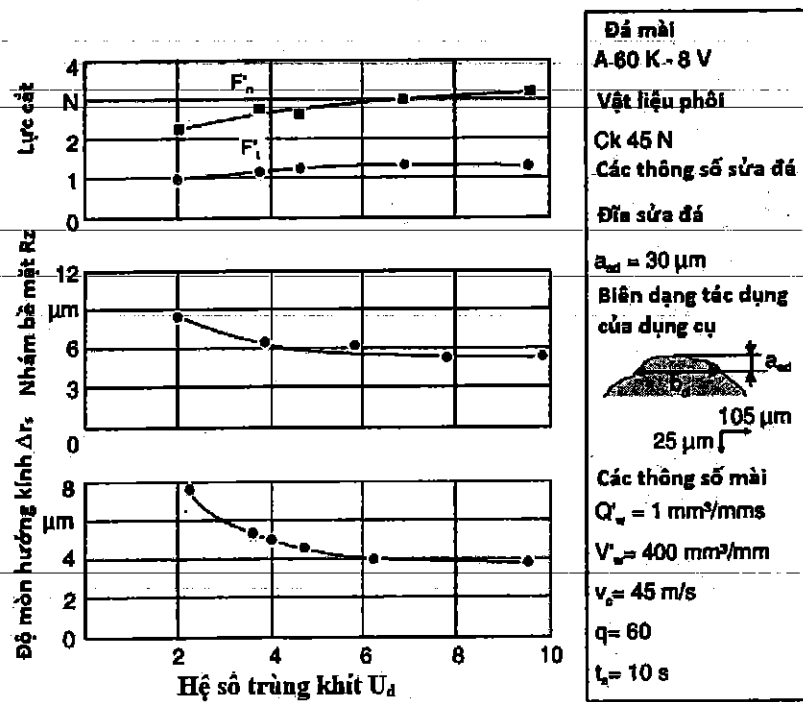
$$b_d = \sqrt{(8r_{pd}a_{ed})} \quad (3)$$



Hình 8. Ảnh hưởng của hệ số trùng khít đến nhấp nhô bề mặt đá mài Rt_s [22, 23].



Hình 9. Chế độ cắt khi sửa đá [22, 23].



Hình 10. Ảnh hưởng của U_d đến kết quả đầu ra khi mài [22].

Giả sử chiều rộng cắt a_{pd} bằng chiều rộng dụng cụ sửa đá b_p , khi đó U_d được xác định theo biểu thức sau:

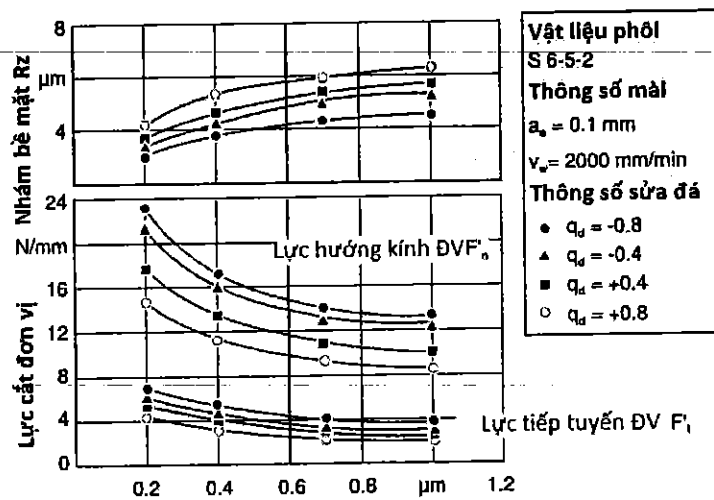
$$U_d = \frac{b_d}{f_{ad}} = \frac{\sqrt{(8r_{pd}a_{ed})}}{f_{ad}} \quad (4)$$

U_d ảnh hưởng mạnh đến chất lượng đầu ra khi mài và được thể hiện như Hình 10 [22]. Thêm vào đó, các tác giả [23] cũng đã ứng dụng các kỹ thuật tiên tiến (laser) để khảo sát trực tiếp khả năng cắt sau sửa đá cũng như độ mòn của đá trong quá trình mài. Việc áp dụng các kỹ thuật tiên tiến dựa trên cảm biến dòng xoáy để đo trực tiếp topography bề mặt đá mài WA60K7V (127x264x25 mm), sửa đá sử dụng laser cũng đã được nghiên cứu trong [24]. Theo đó, việc quyết định thời gian sửa đá

dựa quan hệ giữa tải trọng của đá mài và nhám bề mặt gia công. Chiều sâu sửa đá được quyết định dựa vào phân tích topography của đá mài.

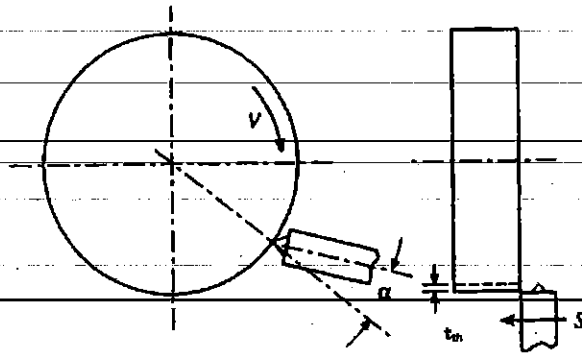
Độ mòn của đá mài A465-K5-V30W khi mài vật liệu gang cứng cũng như chế độ sửa đá tối ưu cũng đã được đề cập đến trong [30]. Nghiên cứu về tối ưu hóa các thông số của quá trình sửa đá gồm: Tỉ số tốc độ của bánh xe sửa đá và tốc độ đá mài, lượng chạy dao dọc và chiều sâu sửa đá để giảm lực cắt quá trình mài nhằm đạt độ nhám bề mặt theo yêu cầu đã được thực hiện cho đá mài A46K6V, vật liệu chi tiết là SPK 12080 qua tôi sử dụng bánh xe sửa đá [31]. Đánh giá tuổi bền của đá mài WA80 và WA100 thông qua tỉ số mài, nhám bề mặt, số chi tiết mài và lực cắt khi mài vật liệu STD2, STD11, SUS304 cũng đã được khảo sát trong [26]. 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 [27] khi mài vật liệu 100Cr6 qua tôi bằng đá mài SiC.

Fritz Klocke [21] đã khảo sát ảnh hưởng của chiều sâu sửa đá và tỉ số tốc độ khi sửa đá đến lực mài và độ nhám bề mặt khi mài khi sửa đá bằng bánh xe sửa đá (Hình 11). Từ hình vẽ có thể thấy, lượng chạy dao 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.



Hình 11. Ảnh hưởng của lượng chạy dao khi sửa đá đến lực mài và độ nhám bề mặt khi mài [21]

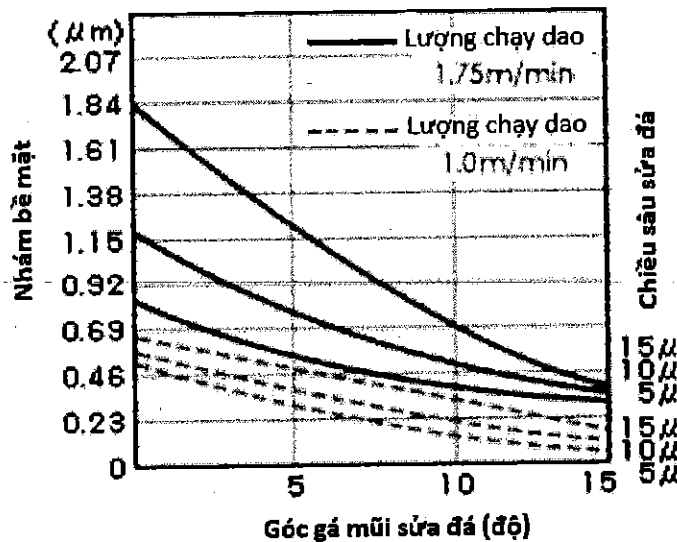
Milton C. Shaw [29] đã hướng dẫn chế độ công nghệ sửa đá (như trên Hình 12) khi mài ngoài như sau: Với mũi sửa đá kim cương một hạt, góc nghiêng $\alpha = 10^\circ \div 20^\circ$; khi sửa đá thô thì chiều sâu sửa đá $t_{th} \geq 25 \mu\text{m}$ và lượng chạy dao $f_{ad} \geq 500 \mu\text{m}/\text{vòng}$; khi sửa đá tinh thì $t_t \leq 12,5 \mu\text{m}$ và $f_{ad} \leq 125 \mu\text{m}/\text{vòng}$.



Hình 12. Sơ đồ sửa đá bằng bút sửa đá một hạt [29]

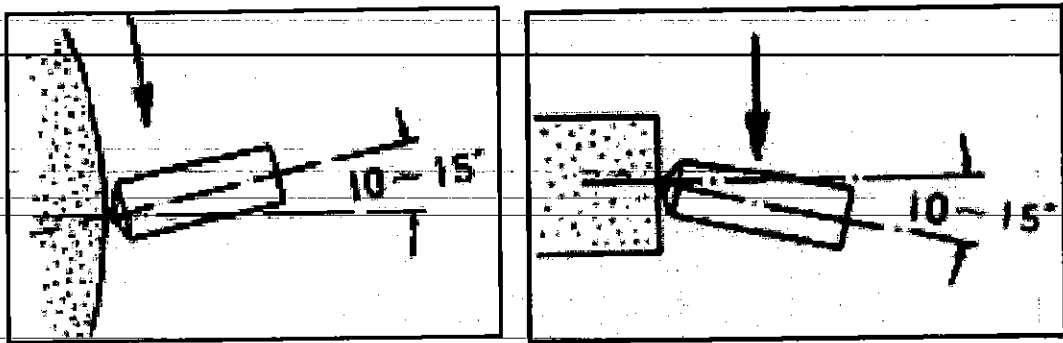
Sửa đá khi mài phẳng nhằm đạt được độ nhám bề mặt $Ra = 0,32 \div 1,25 \mu m$ đã được đề xuất trong [30] với chế độ công nghệ như sau: Với mũi sửa đá kim cương nhiều hạt, lượng chạy dao dọc $S = 1,5 \text{ m/ph}$; sửa 4 lần với chiều sâu sửa đá $t_h = 0,03 \text{ mm/HT}$ sau đó chạy không ăn dao 4 lần. Với mũi sửa đá kim cương một hạt, lượng chạy dao dọc $S = 1,0 \text{ m/ph}$; sửa 6 lần với chiều sâu sửa đá $t_h = 0,02 \text{ mm/HT}$ sau đó chạy không ăn dao 4 lần.

S. Malkin [31] đã đưa ra chế độ sửa đá với dụng cụ sửa đá kim cương như sau: Khi sử dụng mũi sửa kim cương một hạt: $f_{ad} < 0,2 \text{ mm/vòng}$; $0,01 \text{ mm} \leq t_h \leq 0,03 \text{ mm}$. Khi sử dụng mũi sửa kim cương nhiều hạt: $f_{ad} < 0,5 \text{ mm/vòng}$; $0,01 \text{ mm} \leq t_h \leq 0,05 \text{ mm}$



Hình 13. Ảnh hưởng lượng chạy dao dọc, chiều sâu sửa đá và góc gá mũi sửa đá đến độ nhám bề mặt gia công [31]

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 ngoài sửa đá bằng mũi sửa kim cương một hạt (Hình 13) đã được chỉ ra trong [31]. Trong tài liệu này cũng 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 14).



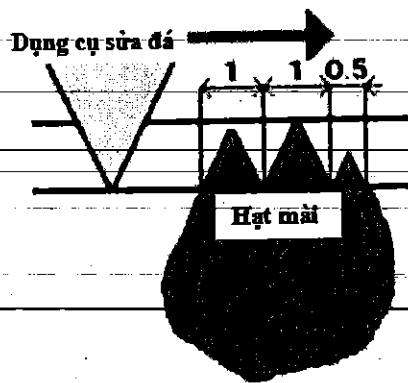
Hình 14. Cách gá mũi sửa đá kim cương một hạt [31]

Ngoài ra, lượng chạy dao khi sửa đá phụ thuộc vào tốc độ quay của đá mài và kích thước hạt mài. Theo đó, lượng chạy dao được xác định theo công thức (5):

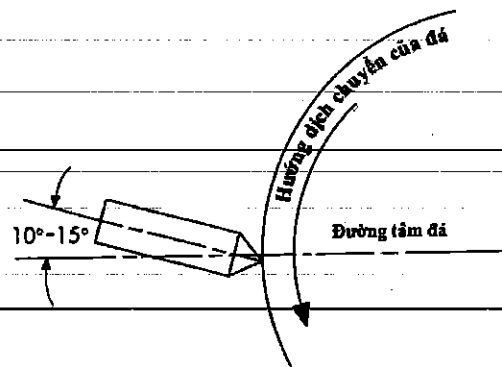
$$S = (d \cdot n_d) / 2,5 \quad (5)$$

Trong đó: S là lượng chạy dao sửa đá [mm/phút]; d là đường kính danh nghĩa của hạt mài [mm]; n_d là tốc độ quay của đá [vòng/phút].

Sau khi sửa đá, hạt mài có dạng như trên Hình 15. Ảnh hưởng của chiều sâu sửa đá cũng được đề cập. Tuy ảnh hưởng của chiều sâu sửa đá đến hiệu suất mài không bằng của lượng chạy dao nhưng có thể thay đổi trạng thái gãy (vỡ) của hạt mài, do đó ảnh hưởng đến nhám bề mặt sau mài. Chiều sâu sửa đá không nhỏ hơn 0,005 mm khi mài tinh. Với mài thông thường, chiều sâu cắt khoảng 0,01 ÷ 0,03 mm để làm gãy (vỡ) hạt mài đúng cách. Đối với mài thô, chiều sâu sửa đá khoảng 0,04 mm, một phần để phá vỡ liên kết với chất kết dính, một phần mở rộng khoảng cách hạt và làm tăng đáng kể lượng bóc tách vật liệu. Mặt khác, theo [31], cũng khẳng định: Tổng chiều sâu sửa đá có thể làm thay đổi độ mòn và tắc nghẽn của hạt mài. Hiệu suất mài không thể được cải thiện khi chiều sâu sửa đá không đủ. Đối với mài thông thường, chiều sâu sửa đá bằng khoảng 10 ÷ 30% đường kính danh nghĩa của hạt mài.



Hình 15. Hình dạng của một hạt mài sau sửa đá [31]



Hình 16. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng bút sửa đá một hạt theo [34]

Công ty Norton [34] đưa ra hướng dẫn chế độ công nghệ sửa đá khi mài ngoài dùng dụng cụ sửa đá kim cương một hoặc nhiều hạt như sau: (i) chiều sâu sửa đá được chọn không đổi; (ii) lượng chạy dao được lựa chọn theo nhám bề mặt của chi tiết sau gia công. Khi sửa đá bằng bút sửa đá kim cương một hạt, sơ đồ gá đặt được thể hiện như trên Hình 16, chế độ sửa đá được thực hiện như sau:

- Góc gá mũi sửa đá nghiêng so với đường tâm đá $10^\circ \div 15^\circ$.
- Điểm tiếp xúc phải nằm phía dưới đường tâm đá một lượng nhỏ như trên hình.
- Luôn sử dụng dung dịch làm mát khi sửa đá.
- Chiều sâu sửa đá là 0,001 inch/lần, tổng chiều sâu sửa đá 0,002 ÷ 0,01 (inch).
- Lượng chạy dao sửa đá được chọn phụ thuộc vào nhám bề mặt như trên Bảng 1. Tuy nhiên, khi sửa đá bằng mũi sửa đá kim cương nhiều hạt, sơ đồ gá đặt được thể hiện như trên Hình 17. Chế độ sửa đá được khuyến nghị như sau:
- Bề mặt mũi sửa đá phải tiếp xúc hoàn toàn với đá mài.
- Chiều sâu sửa đá 0,001 ÷ 0,002 inch/lần.
- Luôn sử dụng dung dịch trơn nguội.
- Lượng chạy dao chọn theo nhám bề mặt (Bảng 2).

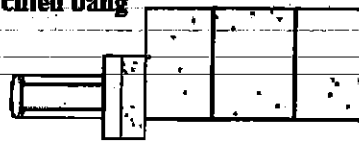
Bảng 1. Lựa chọn lượng chạy dao sửa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng bút sửa đá một hạt [34]

Nhám bề mặt (μm)	Lượng chạy dao vòng (inch/vòng)
0,64	0,008 ÷ 0,01
0,32	0,005 ÷ 0,009
0,16	0,002 ÷ 0,004

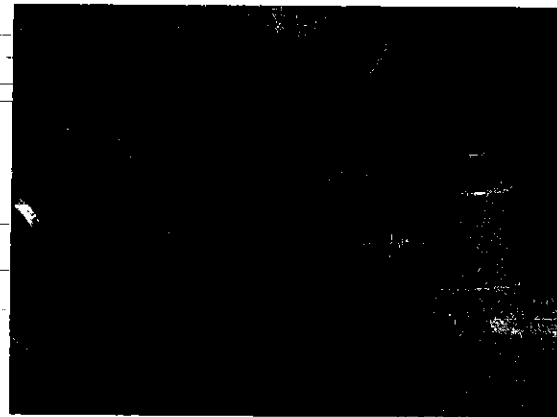
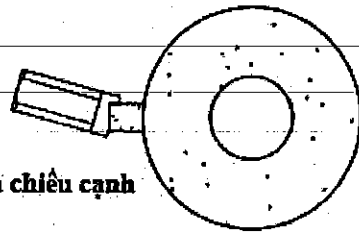
Bảng 2. Lựa chọn lượng chạy dao sửa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng mũi sửa đá nhiều hạt [34]

Nhám bề mặt (μm)	Lượng chạy dao vòng (mm/vòng)
0,64	$0,58 \div 0,76$
0,32	$0,33 \div 0,57$
0,16	$0,15 \div 0,33$

Hình chiếu bằng



Hình chiếu cạnh



Hình 17. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng mũi sửa đá nhiều hạt [34].

Công ty Winter [35] cũng giới thiệu chế độ công nghệ khi sửa đá bằng dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt cho trường hợp mài ngoài. Theo tài liệu này, lượng chạy dao dọc của dụng cụ sửa đá S_{sd} phụ thuộc vào độ hạt của đá và tốc độ đá mài (vòng/phút) (Bảng 3). Chiều sâu sửa đá $t_{th} = 0,01 \div 0,03$ mm.

Bảng 3. Chế độ sửa đá khi sử dụng đầu sửa đá kim cương nhiều hạt của Winter [35].

Độ hạt của đá	f_{ad} (mm/v)	Tốc độ quay của đá mài (vòng/phút)									
		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 S (mm/ph)

Nepman M.C. [33] đề xuất chế độ công nghệ sửa đá cho mài phẳng 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) (*Error! Not a valid bookmark self-reference.*).

Bảng 4. Chế độ sửa đá khi sử dụng đầu sửa đá kim cương nhiều hạt [33]

Độ nhám bề mặt	S	Chiều sâu sửa đá (mm/HT)				Số hành trình
		Khi sửa thô		Khi sửa tinh		
Ra (μm)	(mm/ph)	Chiều sâu	Số hành trình	Chiều sâu	Số hành trình	không ăn dao
0,8	0,15÷0,25			0,01		1 lần
0,4	0,08÷0,15	0,02÷0,03	2-3 lần	0,01	1-2 lần	1-2 lần
0,2	0,05÷0,08			0,005		1-2 lần

Trần Minh Đức [18] 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 cũng chỉ rõ, với chi tiết gia công thép 45 nhiệt luyện nên chọn lượng chạy dao dọc S_{ed} và chiều sâu sửa đá a_{ed} nhỏ. Ngược lại, khi mài thép 45 thường hóa thì các giá trị này nên chọn lớn hơn.

Bên cạnh đó, topography của đá mài và vấn đề sửa đá mài cũng được các tác giả trong nước quan tâm. 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 [36, 37]. Phương pháp đánh giá topography của đá mài đã được phân tích [38] hoặc đo bằng cảm biến khoảng cách laser [39].

Từ các phân tích ở trên có thể thấy, có nhiều nghiên cứu về: (i) tuổi bền của đá và các thông số ảnh hưởng đến; (ii) topography của đá và các thông số ảnh hưởng; (iii) tối ưu hóa các thông số công nghệ sửa đá của một số loại đá và vật liệu gia công cụ thể v.v...

Trong thực tế sản xuất ở nước ta, đá mài Hải Dương được sử dụng rất phổ biến. Với đá mài phẳng Hải Dương, các công bố đã khuyến cáo nên sử dụng mũi sửa đá kim cương nhiều hạt. Tuy vậy, các nghiên cứu về chế độ sửa đá hợp lý khi mài phẳng bằng đá mài này không nhiều và chưa đầy đủ. Do đó, trong chuyên đề này, tác giả nghiên cứu, đề xuất chế độ công nghệ sửa đá bao gồm chiều sâu sửa đá, số lần sửa đá, lượng chạy dao sửa đá, số lần chạy không ăn dao và được chia thành bước sửa đá thô, sửa đá tinh được áp dụng sẽ cho nhiều ưu điểm. Tối ưu hóa đa mục

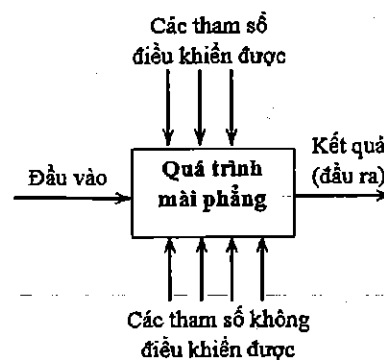
tiêu đồng thời cả trị số độ nhám bề mặt và dung sai độ phẳng nhỏ nhất được chọn là các chỉ tiêu đánh giá cho chế độ sửa đá.

1.2. Xác định mục tiêu.

Trong sản xuất cơ khí, sản phẩm được tạo ra cần đảm bảo yêu cầu kỹ thuật (độ chính xác gia công) và kinh tế (chi phí thấp nhất có thể). Các nghiên cứu đề ra đều nhằm dự đoán được kết quả quá trình, từ đó điều khiển quá trình và chất lượng gia công theo mong muốn. Hầu hết các nghiên cứu đã tập trung vào yêu cầu kỹ thuật của quá trình gia công đó là nâng cao độ chính xác, cải thiện chất lượng bề mặt gia công, giảm lực, nhiệt, rung động hoặc tìm các giải pháp nâng cao năng suất gia công. Trong khi tính kinh tế trong sản xuất cơ khí nói chung và mài phẳng nói riêng cũng là một chỉ tiêu cần quan tâm nghiên cứu. Để giải quyết hài hòa cả hai giải pháp kỹ thuật và kinh tế, cần thiết phải xây dựng một mô hình để nghiên cứu nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng.

1.2.1. Sơ đồ và cơ sở của nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng

Cho đến nay, mô hình nghiên cứu như thể hiện trên **Error! Reference source not found.** là mô hình tổng quát và khá phù hợp với quá trình mài. Tuy nhiên, mài nói chung và mài phẳng nói riêng là quá trình phức tạp, nhạy cảm với các điều kiện cụ thể, bao gồm một tập hợp lớn các yếu tố ảnh hưởng và nhiều chỉ tiêu đánh giá khác nhau. Do vậy, để áp dụng kết quả nghiên cứu vào thực tiễn sản xuất cần có những nghiên cứu riêng gắn liền với các điều kiện cụ thể. Sơ đồ nghiên cứu thực nghiệm khi mài phẳng được thể hiện như **Error! Reference source not found.**



Hình 18. Sơ đồ nghiên cứu thực nghiệm khi mài phẳng

Các thông số đầu vào là những thông số cần nghiên cứu và cần xây dựng kế hoạch nghiên cứu thực nghiệm. Các thông số này là các biến độc lập, kiểm tra được và điều khiển được; Các thông số không điều khiển được là các nhiễu; Kết quả (đầu ra) là các chỉ tiêu đánh giá đối tượng nghiên cứu.

Mục đích của quá trình nghiên cứu thực nghiệm là xây dựng mối quan hệ giữa thông số đầu vào và đầu ra, từ đó có thể điều khiển được quá trình hoặc dự đoán được kết quả đầu ra theo thông số đầu vào dưới dạng các mô hình toán học. Các mô

hình đó là cơ sở để giải bài toán xác định chế độ công nghệ tối ưu cho quá trình mài tương ứng với các điều kiện gia công cụ thể. Ngoài ra, dựa vào các mô hình đó có thể lựa chọn các tín hiệu hợp lý để tiến hành tự động hóa nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế trên cơ sở đảm bảo chất lượng yêu cầu của nguyên công.

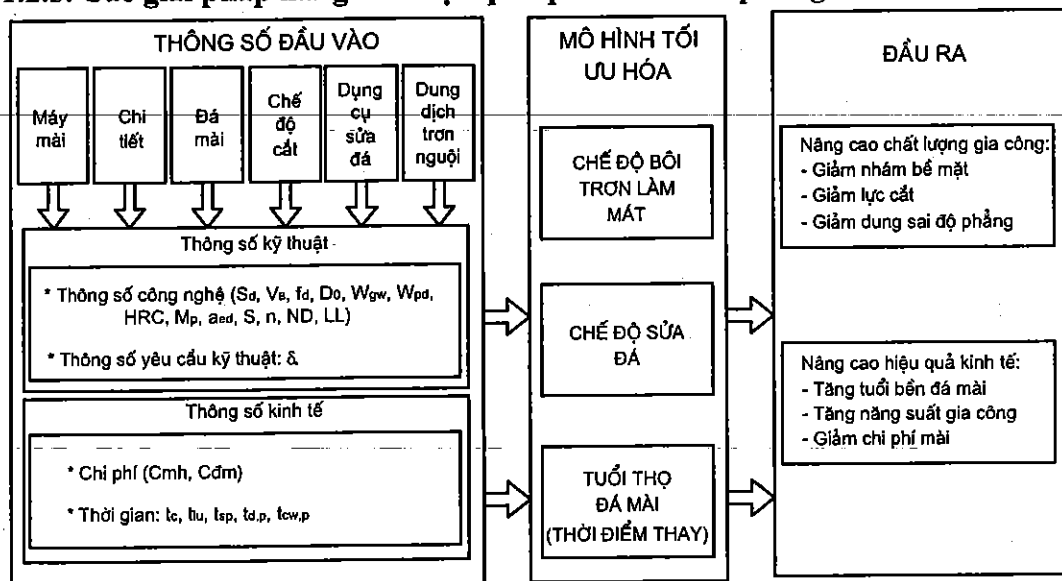
1.2.2. Lựa chọn thông số đầu vào

Việc lựa chọn các thông số đầu vào cần thỏa mãn các yêu cầu sau: (1) Là các biến độc lập, điều chỉnh được, điều này cho phép nhận được các ước lượng riêng biệt của các hệ số hồi qui; (2) Là các thông số định lượng; (3) Có ảnh hưởng đến các hàm mục tiêu lớn hơn nhiều so với mức độ ảnh hưởng của nhiễu.

Việc lựa chọn thông số đầu vào dựa vào các cơ sở sau: (1) Từ quan sát hiện tượng thực tế hoặc tài liệu tham khảo; (2) Ý kiến của chuyên gia; (3) Kết quả nghiên cứu lý thuyết; (4) Tiến hành thực nghiệm thăm dò, thực nghiệm sàng lọc để kiểm tra những yếu tố ảnh hưởng nghi ngờ.

Các thông số ảnh hưởng đến chỉ tiêu đánh giá nhằm Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi là Chế độ công nghệ sửa đá: Chiều sâu sửa đá (a_{ed}), lượng chạy dao sửa đá (S), số lần sửa đá (n).

1.2.3. Các giải pháp nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng



Hình 19. Mô hình nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng

Từ các phân tích trên, một mô hình nghiên cứu nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng đã được đưa ra, được thể hiện trên Error! Reference source not found.. Từ mô hình này, để nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng, có thể sử dụng ba giải pháp sau: (1) Mài với chế độ bôi trơn làm mát và chế độ cắt hợp lý giúp giảm nhám bề mặt gia công, giảm lực cắt qua đó làm tăng tuổi bền của đá; (2) Mài với đá

được sửa đá bằng chế độ sửa đá hợp lý nhằm giảm nhám bề mặt, tăng tuổi bền đá mài, tăng năng suất gia công và giảm dung sai độ phẳng; (3) Mài với tuổi thọ của đá tối ưu (hay thay đá ở đường kính thay đá tối ưu) để tăng năng suất dẫn đến giảm chi phí mài. Trong nghiên cứu này chỉ tập trung vào sửa đá khi mài.

Nhận xét: Tuy đã có những nghiên cứu về tăng năng suất và giảm chi phí khi mài nhưng chưa nhiều. Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ sửa đá đến năng suất và chất lượng của quá trình mài phẳng thép SKD qua tôi bằng đá mài Hải Dương.

PHẦN II: XÂY DỰNG HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM.

Việc xây dựng hệ thống thí nghiệm đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật có vai trò rất quan trọng trong công tác nghiên cứu khoa học. Một hệ thống thí nghiệm phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- Đáp ứng được yêu cầu của vấn đề lý thuyết cần nghiên cứu;
- Đảm bảo độ chính xác, độ tin cậy và độ ổn định;
- Đảm bảo việc thu thập, lưu trữ và xử lý thí nghiệm thuận lợi;
- Đảm bảo tính khả thi;
- Đảm bảo tính kinh tế.

Hệ thống thí nghiệm được trình bày ở đây nhằm phục vụ cho đề tài: “Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi”.

2.1. Các giả thiết của thí nghiệm

Thí nghiệm được xây dựng theo những giả thiết sau:

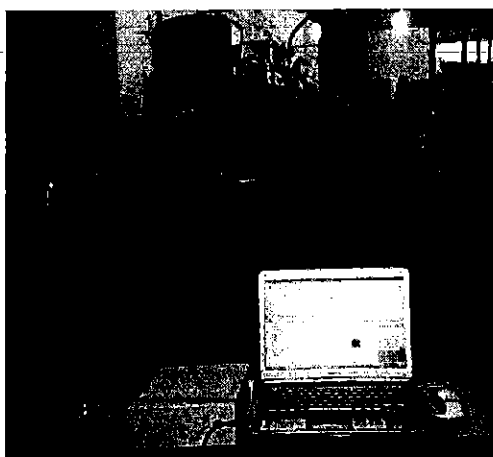
- Chất lượng chất dung dịch làm mát trong tất cả các thí nghiệm là như nhau.
- Nhiệt độ môi trường gia công luôn luôn ổn định và bằng nhiệt độ phòng.
- Tổng hợp các nhiễu ảnh hưởng tới độ chính xác kích thước là ổn định và không thay đổi trong suốt quá trình thực hiện thí nghiệm.

2.2. Thiết bị thực hiện thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện tại Doanh nghiệp Cơ khí chính xác Thái Hà, TP Thái Nguyên, tỉnh Thái Nguyên, dưới những điều kiện cố định sau:

2.2.1. Máy mài, đá mài và thiết bị đo lực cắt

- Máy để thực hiện thí nghiệm là máy mài phẳng MOTO – YOKOHAMA (0 Hình 20) – Nhật Bản sản xuất với những thông số kỹ thuật như trong Bảng 5.



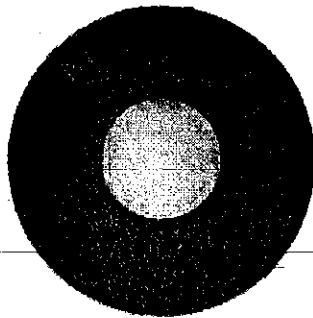
Hình 20. Máy mài phẳng MOTO – YOKOHAMA

Bảng 5. Thông số kỹ thuật của máy mài phẳng

Kích thước bàn máy	510x250 mm
Hành trình X	300 mm
Hành trình Y	300 mm
Hành trình Z	150 mm
Đường kính đá	300 mm
Tốc độ đá mài (max)	1700 vòng/phút
Công suất động cơ trục chính	1,5 kW
Trọng lượng máy	2 tấn
Kích thước (DxRxC)	1,8x1,65x1,35 m

- Đá thí nghiệm là đá mài Hải Dương ký hiệu: Cn46TB2GV1.300.32.127.30 m/s
(Hình 21).

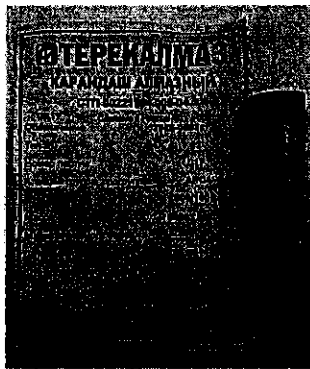
- Dụng cụ đo lực cắt là: Kistler 9257BA do Thụy Sĩ sản xuất (Hình 22).



Hình 21. Đá mài



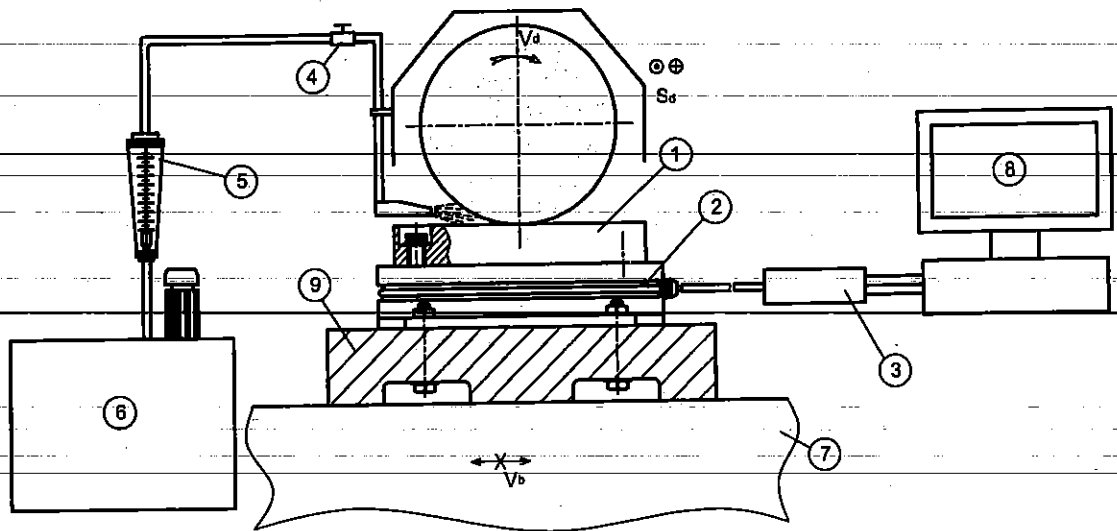
Hình 22. Đầu đo lực Kistler 9257BA



Hình 23. Bút sửa đá kim cương nhiều hạt

- Dụng cụ sửa đá: Được lựa chọn trong nghiên cứu thực nghiệm là bút sửa đá kim cương nhiều hạt 3908-0088C, kiểu 02 do Nga sản xuất, thể hiện như

- Sơ đồ bố trí và kết nối máy mài với máy tính và được thể hiện trên Hình 24.



Hình 24. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

1- phôi; 2- dầu đo lực Kistler 9257BA; 3- bộ chuyển đổi; 4- van điều chỉnh lưu lượng; 5- thiết bị đo lưu lượng; 6- thùng đựng dung dịch làm mát; 7- bàn từ; 8- máy tính.

2.2.2. Phôi thí nghiệm

Bảng 6. Thành phần hóa học các nguyên tố

Thành phần hóa học (%)						
C	Cr	Mo	Mn	Si	V	Nguyên tố khác
1.4÷1.6	11÷13	0.8÷1.2	0.6	0.35	0.2÷0.5	P≤0,3; S≤0,03

Bảng 7. Chế độ nhiệt luyện

Loại thép	Chiều dày thành hữu hiệu (mm)			Đặc tính thép khuôn					Mục đích sử dụng chính
	Làm mát bằng nước	Làm mát bằng dầu	Làm mát bằng không khí	Khả năng chịu mài mòn	Độ bền nhiệt độ cao	Tính bền	Biến dạng nhiệt luyện	Tính có thể cắt bằng máy công cụ	
SKD11	-	510	140	7-8	6	3-4	8-9	3	Loại chính xác và chịu tải cao

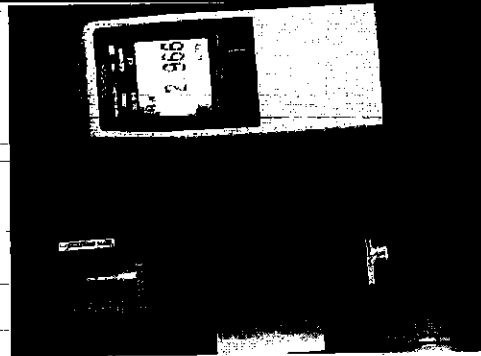
Phôi thí nghiệm là thép SKD11 có kích thước 70x40x25 qua tôi và ram đạt độ cứng 55÷58 HRC. Thành phần và chế độ nhiệt luyện được thể hiện trong Bảng 6 và Bảng 7.

Thép SKD11 là thép hợp kim dụng cụ được sử dụng rất phổ biến. Khi dùng thép SKD11 làm khuôn dập, khuôn ép, cối dập thuốc, dụng cụ cắt gọt ... thì các bề mặt cần phải có độ cứng cao để chống được mài mòn. Nhờ độ thấm tôi lớn, khi tôi thép 90CrSi có thể làm nguội trong dầu nên chi tiết ít bị biến dạng. Có sự phân bố cacbit

đồng đều trên toàn tiết diện, điều này cho phép sử dụng nó để chế tạo chi tiết có kích thước lớn, các chi tiết có profin không mài lại sau nhiệt luyện, các dụng cụ gia công ren – đặc biệt là ren bước nhỏ. Do sự tổ hợp hợp lý các nguyên tố hợp kim (chủ yếu là silic, crôm, mangan) và do sự phân bố đồng đều cacbit nên tính bền nóng của nó tăng đến 250°.

2.2.3. Thiết bị đánh giá chất lượng sản phẩm

- Dụng cụ đo nhám là máy đo độ nhám SJ-201 của hãng Mitutoyo – Nhật Bản, Trung tâm Thí nghiệm trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp (*Error! Reference source not found.5*).



Hình 25. Máy đo độ nhám SJ-201 của hãng Mitutoyo – Nhật Bản.

- Thiết bị đo dung sai độ phẳng là máy đo tọa độ 3 chiều CMM 544 – hãng Mitutoyo (*Error! Reference source not found.6*) có các thông số kỹ thuật như sau.

+ Kích thước trục: trục X là 505mm; trục Y là 405mm; trục Z là 405mm.

+ Chi tiết đo: kích thước cao nhất là 545 mm; trọng lượng tối đa là 180 kg.

+ Làm việc trong điều kiện nhiệt độ tiêu chuẩn là (16÷26)°C.

+ Giải đo: 0,1 μm.

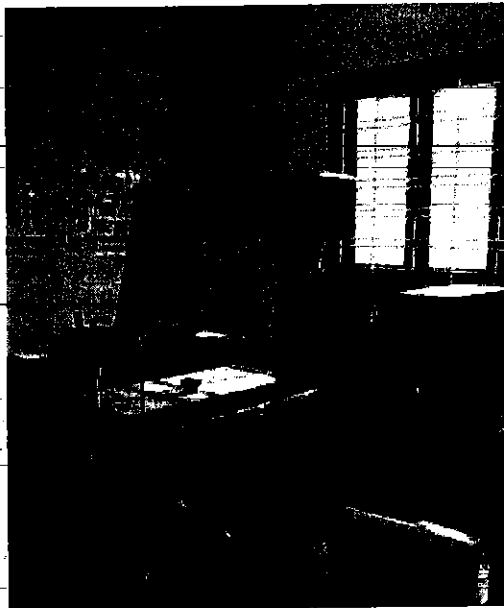
+ Tốc độ đo (CNC): 1 ÷ 8 mm/s.

+ Tốc độ điều khiển bằng Joystick với di chuyển nhanh là 80mm/s và chậm nhất 0,05mm/s.

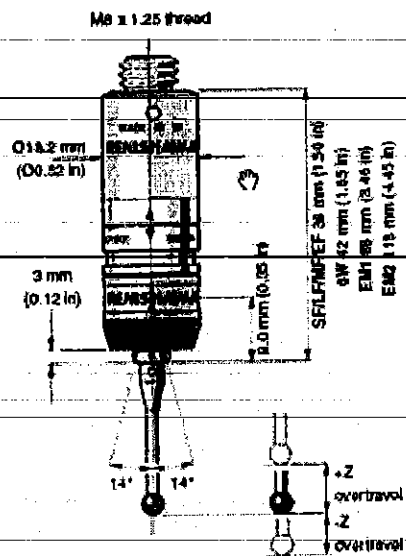
+ Bàn đo: vật liệu là đá Granite (kích-thước 638 x 860 mm).

+ Đầu đo TP20 (*Error! Reference source not found.7*)

+ Phần mềm điều khiển: MCOSMOS24.



Hình 26. Máy đo tọa độ CMM 544 – Mitutoyo



Hình 27. Đầu đo tiếp xúc TP20 – Hãng RENISHAW^R

2.3. Xây dựng quy hoạch thực nghiệm

2.3.1. Khái quát về phương pháp Taguchi

Sau khi hoàn thiện khái niệm của mình những năm cuối thập niên 1940, Taguchi giới thiệu các phương pháp cải tiến chất lượng của mình cho Hoa Kỳ những năm đầu thập niên 1980. Trọng tâm là tối ưu hóa hiệu suất và thực hiện thiết kế mạnh mẽ bằng cách sử dụng kỹ thuật thống kê được gọi là thiết kế các thí nghiệm (DOE), ban đầu được giới thiệu bởi R.A. Fisher ở Anh vào những năm 1920. Để kỹ thuật này hiệu quả hơn và dễ sử dụng hơn, Taguchi đã đề xuất một phiên bản tiêu chuẩn hóa của DOE và đưa ra các cách để ứng dụng và phân tích kết quả thực tế. Đây là một công cụ nhận được nhiều quan tâm của các nhà cải tiến chất lượng. Các tổ chức sản xuất dễ dàng học và áp dụng để mang lại lợi ích khi thiết kế nhiều sản phẩm và quy trình. Phương pháp Taguchi liên quan đến việc sử dụng các ma trận trực giao để tổ chức các thông số ảnh hưởng đến quá trình và các mức, mà tại đó chúng sẽ được thay đổi, nó cho phép để thu thập các dữ liệu cần thiết nhằm xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hầu hết chất lượng sản phẩm với số lượng thí nghiệm ít nhất, do đó tiết kiệm thời gian và nguồn lực. Phân tích phương sai trên các dữ liệu thu thập được từ các thiết kế thực nghiệm Taguchi có thể được sử dụng để chọn các giá trị thông số mới nhằm tối ưu hóa các đặc tính hiệu suất.

2.3.2. Các bước thiết kế ma trận thí nghiệm

- Xác định mục tiêu của quá trình.

- Xác định và lựa chọn các mức cho các thông số.
- Tính số bậc tự do cần thiết cho thiết kế thí nghiệm.
- Lựa chọn bảng tiêu chuẩn trực giao (bảng OA).
- Gán các thông số và mức của nó vào các cột.
- Tiến hành thí nghiệm.
- Phân tích kết quả.
- Kiểm chứng kết quả thí nghiệm.

a) Xác định tỉ số S/N

Trong các thí nghiệm được tiến hành của ma trận thí nghiệm, thí nghiệm nào có tỉ số S/N lớn nhất sẽ cho kết quả đáng tin cậy nhất và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu nhất. Tỉ số này xác định mức đầu ra tối ưu và được tính như sau:

(1) Đối với kết quả mong muốn *Lớn hơn thì tốt hơn* (Larger - the - better)

$$S/N \text{ ratio } (\eta) = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \quad (6)$$

Trong đó: n là số lần lặp ở mỗi thí nghiệm; y_{ij} là giá trị đo được ở lần đo thứ $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, k$.

Giá trị này được áp dụng cho các mục tiêu quan tâm mà mong muốn tìm kiếm được tối đa hoá các đặc tính chất lượng.

(2) Đối với kết quả mong muốn *Giá trị tiêu chuẩn (danh nghĩa) là tốt nhất* (Nominal - the - best)

$$S/N \text{ ratio } (\eta) = 10 \log_{10} \left(\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \quad (7)$$

Trong đó:

$$\mu = \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n}{n}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

Đây được gọi là vấn đề loại danh nghĩa tốt nhất mà người ta cố gắng giảm thiểu sai số bình phương bình phương xung quanh giá trị mục tiêu cụ thể.

Chuẩn hóa là một sự chuyển đổi được thực hiện trên một dữ liệu đầu vào duy nhất để phân phối dữ liệu đồng đều và biến nó thành một phạm vi chấp nhận được để phân tích thêm.

(3) Đối với kết quả mong muốn *Nhỏ hơn thì tốt hơn* (Smaller - the - better)

$$S/N \text{ ratio } (\eta) = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}^2 \right) \quad (8)$$

Giá trị này được áp dụng cho các mục tiêu quan tâm mà mong muốn tìm kiếm được giá trị tối thiểu.

b) Phân tích phương sai ANOVA

- Tổng các bình phương (SS_T): Tổng các bình phương là thước đo độ lệch của dữ liệu thử nghiệm từ giá trị trung bình của dữ liệu. SS_T được xác định theo công thức sau:

$$SS_T = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (9)$$

Trong đó: n là số lượng giá trị được kiểm tra; \bar{Y} là giá trị trung bình các kết quả Y_i của đối tượng thứ i .

- Tổng bình phương của thông số B (SS_B)

$$SS_B = \sum_{i=1}^{N_k} \left(\frac{B_i^2}{n_{B_i}} \right) - \frac{T^2}{N} \quad (10)$$

Trong đó: B_i là giá trị tại mức i của thí nghiệm; n_{B_i} là số kết quả khảo sát ở điều kiện B_i ; T là tổng các giá trị kiểm tra.

- Tổng bình phương các lỗi (SS_e): Phân bố bình phương của các giá trị khảo sát từ giá trị trung bình của trạng thái B.

$$SS_e = \sum_{j=1}^{k_B} \sum_{i=1}^{n_{B_i}} (Y_i - \bar{B}_i)^2 \quad (11)$$

- Phần trăm ảnh hưởng của thông số B:

$$P = \frac{SS_B}{SS_T} \cdot 100(\%) \quad (12)$$

c) Tối ưu hóa kết quả đầu ra

Giá trị tối ưu (E_m) được ước tính bởi các thông số có ảnh hưởng mạnh và được xác định theo công thức sau:

$$E_m = \bar{Y} + (\bar{A}_k - \bar{Y}) + (\bar{B}_l - \bar{Y}) + (\bar{C}_m - \bar{Y}) \quad (13)$$

Trong đó: \bar{Y} là trị số trung bình của đặc trưng khảo sát; $\bar{A}_k, \bar{B}_l, \bar{C}_m$ lần lượt là giá trị trung bình tại các mức thứ k, l và m .

d) Khoảng phân bố của giá trị tối ưu:

Khoảng phân bố của một tập mẫu CI_m xác định bởi công thức:

$$CI_m = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e}{n_e}} \quad (14)$$

Trong đó: F_α là hệ số F ở mức tin cậy $(1 - \alpha)$ đối với $DF = 1$ và DF của lỗi f_e ; v_e là trị số thay đổi của lỗi.

$$n_e = \frac{N}{1+DF} \quad (15)$$

Trong đó: DF là bậc tự do tổng của các thông số tính trị số trung bình; N là tổng số kết quả thí nghiệm khảo sát.

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

Bước 1: Xác định tỉ số S/N cho các mục tiêu tương ứng theo các công thức từ (2.24) đến (2.28).

Bước 2: y_{ij} được chuẩn hóa như 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.

Cần phải chuẩn hóa dữ liệu ban đầu trước khi phân tích chúng với lý thuyết liên quan đến Quan hệ mờ hoặc bất kỳ phương pháp luận nào khác. Một giá trị thích hợp sẽ được khấu trừ từ các giá trị trong mảng tương tự để làm cho giá trị của mảng này xấp xỉ 1. Khuyến nghị nên sử dụng giá trị tỉ số S/N khi chuẩn hóa dữ liệu trong phân tích Quan hệ mờ.

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij} - \min(y_{ij}, i=1,2,\dots,n)}{\max(y_{ij}, i=1,2,\dots,n) - \min(y_{ij}, i=1,2,\dots,n)} \quad (16)$$

(Sử dụng cho tỉ số S/N với mong muốn lớn hơn là tốt hơn)

$$Z_{ij} = \frac{\max(y_{ij}, i=1,2,\dots,n) - y_{ij}}{\max(y_{ij}, i=1,2,\dots,n) - \min(y_{ij}, i=1,2,\dots,n)} \quad (17)$$

(Sử dụng cho tỉ số S/N với mong muốn nhỏ hơn là tốt hơn)

$$Z_{ij} = \frac{(y_{ij} - Target) - \min(|y_{ij} - Target|, i=1,2,\dots,n)}{\max(|y_{ij} - Target|, i=1,2,\dots,n) - \min(|y_{ij} - Target|, i=1,2,\dots,n)} \quad (18)$$

(Sử dụng cho tỉ số S/N với mong muốn giá trị tiêu chuẩn là tốt nhất).

Bước 3: Tính toán hệ số tương tác trong quan hệ mờ đối với các tỉ số S/N chuẩn hóa:

$$\chi(y_0(k), y_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0j}(k) + \xi \Delta_{max}} \quad (19)$$

Trong đó: $j = 1, 2, \dots, n$ là số thí nghiệm; $k = 1, 2, \dots, m$ là số mục tiêu đầu ra; $y_0(k)$ là giá trị trung bình đầu ra của các thí nghiệm; $y_j(k)$ là giá trị trung bình đầu ra ở thí nghiệm thứ j ; $\Delta_{0j} = \|y_0(k) - y_j(k)\|$ là giá trị tuyệt đối của sai lệch giữa $y_0(k)$ và $y_j(k)$; $\Delta_{min} = \min_{j \in I} \min_{k} \|y_0(k) - y_j(k)\|$ là giá trị nhỏ nhất của Δ_{0j} ; $\Delta_{max} = \max_{j \in I} \max_{k} \|y_0(k) - y_j(k)\|$ là giá trị lớn nhất của Δ_{0j} ; ξ là hệ số phân biệt, được xác định trong khoảng $0 \leq \xi \leq 1$ (giá trị có thể điều chỉnh dựa trên yêu cầu thực tế của hệ thống).

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

$$\bar{\chi}_j = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \chi_{lj} \quad (20)$$

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.

Bước 5: Xác định mức và giá trị tối ưu của các thông số khảo sát. Mỗi quan hệ mờ cao hơn hàm ý chất lượng sản phẩm tốt hơn. Do đó, dựa trên mức độ quan hệ mờ, có thể ước lượng tác động của yếu tố và mức độ tối ưu cho mỗi yếu tố có thể kiểm soát.

Bước 6: Thực hiện phân tích phương sai (ANOVA) để xác định các yếu tố quan trọng. Mục đích là áp dụng một phương pháp thống kê để xác định tác động của từng yếu tố. Kết quả từ ANOVA có thể xác định rất rõ tác động của mỗi yếu tố đến kết quả của quá trình. Phương pháp thử nghiệm Taguchi không thể đánh giá ảnh hưởng của các thông số riêng lẻ trên toàn bộ quá trình. Do đó, phần trăm đóng góp bằng cách sử dụng ANOVA được sử dụng để bù đắp cho hiệu ứng này. Tổng số các độ lệch bình phương SS_T được phân chia thành hai nguồn: Tổng của độ lệch bình phương do mỗi tham số quá trình và tổng của các bình phương lỗi. Tỷ lệ phần trăm đóng góp ảnh hưởng của mỗi thông số quá trình trong tổng số các sai lệch SS_T bình phương có thể được sử dụng để đánh giá tầm quan trọng của việc thay đổi các thông số quá trình đối với các kết quả đầu ra. Thông thường, sự thay đổi của thông số quá trình có một ảnh hưởng đáng kể đến đặc tính hoạt động khi giá trị F lớn (F tính toán lớn hơn F tiêu chuẩn được tra bảng thì thông số đó có ảnh hưởng mạnh đến kết quả đầu ra, còn nhỏ hơn thì tác động không đáng kể và được gọi là lỗi (error).

Bước 7: Tính toán điều kiện tối ưu được dự đoán. Sau khi đã chọn mức độ tối ưu của các thông số thiết kế, bước cuối cùng là dự đoán và xác minh chất lượng bằng cách sử dụng mức tối ưu của các thông số thiết kế.

Tỷ số S/N ước tính sử dụng mức tối ưu của các tham số thiết kế có thể được tính như sau:

$$\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^q (\bar{\eta}_i - \eta_m) \quad (21)$$

Trong đó: η_m là tỷ số S/N trung bình; $\bar{\eta}_i$ là tỷ số S/N trung bình tương ứng với yếu tố đáng kể thứ i ở mức j ; q là số lượng các yếu tố quan trọng.

**PHẦN III: TỐI ƯU HÓA CHẾ ĐỘ SỬA ĐÁ KHÍ MÀI THÉP SKD11
QUA TÔI BẢNG ĐÁ MÀI HẢI DƯƠNG.**

Bảng 8. Các mức thí nghiệm tối ưu hóa của các thông số a_r , n_r , a_f , n_f và S .

Biến	Mức			
	1	2	3	4
Lượng chạy dao sửa đá S [m/ph]	1.6	1.8	-	-
Chiều sâu sửa đá thô a_r [mm/HT]	0.015	0.02	0.025	0.03
Số lần sửa thô n_r [lần]	1	2	3	4
Chiều sâu sửa tinh a_f [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

Bảng 9. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa theo a_r , n_r , a_f , n_f và S .

TT	a_r	n_r	n_{non}	n_f	a_f	S
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8

Việc xây dựng ma trận thí nghiệm tối ưu hóa một số thông số công nghệ sửa đá đến độ nhám bề mặt, dung sai độ phẳng, năng suất bóc tách và tuổi bền của đá khi

mài thép SKD11 qua tôi bằng đá mài Hải Dương được thực hiện bằng phương pháp Taghuchi. Kế hoạch thí nghiệm theo Taguchi được khởi tạo và phân tích bằng sử dụng phần mềm Minitab®19 với 6 thông số (2 thông số 2 mức và hai thông số 4 mức). Các mức tương ứng của mỗi thông số thí nghiệm được cho trong *Bảng 8*.

Kết quả khởi tạo ma trận thí nghiệm và kết quả nhám bề mặt thu được trình bày trong *Bảng 9*

Bảng kế hoạch 9 có 16 hàng, tức là cần thực hiện ít nhất 16 thí nghiệm theo thứ tự đã liệt kê trong cột TT. Mỗi thí nghiệm có các biến LL, ND, S_a, V_B và t được xác lập theo giá trị đã ghi trong ô tương ứng của các cột LL, ND, S_a, V_B, t trong *Bảng 9*. Toàn bộ 16 thí nghiệm có thể thực hiện trong cùng một ca máy, trong điều kiện gia công như nhau.

Lần lượt tiến hành các thí nghiệm. Mỗi thí nghiệm tiến hành mài 3 lần với các trị số của các thông số tương ứng với tốc độ đá không đổi 27 m/s.

Kết quả được xác định Ra bằng cách: Lấy giá trị trung bình của nhám bề mặt ở 3 lần thí nghiệm. Ở mỗi thí nghiệm đo 3 lần rồi lấy kết quả trung bình.

3.1. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu nhám bề mặt nhỏ nhất.

Bảng 10. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa, kết quả đo, và tỷ số S/N của chỉ tiêu nhám bề mặt.

TT	a _r	n _r	n _{non}	n _f	a _r	S	Ra				
							Lần 1	Lần 2	Lần 3	TB	S/N
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	0.661	0.685	0.647	0.664	3.54986
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	0.471	0.485	0.516	0.491	6.17790
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	0.433	0.45	0.413	0.432	7.28501
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	0.452	0.517	0.516	0.495	6.09154
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	1.225	1.042	1.252	1.173	-1.41334
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	1.267	1.322	1.35	1.313	-2.36829
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	0.984	1.104	1.06	1.049	-0.42795
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	0.524	0.453	0.528	0.502	5.97126
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	1.286	1.362	1.332	1.327	-2.45765
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	0.73	0.74	0.767	0.746	2.54720
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	0.757	0.731	0.756	0.748	2.52085
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	0.51	0.465	0.464	0.480	6.37253
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	0.363	0.358	0.462	0.394	8.01914
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	0.591	0.613	0.609	0.604	4.37338
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	0.841	0.848	0.833	0.841	1.50729
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	0.998	1.027	1.105	1.043	-0.37660

Kết quả thu được sau thí nghiệm, xử lý số liệu được ghi lại giá trị vào các cột bổ sung Ra trình bày trong *Bảng 10*.

Điều kiện Ra tối ưu là “nhỏ hơn thì tốt hơn”. Theo yêu cầu này thì tỉ số S/N của Ra được tính theo công thức (8).

Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến nhám bề mặt Ra.

Nhám bề mặt mong muốn nhỏ hơn thì tốt hơn nên tỉ số S/N được xác định theo biểu thức (1). Kết quả tính toán tỉ số S/N ứng với kết quả của mỗi thí nghiệm được thể hiện như trong *bảng 10*.

ANOVA trị số của nhám bề mặt trung bình (\bar{R}_a) được thể hiện như *Bảng 11*, *Error! Reference source not found. 12* và *Hình 28*. Theo phần trăm đóng góp ảnh hưởng, số lần sửa đá thô có đóng góp lớn nhất đến Ra (32,67%), tiếp đến là số lần sửa đá tinh (30,62%), số lần chạy không ăn dao (11,22%), lượng chạy dao sửa đá (9,93%), số lần sửa đá thô (8,9%) và cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh (0,5%).

Bảng 11. ANOVA giá trị \bar{R}_a khi sửa đá.

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
ar	3	0.49978	0.49978	0.16659	4.66	0.325	32.67
nr	3	0.13705	0.13705	0.04568	1.28	0.558	8.96
nnon	3	0.17158	0.17158	0.05719	1.60	0.513	11.22
nf	3	0.46838	0.46838	0.15613	4.37	0.335	30.62
af	1	0.06541	0.06541	0.06541	1.83	0.405	4.28
S	1	0.15191	0.15191	0.15191	4.25	0.288	9.93
Residual Error	1	0.03575	0.03575	0.03575			2.34
Total	15	1.52985					100.00

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.1891	97.66%	64.95%

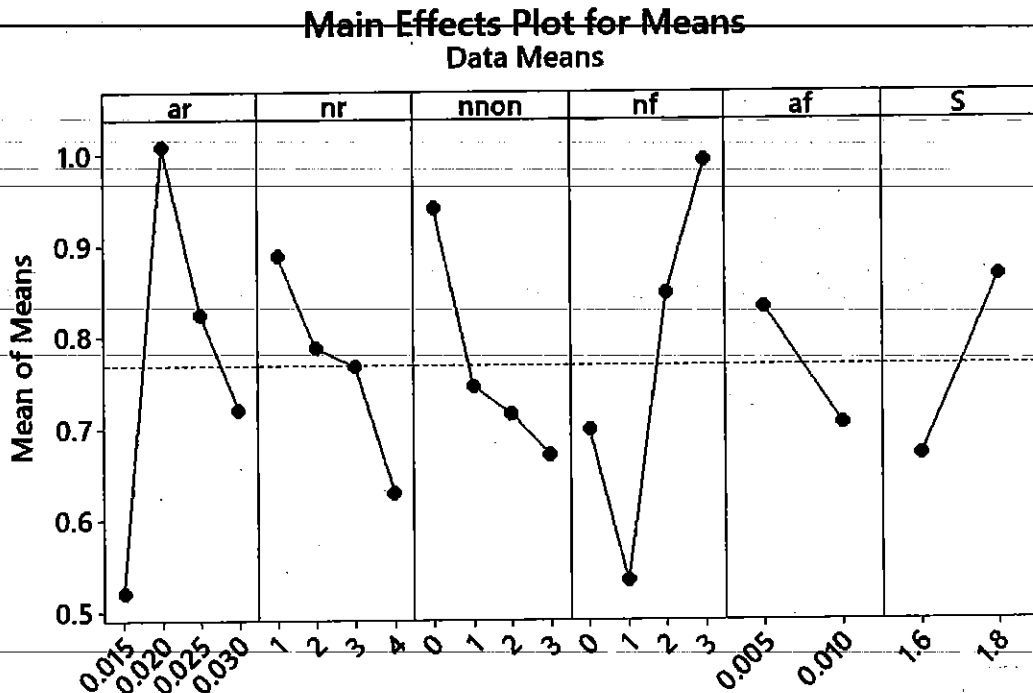
Bảng 12. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến \bar{R}_a khi sửa đá.

Response Table for Means

Level	ar	nr	nnon	nf	af	S
1	0.5205	0.8896	0.9422	0.6994	0.8328	0.6714
2	1.0092	0.7884	0.7460	0.5337	0.7049	0.8663
3	0.8250	0.7675	0.7162	0.8485		
4	0.7207	0.6299	0.6711	0.9938		
Delta	0.4888	0.2597	0.2711	0.4602	0.1279	0.1949
Rank	1	4	3	2	6	5

Bảng *Error! Reference source not found.12* và Hình 28 cho thấy:

Chiều sâu sửa đá thô a_r tăng thì nhám bề mặt tăng sau đó giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 1 (0,015 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.



Hình 28. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến \bar{R}_a khi sửa đá

Số lần sửa đá thô n_r tăng thì nhám bề mặt giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại mức 4 (tương ứng với sửa đá thô 4 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_r tăng thì nhám bề mặt giảm và đạt trị số nhỏ nhất ở mức 2 (0,01 mm). Lý do là khi tăng chiều sâu sửa đá tinh thì chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá tăng làm phoi thoát dễ dàng hơn dẫn đến nhám bề mặt giảm.

Số lần sửa tinh n_r 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.

Xác định bộ thông số chế độ sửa đá hợp lý

Theo Bảng 2, thí nghiệm số 13 với chế độ sửa đá: Sửa đá thô một lần với chiều sâu $a_{edr} = 0,03$ mm, sửa tinh một lần với chiều sâu $a_{edf} = 0,01$ mm, chạy không ăn dao ba lần, lượng chạy dao sửa đá $S = 1,6$ m/phút cho kết quả nhám bề mặt nhỏ nhất $Ra = 0,394$ μm , tỉ số $S/N = 8,01914$ lớn nhất. Nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến nhám bề mặt là lớn nhất và chịu ảnh hưởng của nhiễu là nhỏ nhất. Đây chưa phải mức hợp lý của các thông số nhằm đạt nhám bề mặt nhỏ nhất. Vì vậy, cần phân tích phương sai tỉ số S/N của Ra để tìm ra mức hợp lý của các thông số sửa đá được khảo sát.

ANOVA trị số S/N của Ra được thể hiện trong *Bảng 13*, *Bảng 14* và *Hình 29*. Kết quả cho thấy: Chiều sâu sửa đá thô 0,015 mm (a_1), số lần sửa đá thô ba lần (n_4), số lần chạy không ăn dao ba lần (n_{non4}), số lần sửa tinh một lần (n_f2), chiều sâu sửa tinh 0,01 mm (a_f2) và lượng chạy dao 1,6 m/ph (S_1) là những mức và trị số của các thông số sửa đá cho tỉ số S/N lớn nhất. Đây là mức và trị số hợp lý của các thông số sửa đá nhằm đạt được nhám bề mặt nhỏ nhất.

Bảng 13. ANOVA tỉ số S/N của \overline{Ra} khi sửa đá

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ar	3	59.863	59.8632	19.9544	37.34	0.120
nr	3	14.493	14.4930	4.8310	9.04	0.239
nnon	3	25.878	25.8780	8.6260	16.14	0.180
nf	3	54.613	54.6128	18.2043	34.07	0.125
af	1	12.941	12.9411	12.9411	24.22	0.128
S	1	21.151	21.1505	21.1505	39.58	0.100
Residual Error	1	0.534	0.5343	0.5343		
Total	15	189.473				

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.7310	99.72%	95.77%

Bảng 14. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá

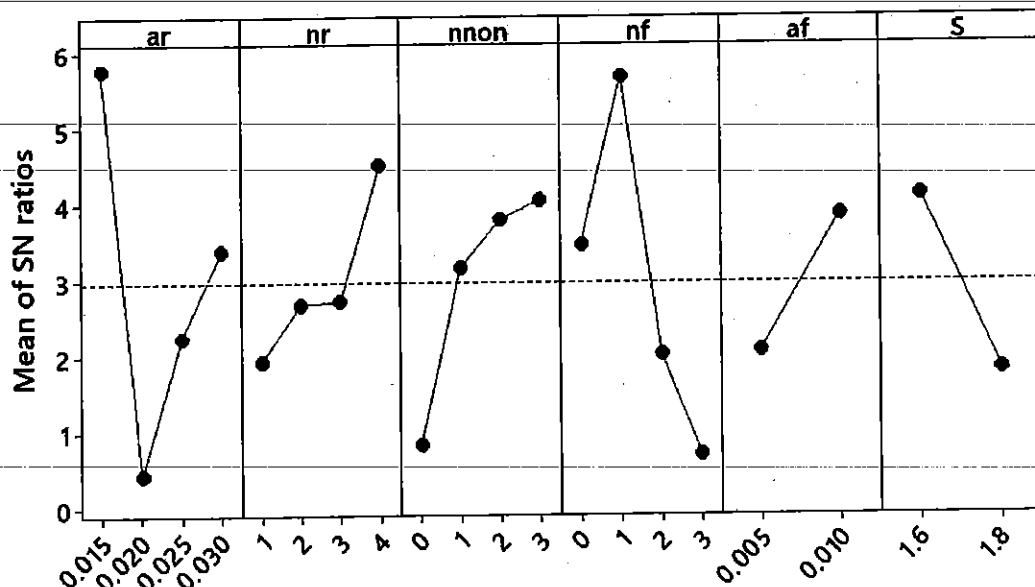
Response Table for Signal to Noise Ratios

Smaller is better

Level	ar	nr	nnon	nf	af	S
1	5.7761	1.9245	0.8315	3.4670	2.0614	4.1105
2	0.4404	2.6825	3.1611	5.6723	3.8601	1.8110
3	2.2457	2.7213	3.7930	2.0106		
4	3.3808	4.5147	4.0575	0.6932		
Delta	5.3357	2.5902	3.2260	4.9791	1.7987	2.2995
Rank	1	4	3	2	6	5

Main Effects Plot for SN ratios

Data Means



Signal-to-noise: Smaller is better

Hình 29. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá. Tính toán dự đoán giá trị nhám bề mặt

Theo Bảng 13, chiều sâu sửa đá a_r , số lần sửa đá tinh a_f và số lần chạy không ăn dao là ba thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến Ra. Trị số bề mặt trung bình dự đoán (\bar{Ra}_{OP}) được xác định bởi các mức của các thông số có ảnh hưởng mạnh đến S/N của nhám bề mặt theo công thức:

$$\bar{Ra}_{OP} = \bar{a}_{r1} + \bar{n}_{non4} + \bar{a}_{f2} - 2 * \bar{T}_{Ra}$$

Trong đó, theo Bảng 5:

\bar{a}_{r1} là nhám bề mặt trung bình ứng với a_r ở mức 1: $\bar{a}_{r1} = 0,5205 \mu m$

\bar{n}_{non4} là nhám bề mặt trung bình ứng với n_{non} ở mức 4: $\bar{n}_{non4} = 0,6711 \mu m$

\bar{n}_{f2} là nhám bề mặt trung bình ứng với n_f ở mức 2: $\bar{n}_{f2} = 0,5337 \mu m$

\bar{T}_g là nhám bề mặt trung bình của toàn thí nghiệm.

$$\bar{R}_{Ra} = \frac{\sum_{i=1}^{16} Ra_I + \sum_{i=1}^{16} Ra_{II} + \sum_{i=1}^{16} Ra_{III}}{48} = 0,769 \mu m$$

Thay số:

$$\bar{Ra}_{QP} = 0,5205 + 0,711 + 0,5337 - 2 * 0,796 = 0,187 \mu m$$

Kết quả thực nghiệm với bộ thông số: $a_{edr} = 0,015$ mm, $n_r = 4$ lần, $n_{non} = 3$ lần, $n_f = 1$ lần, $a_{edf} = 0.01$ mm, $S = 1,6$ m/phút. Nhám bề mặt trung bình nhận được sau 3 lần thực nghiệm là $0,208 \mu m$. Giá trị này sai khác 11,23% so với giá trị dự đoán.

Nhân xét:

Số lần sửa đá thô ảnh hưởng lớn nhất đến Ra, tiếp đến là số lần sửa đá tinh, số lần chạy không ăn dao, lượng chạy dao sửa đá, số lần sửa đá thô và cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh.

Để đạt được nhám bề mặt nhỏ nhất cần sửa đá với chế độ: Chiều sâu sửa đá thô 0,015 mm, số lần sửa đá thô ba lần, số lần chạy không ăn dao ba lần, số lần sửa tinh một lần, chiều sâu sửa tinh 0,01 mm và lượng chạy dao 1,6 m/ph

3.2. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu dung sai độ phẳng nhỏ nhất. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến dung sai độ phẳng Fl.

Bảng 15. Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm sửa đá theo các thông số đầu vào a_r , n_r , a_f , n_f , n_{non} và S

TT	a_r	n_r	n_{non}	n_f	a_f	S	Fl (μm)				
							Lần 1	Lần 2	Lần 3	S/N	TB
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	11.8	12.7	13.5	-22.07	12.67
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	24.6	25	24.8	-27.89	24.80
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	14.5	14.8	14.2	-23.23	14.50
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	20.8	21.2	21.8	-26.56	21.27
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	13.3	13.9	14.2	-22.80	13.80
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	10.9	10.3	11.2	-20.67	10.80
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	12.9	13.9	13.5	-22.57	13.43
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	11.3	11.5	12	-21.29	11.60
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	10.5	10.9	11	-20.67	10.80
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	8.8	9	9.5	-19.19	9.10
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	9.5	10.1	10.5	-20.04	10.03
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	17.3	17.6	17.8	-24.89	17.57
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	11.8	11.5	12.1	-21.44	11.80
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	13.5	13.9	13.3	-22.65	13.57
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	19.6	19	19.5	-25.74	19.37
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	11.8	12	12.5	-21.66	12.10

Dung sai độ phẳng mong muốn nhỏ hơn thì tốt hơn nên tỉ số S/N được xác định theo biểu thức (1). Kết quả tính toán tỉ số S/N ứng với kết quả của mỗi thí nghiệm được thể hiện như trong bảng 2.

ANOVA trị số của dung sai độ phẳng trung bình (\bar{Fl}) được thể hiện như Bảng 16, Bảng 17 và Hình 30. Theo phần trăm đóng góp ảnh hưởng, số lần chạy không ăn dao có đóng góp lớn nhất đến \bar{Fl} (45,06%), tiếp đến là số lần sửa đá thô (35,49%), số lần sửa đá thô (8,28%), số lần sửa đá tinh (7,4%), lượng chạy dao sửa đá (3,34%), và cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh (0,01%).

Bảng 16. ANOVA giá trị \bar{Fl} khi sửa đá.

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
ar	3	101.977	101.977	33.9922	28.09	0.138	35.49
nr	3	23.778	23.778	7.9259	6.55	0.278	8.28
nnon	3	129.482	129.482	43.1607	35.67	0.122	45.06
nf	3	21.263	21.263	7.0878	5.86	0.293	7.40
af	1	0.018	0.018	0.0178	0.01	0.923	0.01
S	1	9.610	9.610	9.6100	7.94	0.217	3.34
Residual Error	1	1.210	1.210	1.2100			0.42
Total	15	287.338					10.00

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
1.1000	99.58%	93.68%

Bảng 17. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến \bar{Fl} khi sửa đá.

Response Table for Means

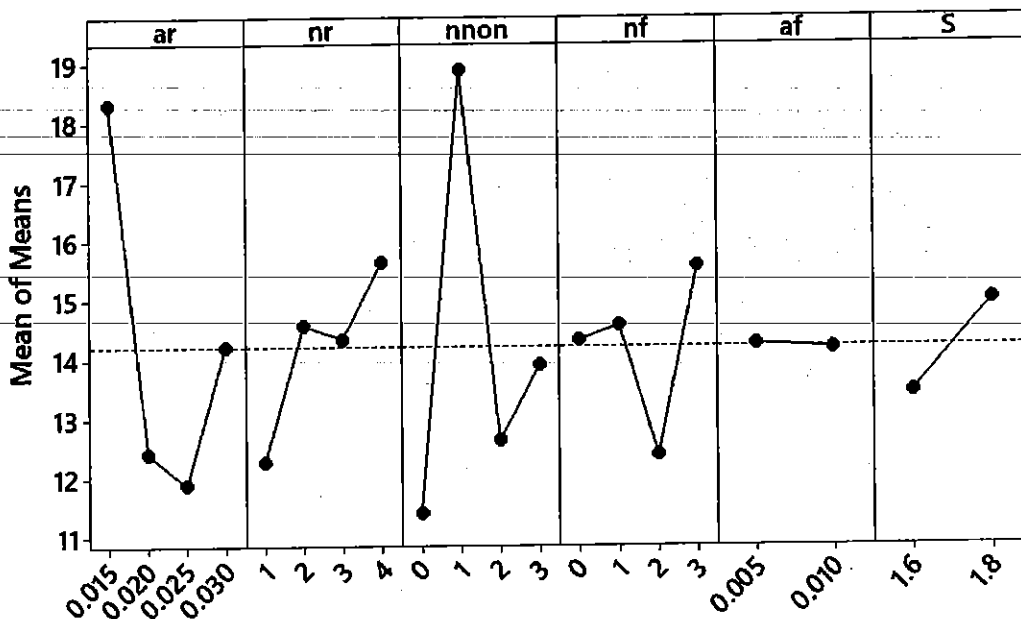
Level	ar	nr	nnon	nf	af	S
1	18.31	12.27	11.40	14.31	14.23	13.42
2	12.41	14.57	18.88	14.56	14.17	14.97
3	11.87	14.33	12.62	12.38		
4	14.21	15.63	13.90	15.56		
Delta	6.43	3.37	7.48	3.18	0.07	1.55
Rank	2	3	1	4	6	5

Bảng 17 và Hình 30 cho thấy:

Chiều sâu sửa đá thô tăng thì \bar{Fl} giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại 0,025 mm (a,3). 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.

Số lần sửa đá thô tăng thì $\bar{F}l$ tăng sau đó giảm rồi lại tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại 4 lần (n_{r4}). Điều này được lý giải là khi 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 rồi giảm, số lưỡi cắt động giảm rồi tăng, lực cắt giảm rồi tăng làm dung sai độ phẳng tăng, giảm rồi tăng

Main Effects Plot for Means
Data Means



Hình 30. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến $\bar{F}l$ khi sửa đá

Có chạy không ăn dao, dung sai độ phẳng lớn hơn so với không chạy không ăn dao. Số lần chạy không ăn dao tăng thì $\bar{F}l$ giảm sau đó tăng và đạt trị số nhỏ nhất tại không lần (n_{non1}). Khi có chạy không ăn dao 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. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng số lần chạy không ăn dao, số lưỡi cắt động tăng, dung sai độ phẳng giảm. Càng tăng số lần chạy không ăn dao, bề mặt đá càng mịn, khả năng cắt của đá mài giảm, dung 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_r2). 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 (S_1). Do lượng chạy dao tăng thì số lưỡi cắt động giảm, khả năng cắt của đá giảm dẫn đến dung sai độ phẳng tăng.

Xác định bộ thông số chế độ sửa đá hợp lý

Theo Bảng 2, thí nghiệm số 10 với chế độ sửa đá: Sửa đá thô hai lần với chiều sâu $a_r = 0,025$ mm, sửa đá tinh hai lần với chiều sâu $a_r = 0,005$ mm, sửa đá chạy không ăn dao ba lần cùng với lượng chạy dao sửa đá $S = 1,6$ m/phút, cho kết quả dung sai độ phẳng nhỏ nhất $Fl = 9,1$ μ m, tỉ số $S/N = -19,19$ lớn nhất. Nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến năng suất bóc tách t là lớn nhất và chịu ảnh hưởng của nhiều là nhỏ nhất. Đây chưa phải mức hợp lý của các thông số nhằm đạt dung sai độ phẳng nhỏ nhất. Vì vậy, cần phân tích phương sai tỉ số S/N của Fl để tìm ra mức hợp lý của các thông số sửa đá được khảo sát.

Bảng 18. ANOVA tỉ số S/N của \bar{Fl} khi sửa đá

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ar	3	32.1421	32.1421	10.7140	23.64	0.150
nr	3	7.0833	7.0833	2.3611	5.21	0.309
nnon	3	40.2938	40.2938	13.4313	29.64	0.134
nf	3	6.3530	6.3530	2.1177	4.67	0.325
af	1	0.0913	0.0913	0.0913	0.20	0.731
S	1	2.4864	2.4864	2.4864	5.49	0.257
Residual Error	1	0.4531	0.4531	0.4531		
Total	15	88.9030				

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.6732	99.49%	92.35%

Bảng 19. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của MMR khi sửa đá

Response Table for Signal to Noise Ratios

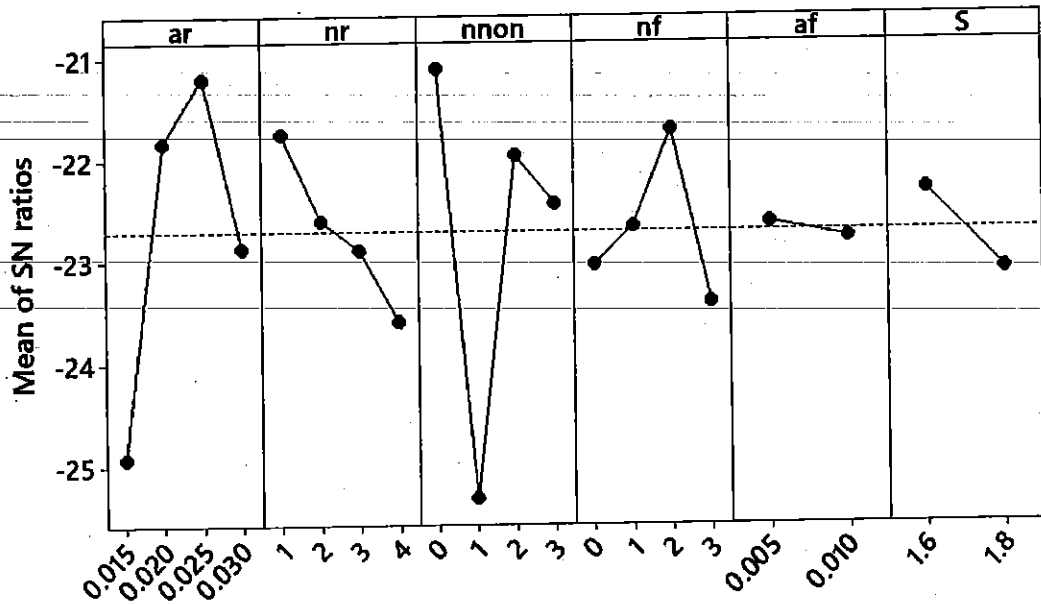
Smaller is better

Level	ar	nr	nnon	nf	af	S
1	-24.93	-21.74	-21.11	-23.04	-22.63	-22.32
2	-21.83	-22.60	-25.33	-22.66	-22.78	-23.10
3	-21.20	-22.89	-21.96	-21.72		
4	-22.87	-23.60	-22.44	-23.41		
Delta	3.74	1.86	4.22	1.69	0.15	0.79
Rank	2	3	1	4	6	5

ANOVA trị số S/N của Fl được thể hiện trong Bảng 18, Bảng 19 và Hình 31.

Kết quả cho thấy: Sửa đá thô 1 lần (n_{r1}) với chiều sâu sửa đá thô 0,025 mm (a_{r3}), sửa đá tinh 2 lần (n_{r3}) với chiều sâu $a_r = 0,005$ mm (a_{r1}) cùng với lượng chạy dao 1,6 m/ph (S1), không sửa đá chạy không ăn dao là những mức và trị số của các thông số sửa đá cho tỉ số S/N lớn nhất. Đây là mức và trị số hợp lý của các thông số sửa đá nhằm đạt được dung sai độ phẳng nhỏ nhất.

Main Effects Plot for SN ratios
Data Means



Signal-to-noise: Smaller is better

Hình 31. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá
Tính toán dự đoán giá trị dung sai độ phẳng

Bảng 20.. Phân tích phương sai khi đưa a_r vào phân tích lỗi.

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	Seq SS'	F	P	C%
ar	3	101.977	101.977	33.9922	100.135	28.09	0.138	34.85
$n_{r\bar{}}$	3	23.778	23.778	7.9259	21.936	6.55	0.278	7.63
nnon	3	129.482	129.482	43.1607	127.640	35.67	0.122	44.42
nf	3	21.263	21.263	7.0878	19.421	5.86	0.293	6.76
(af)	(1)	(0.018)	-Pool-	-	-	-	-	-
S	1	9.610	9.610	9.6100	8.996	7.94	0.217	3.13
Residual Error	2	1.228	1.210	0.6139	1.228			0.43
Total	15	287.338						10.00

Bảng 18 cho thấy, chiều sâu sửa đá tinh ảnh hưởng không đáng kể đến dung sai độ phẳng (0,01%) nên đưa a_r vào phân tích lỗi (Residual Error) và tính toán lại ảnh hưởng. Kết quả đưa a_r vào phân tích lỗi và tính lại % tác động đến dung sai độ phẳng thể hiện như trong Bảng 20.

Trị số dung sai độ phẳng trung bình dự đoán (\bar{Fl}_{OP}) được xác định bởi các mức của các thông số có ảnh hưởng mạnh đến S/N của nhám bề mặt theo công thức:

$$\bar{Fl}_{OP} = \bar{a}_{r3} + \bar{n}_{r1} + \bar{n}_{non1} + \bar{n}_{f3} + \bar{S}_1 - 4 * \bar{T}_{Fl}$$

Trong đó, theo *Bảng 17*:

\bar{a}_{r3} là dung sai độ phẳng trung bình ứng với a_r ở mức 3: $\bar{a}_{r3} = 11,87 \mu m$

\bar{n}_{r1} là dung sai độ phẳng trung bình ứng với n_r ở mức 1: $\bar{n}_{r1} = 12,27 \mu m$

\bar{n}_{non1} là dung sai độ phẳng trung bình ứng với n_{non} ở mức 1: $\bar{n}_{non1} = 11,4 \mu m$

\bar{n}_{f3} là dung sai độ phẳng trung bình ứng với n_f ở mức 3: $\bar{n}_{f3} = 12,38 \mu m$

\bar{S}_1 là dung sai độ phẳng trung bình ứng với S ở mức 1: $\bar{S}_1 = 13,42 \mu m$

\bar{T}_g là năng suất bóc tách trung bình của toàn thí nghiệm.

$$\bar{T}_{Fl} = \frac{\sum_{i=1}^{16} RMR_I + \sum_{i=1}^{16} MR + \sum_{i=1}^{16} RMR_{III}}{48} = 14,2 \mu m$$

Thay số:

$$\bar{Fl}_{OP} = 11,87 + 12,27 + 11,4 + 12,38 + 13,42 - 4 * 14,2 = 4,57 \mu m$$

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

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

Trong đó, $f_e = 2$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0,6139$ là sai số trung bình của lỗi, $F_{\alpha}(1,2) = 8,5263$ là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa 90%, N_e là số lần lặp hiệu quả, R là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của tất cả các thông số tính trung bình}} = \frac{48}{1 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1 + 1} = 3,2$$

Thay số:

$$CI = \pm \sqrt{8,5263 * 0,6139 * \left(\frac{1}{3,2} + \frac{1}{3} \right)} = \pm 1,84$$

Theo đó, với mức ý nghĩa $\alpha = 90\%$ thì dung sai độ phẳng được dự đoán với mức tối ưu của các thông số đầu vào $a_r/n_r/n_{non1}/n_f/a_f/S_1$ như sau:

$$(4,57 - 1,84) \mu m \leq \bar{Fl}_{op} \leq (4,57 + 1,84) \mu m$$

Kết quả thực nghiệm với bộ thông số sửa đá với sửa đá thô 1 lần với chiều sâu sửa đá $a_r = 0,025$ mm, sửa đá tinh 2 lần với chiều sâu $a_f = 0,005$ mm cùng lượng chạy dao S = 1,6 m/phút, không chạy không ăn dao. Dung sai độ phẳng trung bình

nhận được sau 3 lần thực nghiệm là $4,05 \mu\text{m}$. Giá trị này sai khác 11,38% so với giá trị dự đoán.

Nhận xét:

Số lần chạy không ăn dao có ảnh hưởng lớn nhất đến FI, tiếp đến là số lần sửa đá thô, số lần sửa đá tinh, số lần sửa đá tinh, lượng chạy dao sửa đá, và cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh.

Để đạt được dung sai độ phẳng nhỏ nhất: Sửa đá thô 1 lần với chiều sâu sửa đá thô $0,025 \text{ mm}$, sửa đá tinh 2 lần với chiều sâu $a_f = 0,005 \text{ mm}$ cùng với lượng chạy dao $1,6 \text{ m/ph}$, không sửa đá chạy không ăn dao.

3.3. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu năng suất bóc tách lớn nhất.

Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến năng suất bóc tách MMR.

Năng suất bóc tách mong muốn lớn hơn thì tốt hơn nên tỉ số S/N được xác định theo biểu thức (2). Kết quả tính toán tỉ số S/N ứng với kết quả của mỗi thí nghiệm được thể hiện như trong Bảng 21.

Bảng 21. Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm sửa đá theo các thông số đầu vào a_{dr} , n_r , a_{df} , n_f , n_{non} và S

TT	a_r	n_r	n_{non}	n_f	a_f	S	MMR (mm^3/s)				
							Lần 1	Lần 2	Lần 3	S/N	TB
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	2.44	2.42	2.38	7.656	2.41
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	2.05	2.00	1.94	5.998	2.00
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	1.92	1.89	1.88	5.561	1.90
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	1.83	1.82	1.85	5.265	1.83
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	1.84	1.79	1.80	5.160	1.81
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	2.40	2.36	2.37	7.514	2.38
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	2.06	2.05	2.04	6.230	2.05
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	1.93	1.90	1.64	5.149	1.82
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	1.87	1.91	1.92	5.565	1.90
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	2.30	2.25	2.27	7.136	2.27
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	1.75	1.93	1.92	5.389	1.87
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	1.92	1.88	1.89	5.557	1.90
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	1.98	1.92	1.95	5.793	1.95
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	1.89	1.86	1.87	5.455	1.87
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	1.91	1.87	1.86	5.471	1.88
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	1.83	1.81	1.79	5.152	1.81

ANOVA trị số của Năng suất bóc tách trung bình (\overline{MMR}) được thể hiện như *Bảng 22*, *Bảng 23* và *Hình 32*. Theo phần trăm đóng góp ảnh hưởng, số lần sửa đá thô có đóng góp lớn nhất đến Ra (31,29%), tiếp đến là số lần chạy không ăn dao (26,32%), lượng chạy dao sửa đá (19,68%), số lần sửa đá thô (9,92%), số lần sửa đá tinh (8,37%), và cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh (4,32%).

Bảng 22. ANOVA giá trị \overline{MMR} khi sửa đá.

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
a_r	3	0.059138	0.059138	0.019713	34.73	0.124	9.92
n_r	3	0.186483	0.186483	0.062161	109.50	0.070	31.29
n_{non}	3	0.156856	0.156856	0.052285	92.11	0.076	26.32
n_f	3	0.049910	0.049910	0.016637	29.31	0.135	8.37
a_f	1	0.025761	0.025761	0.025761	45.38	0.094	4.32
S	1	0.117311	0.117311	0.117311	206.65	0.044	19.68
Residual Error	1	0.000568	0.000568	0.000568			0.10
Total	15	0.596027					100.00

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.0238	99.90%	98.57%

Bảng 23. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến \overline{MMR} khi sửa đá.

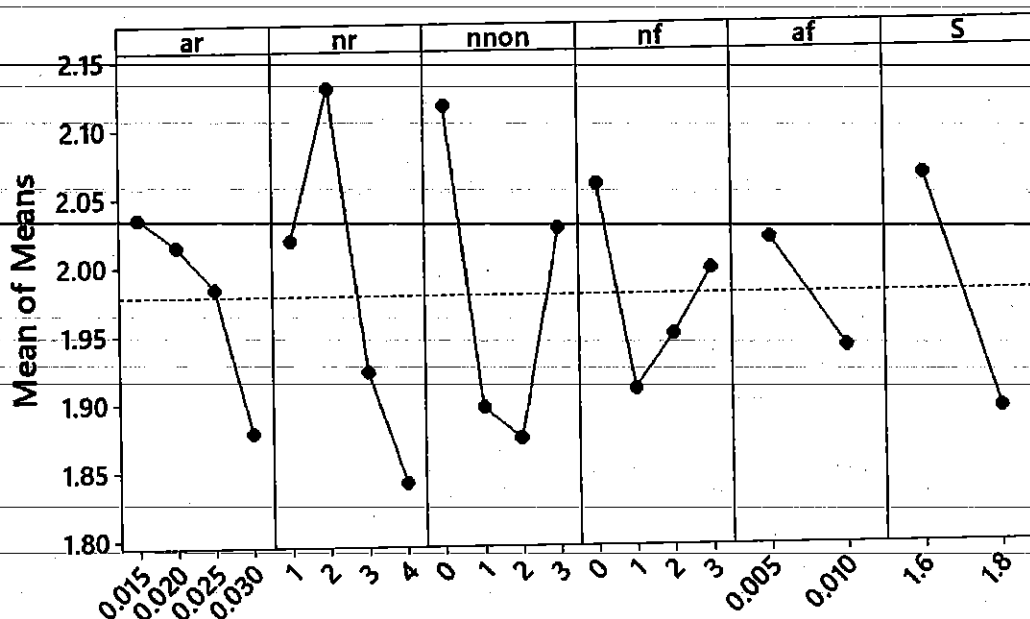
Response Table for Means

Level	a_r	n_r	n_{non}	n_f	a_f	S
1	2.035	2.018	2.116	2.059	2.018	2.064
2	2.015	2.130	1.896	1.909	1.938	1.892
3	1.984	1.922	1.873	1.948		
4	1.878	1.841	2.026	1.996		
Delta	0.158	0.289	0.243	0.150	0.080	0.171
Rank	4	1	2	5	6	3

Bảng 23 và *Hình 32* cho thấy:

Chiều sâu sửa đá thô tăng thì \overline{MMR} giảm và đạt trị số lớn nhất tại 0,015 mm (a_{r1}). 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 bóc tách tăng. Tuy nhiên, 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 đặc biệt khi gia công vật liệu có độ cứng cao như SKD11 sau khi tôi, làm khả năng chứa và thoát phoi giảm, làm cho năng suất bóc tách giảm. Kết quả dẫn đến năng suất bóc tách giảm.

Main Effects Plot for Means Data Means



Hình 32. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến \overline{MMR} khi sửa đá

Số lần sửa đá thô tăng thì \overline{MMR} tăng sau đó giảm và đạt trị số lớn nhất tại 2 lần (n_{r2}). Rõ ràng, càng sửa đá thô nhiều lần thì năng suất bóc tách càng giảm do sự ngẫu nhiên của quá trình sửa đá.

Có sửa đá chạy không ăn dao, năng suất bóc tách giảm so với không thực hiện. Số lần chạy không ăn dao tăng thì \overline{MMR} giảm sau đó tăng và đạt trị số lớn nhất khi không thực hiện chạy không ăn dao (n_{non1}). Số lần chạy không ăn dao tăng thì bề mặt đá càng mịn, điều này làm khả năng cắt của đá giảm, năng suất gia công giảm. Tiếp tục tăng số lần chạy không ăn dao thì số lưỡi cắt động càng nhiều, năng suất bóc tách tăng.

Có sửa đá tinh làm năng suất bóc tách nhỏ hơn so với không sửa đá tinh và năng suất bóc tách 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 bóc tách 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 bóc tách giảm. Nếu tăng số lần sửa đá tinh, số lưỡi cắt động tăng lên, làm năng suất bóc tách 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 bóc tách giảm. Tổng hợp lại, năng suất bóc tách 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{MMR} giảm và đạt trị số nhỏ nhất tại 0,005 mm (a_{f1}). 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 bóc tách tăng. Tuy nhiên, khi gia công vật liệu có độ cứng cao thì các lưỡi cắt dễ bị vỡ để trở về trạng thái có chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá nhỏ làm khả năng chứa và thoát phoi giảm, làm cho năng suất bóc tách giảm. Kết quả dẫn đến năng suất bóc tách giảm

Lượng chạy dao sửa đá tăng thì \overline{MMR} 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 giảm dẫn đến năng suất bóc tách giảm.

Xác định bộ thông số chế độ sửa đá hợp lý

Theo Bảng 21, thí nghiệm số 1 với chế độ sửa đá: Sửa đá thô một lần với chiều sâu $a_{edr} = 0,015$ mm với lượng chạy dao sửa đá $S = 1,6$ m/phút, không thực hiện sửa đá tinh và chạy không ăn dao, cho kết quả năng suất bóc tách lớn nhất $MMR = 2,41$ mm³/s, tỉ số S/N = 7,656 lớn nhất. Nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến năng suất bóc tách là lớn nhất và chịu ảnh hưởng của nhiễu là nhỏ nhất. Đây chưa phải mức hợp lý của các thông số nhằm đạt năng suất bóc tách lớn nhất. Vì vậy, cần phân tích phương sai tỉ số S/N của RMR để tìm ra mức hợp lý của các thông số sửa đá được khảo sát.

ANOVA trị số S/N của MMR được thể hiện trong Bảng 24, Bảng 25 và Hình 33.

Kết quả cho thấy: Sửa đá thô 2 lần (n_r2) với chiều sâu sửa đá thô 0,015 mm (a_r1), lượng chạy dao 1,6 m/ph (S1), không sửa đá tinh và chạy không ăn dao là những mức và trị số của các thông số sửa đá cho tỉ số S/N lớn nhất. Đây là mức và trị số hợp lý của các thông số sửa đá nhằm đạt được năng suất bóc tách lớn nhất.

Bảng 24. ANOVA tỉ số S/N của \overline{MMR} khi sửa đá

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
a_r	3	0.9850	0.98496	0.32832	11.06	0.217
n_r	3	3.3998	3.39981	1.13327	38.19	0.118
n_{non}	3	2.6496	2.64958	0.88319	29.76	0.134
n_f	3	0.9157	0.91568	0.30523	10.29	0.224
a_f	1	0.4431	0.44313	0.44313	14.93	0.161
S	1	1.9757	1.97568	1.97568	66.57	0.078
Residual Error	1	0.0297	0.02968	0.02968		
Total	15	10.3985				

Model Summary

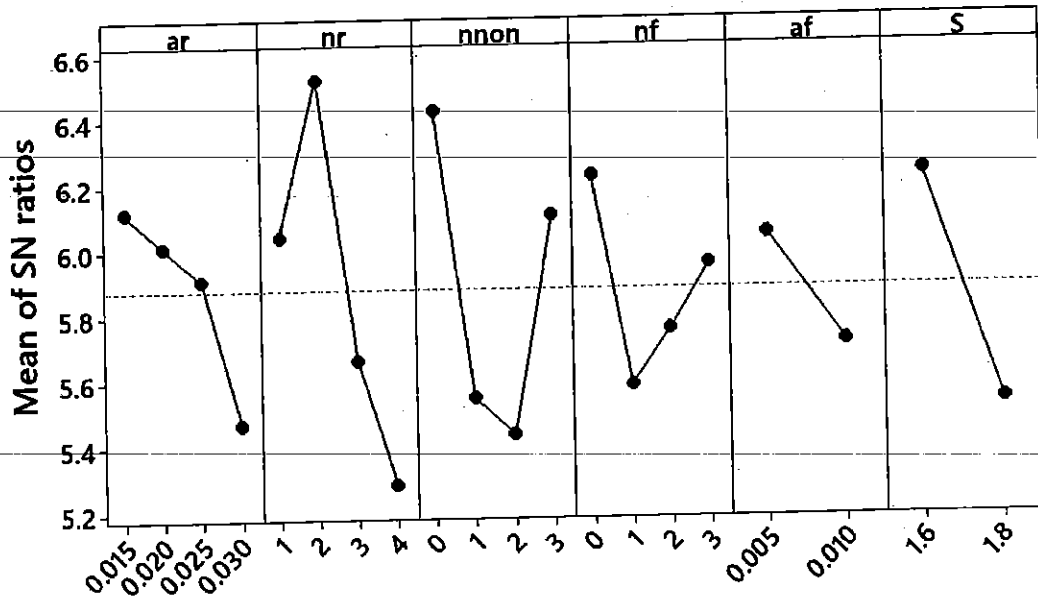
S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.1723	99.71%	95.72%

Bảng 25. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của MMR khi sửa đá
Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	ar	nr	nnon	nf	af	S
1	6.120	6.044	6.428	6.225	6.045	6.230
2	6.013	6.526	5.547	5.582	5.712	5.527
3	5.912	5.663	5.433	5.753		
4	5.468	5.281	6.106	5.953		
Delta	0.652	1.245	0.995	0.642	0.333	0.703
Rank	4	1	2	5	6	3

Main Effects Plot for SN ratios
Data Means



Signal-to-noise: Larger is better

Hình 33. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá
 Tính toán dự đoán giá trị năng suất bóc tách

Trị số năng suất bóc tách trung bình dự đoán (\overline{MMR}_{OP}) được xác định bởi các mức của các thông số có ảnh hưởng mạnh đến S/N của nhám bề mặt theo công thức:

$$\overline{MMR}_{OP} = \bar{a}_{r1} + \bar{n}_{r2} + \bar{n}_{non1} + \bar{a}_{f1} + \bar{n}_{f1} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T}_{RMR}$$

Trong đó, theo Bảng 23:

\bar{a}_{r1} là năng suất bóc tách trung bình ứng với ar ở mức 1: $\bar{a}_{r1} = 2,035 \text{ mm}^3/\text{s}$

\bar{n}_{r2} là năng suất bóc tách trung bình ứng với nr ở mức 2: $\bar{n}_{r2} = 2,13 \text{ mm}^3/\text{s}$

\bar{n}_{non1} là năng suất bóc tách trung bình ứng với nnon ở mức 1: $\bar{n}_{non1} = 2,116 \text{ mm}^3/\text{s}$

\bar{n}_{f1} là năng suất bóc tách t trung bình ứng với nf ở mức 1: $\bar{n}_{f1} = 2,059 \text{ mm}^3/\text{s}$

\bar{a}_{f1} là năng suất bóc tách trung bình ứng với af ở mức 1: $\bar{a}_{f1} = 2,018 \text{ mm}^3/\text{s}$

\bar{S}_1 là năng suất bóc tách trung bình ứng với S ở mức 1: $\bar{S}_1 = 2,064 \text{ mm}^3/\text{s}$

\bar{T}_g là năng suất bóc tách trung bình của toàn thí nghiệm.

$$\bar{T}_{MMR} = \frac{\sum_{i=1}^{16} RMR_I + \sum_{i=1}^{16} MR + \sum_{i=1}^{16} RMR_{III}}{48} = 1,978 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Thay số:

$$\begin{aligned} MMR_{OP} &= 2,035 + 2,13 + 2,116 + 2,059 + 2,018 + 2,064 - 5 * 1,978 \\ &= 2,532 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

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

Trong đó, $f_e = 1$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0,000568$ là sai số trung bình của lỗi, $F_{\alpha}(1,1) = 39,864$ là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa 90%, N_e là số lần lặp hiệu quả, R là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$\begin{aligned} N_e &= \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của tất cả các thông số tính trung bình}} \\ &= \frac{48}{1 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1 + 1} = 3,2 \end{aligned}$$

Thay số:

$$CI = \pm \sqrt{39,864 * 0,000568 * \left(\frac{1}{3,2} + \frac{1}{3} \right)} = \pm 0,129$$

Theo đó, với mức ý nghĩa $\alpha = 90\%$ thì tuổi bền đá mài được dự đoán với mức tối ưu của các thông số đầu vào $a_r, 1/n_r, 2/n_{non}, 1/n_f, 1/a_f, 1/S_1$ như sau:

$$(2,532 - 0,129) \text{ mm}^3/\text{s} \leq \overline{MMR}_{op} \leq (2,532 + 0,129) \text{ mm}^3/\text{s}$$

Kết quả thực nghiệm với bộ thông số sửa đá với sửa đá thô 2 lần với chiều sâu sửa đá $a_r = 0,015 \text{ mm}$, lượng chạy dao $S = 1,6 \text{ m/phút}$, không sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Năng suất bóc tách trung bình nhận được sau 3 lần thực nghiệm là $2,63 \text{ mm}^3/\text{s}$. Giá trị này sai khác 3,87% so với giá trị dự đoán.

Nhận xét:

Số lần sửa đá thô có ảnh hưởng lớn nhất đến MRR, tiếp đến là số lần chạy không ăn dao, lượng chạy dao sửa đá, số lần sửa đá thô, số lần sửa đá tinh, và cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh.

Để đạt được năng suất bóc tách là lớn nhất thì chế độ sửa đá là: Sửa đá thô 2 lần với chiều sâu sửa đá $a_r = 0,015 \text{ mm}$, lượng chạy dao $S = 1,6 \text{ m/phút}$, không sửa đá tinh và không chạy không ăn dao.

3.4. Xác định chế độ công nghệ sửa đá theo chỉ tiêu tuổi bền đá mài lớn nhất.

Bảng 26. Kế hoạch thí nghiệm và kết quả thí nghiệm sửa đá theo các thông số đầu

vào a_{edr} , n_r , a_{edf} , n_f , n_{non} và S

TT	a_r	n_r	n_{non}	n_f	a_f	S	T_w (min)				
							Lần 1	Lần 2	Lần 3	S/N	TB
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	22.2	22.5	22.9	27.05	22.53
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	19.7	19.3	20	25.87	19.67
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	26.8	27.3	26.6	28.59	26.90
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	25.1	26.4	24.8	28.10	25.43
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	17.6	17.3	16.3	24.63	17.07
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	22.4	22.9	23.7	27.23	23.00
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	23.9	24.5	25.3	27.80	24.57
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	24.7	24.5	24.6	27.82	24.60
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	13.7	14.5	13.4	22.83	13.87
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	18.2	18.7	17.5	25.16	18.13
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	23.8	23.7	22.5	27.35	23.33
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	21.3	20.9	21.6	26.55	21.27
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	17.6	17.2	18.8	25.02	17.87
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	21.4	21.9	22.7	26.84	22.00
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	23.5	23	24.3	27.45	23.60
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	19.7	19	18.8	25.65	19.17

Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến năng suất bền đá mài T_w .

Tuổi bền đá mài mong muốn lớn hơn thì tốt hơn nên tỉ số S/N được xác định theo biểu thức (2). Kết quả tính toán tỉ số S/N ứng với kết quả của mỗi thí nghiệm được thể hiện như trong Bảng 26.

Bảng 27. ANOVA giá trị \bar{T}_w khi sửa đá.

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
ar	3	45.679	45.679	15.226	2.25	0.447	24.53
nr	3	99.703	99.703	33.234	4.92	0.317	53.53
nnon	3	6.278	6.278	2.093	0.31	0.830	3.37
nf	3	10.379	10.379	3.460	0.51	0.743	5.57
af	1	7.200	7.200	7.200	1.07	0.490	3.87
S	1	10.240	10.240	10.240	1.51	0.434	5.50
Residual Error	1	6.760	6.760	6.760			3.63
Total	15	186.240					100.00

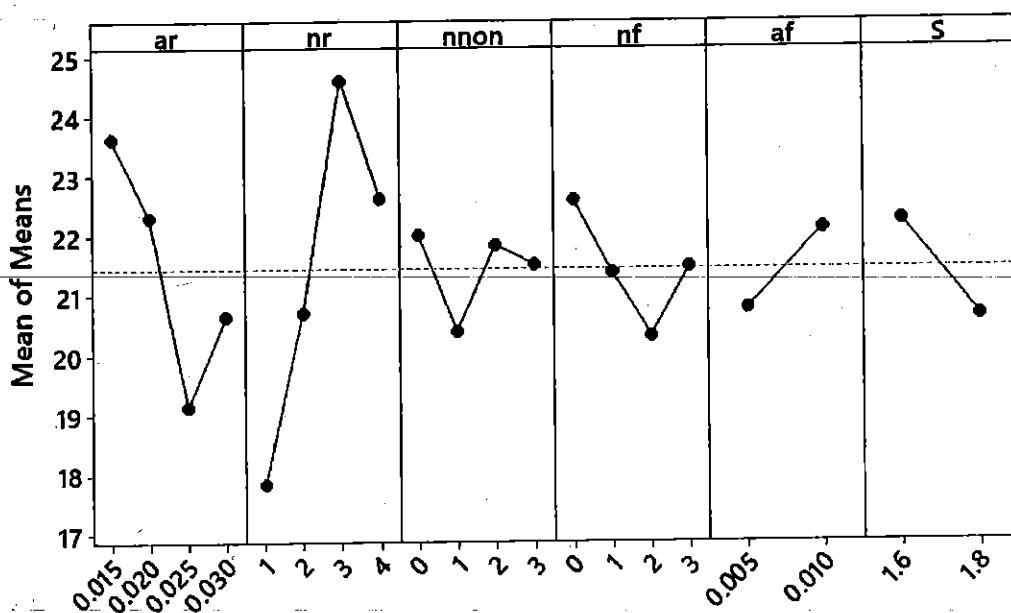
ANOVA trị số của tuổi bền đá mài trung bình (\bar{T}_w) được thể hiện như *Bảng 27*, *Bảng 28* và *Hình 34*. Theo phần trăm đóng góp ảnh hưởng, số lần sửa đá thô có đóng góp lớn nhất đến \bar{T}_w (53,53%), tiếp đến là chiều sâu sửa đá thô (24,43%), số lần sửa đá tinh (5,57%), lượng chạy dao sửa đá (5,50%), chiều sâu sửa đá tinh (3,87%) và cuối cùng là số lần chạy không ăn dao (3,37%).

Bảng 28. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến \bar{T}_w khi sửa đá.

Response Table for Means

Level	ar	nr	nnon	nf	af	S
1	23.63	17.83	22.01	22.59	20.77	22.24
2	22.31	20.70	20.40	21.37	22.11	20.64
3	19.15	24.60	21.84	20.32		
4	20.66	22.62	21.50	21.48		
Delta	4.48	6.77	1.61	2.27	1.34	1.60
Rank	2	1	4	3	6	5

Main Effects Plot for Means
Data Means



Hình 34. Biểu đồ các ảnh hưởng chính của các yếu tố đến \bar{T}_w khi sửa đá

Bảng 28 và *Hình 34* cho thấy:

Chiều sâu sửa đá thô tăng thì tuổi bền giảm sau đó tăng và đạt trị số lớn nhất tại 0,015 mm (a_{ed1}). 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 để trở về trạng thái có chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá nhỏ (đặc biệt là khi mài vật liệu SKD11 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.

Số lần sửa đá thô tăng làm tuổi bền đá tăng rồi giảm và đạt trị số lớn nhất tại 3 lần (n_{r3}). Việc tăng số lần sửa đá thô kết hợp với sự ăn vào ngẫu nhiên của búp sửa đá làm cho chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài tăng hoặc giảm, số lưỡi cắt động tăng rồi giảm, lực cắt giảm rồi tăng làm tuổi bền của đá tăng rồi giảm.

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_{f1}). Tăng số lần sửa đá tinh thì tuổi bền đá mài giảm rồi tăng. 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. Tuy nhiên, càng tăng số lần sửa đá tinh, số lưỡi cắt động tăng làm tăng khả năng cắt của đá mài, tuổi bền tăng.

Chiều sâu sửa đá tinh tăng thì tuổi bền đá mài tăng và tuổi bền đạt trị số lớn nhất tại mức 2 (n_{e2}). Khi chiều sâu sửa đá tinh tăng làm chiều cao nhấp nhô ban đầu của đá mài tăng, không gian thoát phoi tăng dẫn đến tuổi bền tăng.

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 (S_1). Điều này được lý giải do tăng lượng chạy dao sửa đá, không gian chứa phoi giảm làm tuổi bền giảm.

Xác định bộ thông số chế độ sửa đá hợp lý

Theo Bảng 26, thí nghiệm số 3 với chế độ sửa đá: Sửa đá thô ba lần với chiều sâu $a_r = 0,015$ mm, sửa đá tinh hai lần với chiều sâu sửa đá tinh $a_f = 0,01$ mm, sửa không ăn dao hai lần cùng với lượng chạy dao sửa đá $S = 1,6$ m/phút, cho kết quả tuổi bền đá mài lớn nhất $T_w = 26,9$ phút, tỉ số $S/N = 28,59$ lớn nhất. Nghĩa là tác động của thí nghiệm này đến tuổi bền đá mài T_w là lớn nhất và chịu ảnh hưởng của nhiều là nhỏ nhất. Đây chưa phải mức hợp lý của các thông số nhằm đạt tuổi bền đá mài lớn nhất. Vì vậy, cần phân tích phương sai tỉ số S/N của T_w để tìm ra mức hợp lý của các thông số sửa đá được khảo sát.

– ANOVA trị số S/N của T_w được thể hiện trong Bảng 29, Bảng 30 và Hình 35.

Kết quả cho thấy: Sử dụng đá thô 3 lần (n_{r3}) với chiều sâu sửa đá thô 0,015 mm (a_{r1}), lượng chạy dao 1,6 m/ph (S1), không sửa đá tinh và chạy không ăn dao là những mức và trị số của các thông số sửa đá cho tỉ số S/N lớn nhất. Đây là mức và trị số hợp lý của các thông số sửa đá nhằm đạt được tuổi bền đá mài lớn nhất.

Bảng 29. ANOVA tỉ số S/N của \bar{T}_w khi sửa đá

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ar	3	8.3146	8.3146	2.7715	1.87	0.482
nr	3	18.5319	18.5319	6.1773	4.17	0.342
nnon	3	0.9713	0.9713	0.3238	0.22	0.878
nf	3	2.2744	2.2744	0.7581	0.51	0.743
af	1	1.3732	1.3732	1.3732	0.93	0.512
S	1	2.1155	2.1155	2.1155	1.43	0.443
Residual Error	1	1.4798	1.4798	1.4798		
Total	15	35.0606				

Bảng 30. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến tỉ số S/N của T_w khi sửa đá

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	ar	nr	nnon	nf	af	S
1	27.40	24.88	26.82	27.06	26.20	26.86
2	26.87	26.28	26.13	26.52	26.79	26.13
3	25.47	27.80	26.52	26.01		
4	26.24	27.03	26.52	26.40		
Delta	1.93	2.92	0.69	1.05	0.59	0.73
Rank	2	1	5	3	6	4

Trị số tuổi bền đá mài trung bình dự đoán ($\bar{T}_{w,OP}$) được xác định bởi các mức của các thông số có ảnh hưởng mạnh đến S/N của nhám bề mặt theo công thức:

$$\bar{T}_{w,OP} = \bar{a}_{r1} + \bar{n}_{r3} + \bar{n}_{non1} + \bar{a}_{f2} + \bar{n}_{f1} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T}_{Tw}$$

Trong đó, theo Bảng 28:

\bar{a}_{r1} là tuổi bền đá mài trung bình ứng với a_r ở mức 1: $\bar{a}_{r1} = 23,63 \text{ min}$

\bar{n}_{r3} là tuổi bền đá mài trung bình ứng với n_r ở mức 3: $\bar{n}_{r3} = 24,6 \text{ min}$

\bar{n}_{non1} là tuổi bền đá mài trung bình ứng với n_{non} ở mức 1: $\bar{n}_{non1} = 22,01 \text{ min}$

\bar{n}_{f1} là tuổi bền đá mài trung bình ứng với n_f ở mức 1: $\bar{n}_{f1} = 22,59 \text{ min}$

\bar{a}_{f2} là tuổi bền đá mài trung bình ứng với a_f ở mức 2: $\bar{a}_{f2} = 22,11 \text{ min}$

\bar{S}_1 là tuổi bền đá mài trung bình ứng với S ở mức 1: $\bar{S}_1 = 22,24 \text{ min}$

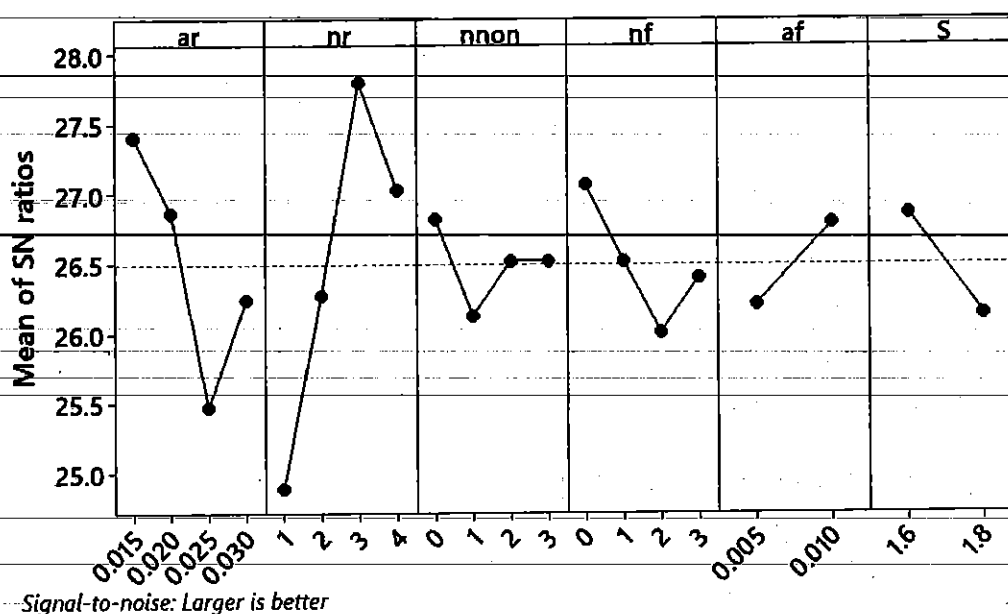
\bar{T}_g là năng suất bóc tách trung bình của toàn thí nghiệm.

$$\bar{T}_{Tw} = \frac{\sum_{i=1}^{16} RMR_I + \sum_{i=1}^{16} MR + \sum_{i=1}^{16} RMR_{III}}{48} = 21,44 \text{ min}$$

Thay số:

$$\begin{aligned} \bar{T}_{w,OP} &= 23,63 + 24,6 + 22,01 + 22,59 + 22,11 + 22,24 - 5 * 21,44 \\ &= 29,98 \text{ min} \end{aligned}$$

Main Effects Plot for SN ratios
Data Means



Hình 35. Biểu đồ ảnh hưởng chính của các yếu tố đến tỉ số S/N của Ra khi sửa đá
Tính toán dự đoán giá trị tuổi bền đá mài

Kết quả thực nghiệm với bộ thông số sửa đá với sửa đá thô 3 lần với chiều sâu sửa đá $a_r = 0,015$ mm, lượng chạy dao $S = 1,6$ m/phút, không sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Tuổi bền đá mài trung bình nhận được sau 3 lần thực nghiệm là 28,9 min. Giá trị này sai khác 3,6% so với giá trị dự đoán.

Nhận xét:

Số lần sửa đá thô có đóng góp lớn nhất đến tuổi bền của đá mài, tiếp đến là chiều sâu sửa đá thô, số lần sửa đá tinh, lượng chạy dao sửa đá, chiều sâu sửa đá tinh và cuối cùng là số lần chạy không ăn dao.

Để tuổi bền của đá mài lớn nhất thì cần sửa đá với chế độ: Sửa đá thô 3 lần với chiều sâu sửa đá $a_r = 0,015$ mm, lượng chạy dao $S = 1,6$ m/phút, không sửa đá tinh và không chạy không ăn dao.

3.5 Tối ưu hóa đa mục tiêu nhám bề mặt và năng suất bóc tách

Thực hiện các bước thực hiện phân tích:

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 theo công thức (8)

Còn với năng suất bóc tách vật liệu mong muốn là “Lớn hơn thì tốt hơn”, tỉ số này xác định theo công thức (6)

Bước 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} ($0 < Z_{ij} \leq 1$) theo công thức sau đây để tránh ảnh hưởng của việc sử dụng các đơn vị khác nhau và để giảm sự biến đổi.

Tỉ số SN và giá trị chuẩn hóa Z ứng với mỗi mục tiêu đầu ra được thể hiện trong **Bảng 31**.

Bảng 31. SN ratio values, normalized SN ratio values and the absolute value.

TT	S/N		Z _{ij}		Δ _j (k)	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
			Trị số tham chiếu			
			1.000	1.000		
1	3.55	7.66	0.57	1.00	0.43	0.00
2	6.18	6.00	0.82	0.34	0.18	0.66
3	7.29	5.56	0.93	0.16	0.07	0.84
4	6.09	5.27	0.82	0.05	0.18	0.95
5	-1.41	5.16	0.10	0.00	0.90	1.00
6	-2.37	7.51	0.01	0.94	0.99	0.06
7	-0.43	6.23	0.19	0.43	0.81	0.57
8	5.97	5.15	0.80	0.00	0.20	1.00
9	-2.46	5.57	0.00	0.16	1.00	0.84
10	2.55	7.14	0.48	0.79	0.52	0.21
11	2.52	5.39	0.48	0.09	0.52	0.91
12	6.37	5.56	0.84	0.16	0.16	0.84
13	8.02	5.79	1.00	0.26	0.00	0.74
14	4.37	5.46	0.65	0.12	0.35	0.88
15	1.51	5.47	0.38	0.13	0.62	0.87
16	-0.38	5.15	0.20	0.00	0.80	1.00

Bước 3: Tính toán hệ số tương tác trong quan hệ mờ đối với các tỉ số SN chuẩn hóa, kết quả thể hiện như trong **Bảng 32**

Bước 4: Xác định mức độ Quan hệ mờ trung bình theo công thức (20), kết quả thể hiện trong **Bảng 32**.

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 1 (t_{rd1} , n_{rd1} , n_{non1} ,

n_{d1} , t_{d1} , S1) chỉ sửa đá thô 1 lần với chiều sâu 0,015 mm, lượng chạy dao 1,6 m/min, không thực hiện sửa đá tinh và không thực hiện sửa đá không ăn dao, có trị số quan hệ xám tương tác lớn nhất (0,770). Điều đó chỉ ra rằng thí nghiệm số 1 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 16 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 33* và *Hình 36* (sử dụng phần mềm Minitab 19 để phân tích).

Bảng 32. Trị số quan hệ mờ của từng thông số và trị số trung bình

TT	Trị số quan hệ mờ γ_i		$\bar{\gamma}$
	Ra	MRR	
1	0.540	1.000	0.770
2	0.740	0.430	0.585
3	0.877	0.374	0.626
4	0.731	0.344	0.537
5	0.357	0.334	0.346
6	0.335	0.898	0.617
7	0.383	0.468	0.425
8	0.719	0.333	0.526
9	0.333	0.375	0.354
10	0.489	0.707	0.598
11	0.488	0.356	0.422
12	0.761	0.374	0.567
13	1.000	0.402	0.701
14	0.590	0.363	0.476
15	0.446	0.364	0.405
16	0.384	0.333	0.359

Bảng 33. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ mờ (Main effects on grey grades).

Response Table for Means

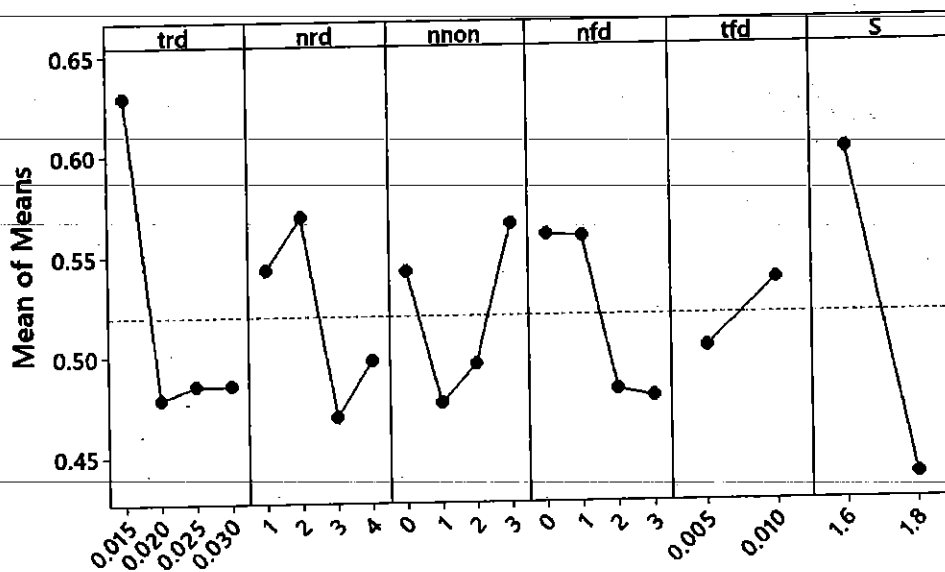
Level	t_{rd}	n_{rd}	n_{non}	n_{rd}	t_{rd}	S
1	0.6294	0.5426	0.5418	0.5596	0.5027	0.6011
2	0.4784	0.5689	0.4757	0.5584	0.5364	0.4380
3	0.4852	0.4694	0.4954	0.4819		
4	0.4852	0.4973	0.5653	0.4783		
Delta	0.1511	0.0995	0.0896	0.0813	0.0337	0.1631
Rank	2	3	4	5	6	1

$\bar{\gamma} = 0,520$

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 6 và hình 3.1, 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: $t_{rd}1/n_{rd}2/n_{non}4/n_{fd}1/t_{fd}2/S1$ tương ứng với $t_{rd} = 0.015\text{mm}$, $n_{rd} = 2$ lần, $n_{non} = 3$ lần, $S = 1.6$ m/min, không thực hiện sửa đá tinh.

Bước 6: Thực hiện phân tích hồi quy phương sai (Analysis of Variance – ANOVA) để xác định các yếu tố quan trọng (Step 6 Perform ANOVA for identifying the significant factors).

Main Effects Plot for Means
Data Means



Hình 36. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số (Factor effects on grade values).

Bảng 34. Results of ANOVA on grey grade

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
t_{rd}	3	0.064517	0.064517	0.021506	14.56	0.190	26.20
n_{rd}	3	0.023906	0.023906	0.007969	5.40	0.304	9.71
n_{non}	3	0.020368	0.020368	0.006789	4.60	0.327	8.27
n_{fd}	3	0.024940	0.024940	0.008313	5.63	0.298	10.13
t_{fd}	1	0.004540	0.004540	0.004540	3.07	0.330	1.84
S	1	0.106470	0.106470	0.106470	72.10	0.075	43.24
Residual Error	1	0.001477	0.001477	0.001477			0.60
Total	15	0.246217					100.00

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.0384	99.40%	91.00%

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.

Kết quả phân tích hồi quy phương sai được thể hiện trong *Bảng 34*.

Kết quả ANOVA trong *Bảng 34* cho thấy: Lượng chạy dao sửa đá S có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (43,24%), tiếp theo là chiều sâu sửa đá thô t_{rd} (26,20%), số lần sửa đá tinh n_{fd} (10,13%), số lần sửa đá thô n_{rd} (9,71%), số lần sửa không ăn dao n_{non} (8,27%), cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh t_{fd} (1,84%).

Bước 7: Tính toán tối ưu hóa và kiểm nghiệm

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

$$\bar{y}_{op} = \eta_m + \frac{\sum_{i=1}^5 (\bar{\eta}_i - \eta_m)}{T} = \frac{t_{rd1} + n_{rd2} + n_{non4} + n_{fd1} + t_{fd2} + S_1 - 5 *}{T} \quad (3.5)$$

Trong đó: T là trị số quan hệ xám trung bình $T = 0.520$, các trị số t_{rd1} , n_{rd2} , n_{non4} , n_{fd1} , t_{fd2} , S_1 là trị số quan hệ xám của các thông số ứng với mức tối ưu hóa tương ứng và được lấy từ *bảng 6*. Theo đó, $\bar{y}_{op} = 0.863$.

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0,195$$

Trong đó: $F_{\alpha}(1, f_e) = 39,864$ là hệ số tra *bảng* với mức ý nghĩa $\alpha\% = 90\%$, $f_e = 1$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0,001477$ là sai số trung bình của lỗi, N_e là số lần lặp hiệu quả, $R = 3$ là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của các yếu tố đưa vào tính toán tối ưu}} = \frac{48}{1 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1 + 1} = 3,2$$

Do đó, với mức ý nghĩa $\alpha = 90\%$ thì trị số quan hệ xám được dự đoán với mức hợp lý của các thông số đầu vào $t_{rd1}/n_{rd2}/n_{non4}/n_{fd1}/t_{fd2}/S_1$ như sau:

$$(0,863 - 0,195) \leq \bar{y}_{op} \leq (0,863 + 0,195)$$

Tính toán dự đoán 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 FI được xác định theo công thức sau:

$$(Ra, MRR)_{op} = \bar{t}_{rd1} + \bar{n}_{rd2} + \bar{n}_{non4} + \bar{n}_{fd1} + \bar{t}_{fd2} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T}$$

Trong đó:

$(Ra, MRR)_{op}$ là trị số nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu tối ưu

$\overline{t_{rd1}}$ là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi chiều sâu sửa đá thô ở mức 1

$\overline{n_{rd2}}$ là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần sửa đá thô ở mức 2

$\overline{n_{non4}}$ là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần chạy không ăn dao ở mức 4

$\overline{n_{fd1}}$ là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần sửa đá tinh ở mức 1

$\overline{t_{fd2}}$ là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi chiều sâu sửa đá tinh ở mức 2

$\overline{S_1}$ là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi lượng chạy dao sửa đá ở mức 1

\overline{T} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu của toàn bộ thí nghiệm.

Theo đó:

$$(Ra)_{op} = 0.211 \mu m$$

$$(MRR)_{op} = 2,362 \text{ mm}^3/s$$

Để đánh giá độ chính xác của việc tính toán, tiến hành thực nghiệm kiểm chứng với bộ thông số sửa đá tối ưu đã tìm được với số lần lặp 2 lần. Bộ thông số thực nghiệm là: $t_{rd} = 0.015 \text{ mm}$, $n_{rd} = 2$ lần, $n_{non} = 4$ lần với lượng chạy dao $S = 1.6 \text{ m/ph}$ và không thực hiện sửa đá tinh. Kết quả thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán tối ưu được thể hiện trong *Bảng 35*.

Bảng 35. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.

Đặc trưng gia công	Thông số tối ưu		
	Tính toán	Thực nghiệm	% sai lệch
	$t_{rd1}, n_{rd2}, n_{non4}, n_{fd1}, t_{fd2}, S1$	$t_{rd1}, n_{rd2}, n_{non4}, n_{fd1}, t_{fd2}, S1$	
Nhám bề mặt Ra (μm)	0,211	0,231	9,48
Năng suất bóc tách vật liệu MRR (mm^3/s)	2,362	2,17	8,13
Giá trị quan hệ mờ	0,863		

Kết quả thực nghiệm cho thấy, sai số lớn nhất so với tính toán là 8,13% ứng với tính toán dung sai độ phẳng 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 dung sai độ phẳng.

Nhận xét:

- Phân tích quan hệ xám trong phương pháp Taguchi để tối ưu hóa đa mục tiêu là một công cụ rất hữu ích để dự đoán nhám bề mặt và dung sai độ phẳng trong quá trình sửa đá khi mài phẳng thép SKD11 bằng đá mài Hải Dương.
- Từ phân tích này, Lượng chạy dao sửa đá S có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (43,24%), tiếp theo là chiều sâu sửa đá thô t_{rd} (26,20%), số lần sửa đá tinh n_{rd} (10,13%), số lần sửa đá thô n_{rd} (9,71%), số lần sửa không ăn dao n_{non} (8,27%), cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh t_{rd} (1,84%).
- Chế độ sửa đá tối ưu khi mài phẳng thép SKD11 qua tôli bằng đá mài Hải Dương nhằm đạt cả nhám bề mặt “nhỏ hơn thì tốt hơn” trong khi năng suất bóc tách vật liệu “lớn hơn thì tốt hơn” là: $t_{rd} = 0.015$ mm, $n_{rd} = 2$ lần, $n_{non} = 4$ lần, $S = 1.6$ m/ph, không thực hiện sửa đá tinh.
- Kết quả thực nghiệm đã chứng minh rằng sự phù hợp của kết quả mô hình tính toán tối ưu với yêu cầu thực tế sửa đá khi mài thép SKD11 bằng đá mài Hải Dương.

3.6. Tối ưu hóa đa mục tiêu dung sai độ phẳng và năng suất bóc tách

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 dung sai độ phẳng là “Nhỏ hơn thì tốt hơn”, tỉ số này xác định theo công thức (8).

Còn với năng suất bóc tách vật liệu mong muốn là “Lớn hơn thì tốt hơn”, tỉ số này xác định theo công thức số (6).

Bước 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.

Tỉ số SN và giá trị chuẩn hóa Z ứng với mỗi mục tiêu đầu ra được thể hiện trong **Bảng 36**.

Bước 3: Tính toán hệ số tương tác trong quan hệ mờ đối với các tỉ số SN chuẩn hóa xác định theo công thức (19). Kết quả thể hiện trong **Bảng 37**.

Bước 4: Xác định mức độ Quan hệ xám theo công thức (20). Kết quả thể hiện trong **Bảng 37**.

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

Bảng 36. SN ratio values, normalized SN ratio values and the absolute value.

TT	S/N		Z _{ij}		Δ _j (k)	
	F1	MRR	F1	MRR	F1	MRR
			Trị số tham chiếu			
			1.000	1.000		
1	-22.07	7.66	0.67	1.00	0.33	0.00
2	-27.89	6.00	0.00	0.34	1.00	0.66
3	-23.23	5.56	0.54	0.16	0.46	0.84
4	-26.56	5.27	0.15	0.05	0.85	0.95
5	-22.8	5.16	0.59	0.00	0.41	1.00
6	-20.67	7.51	0.83	0.94	0.17	0.06
7	-22.57	6.23	0.61	0.43	0.39	0.57
8	-21.29	5.15	0.76	0.00	0.24	1.00
9	-20.67	5.57	0.83	0.16	0.17	0.84
10	-19.19	7.14	1.00	0.79	0.00	0.21
11	-20.04	5.39	0.90	0.09	0.10	0.91
12	-24.89	5.56	0.34	0.16	0.66	0.84
13	-21.44	5.79	0.74	0.26	0.26	0.74
14	-22.65	5.46	0.60	0.12	0.40	0.88
15	-25.74	5.47	0.25	0.13	0.75	0.87
16	-21.66	5.15	0.72	0.00	0.28	1.00

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 10 (t_{rd3} , n_{rd2} , n_{non4} , n_{rd3} , t_{rd1} , S1) chỉ sửa đá thô 2 lần với chiều sâu 0,025 mm, sửa đá tinh 2 lần với chiều sâu 0,005 mm, sửa đá không ăn dao 3 lần cùng lượng chạy dao 1,6 m/min, có trị số quan hệ xám tương tác lớn nhất (0,853). Điều đó chỉ ra rằng thí nghiệm số 10 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 16 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 6 và hình 3.1 (sử dụng phần mềm Minitab 19 để phân tích).

Bảng 37. Trị số quan hệ mờ của từng thông số và trung bình

TT	Grey relational co-efficient γ_i		$\bar{\gamma}$
	FI	MRR	
1	0.602	1.000	0.801
2	0.333	0.430	0.382
3	0.518	0.374	0.446
4	0.371	0.344	0.357
5	0.546	0.334	0.440
6	0.746	0.898	0.822
7	0.563	0.468	0.515
8	0.674	0.333	0.504
9	0.746	0.375	0.560
10	1.000	0.707	0.853
11	0.837	0.356	0.596
12	0.433	0.374	0.403
13	0.659	0.402	0.531
14	0.557	0.363	0.460
15	0.399	0.364	0.382
16	0.638	0.333	0.486

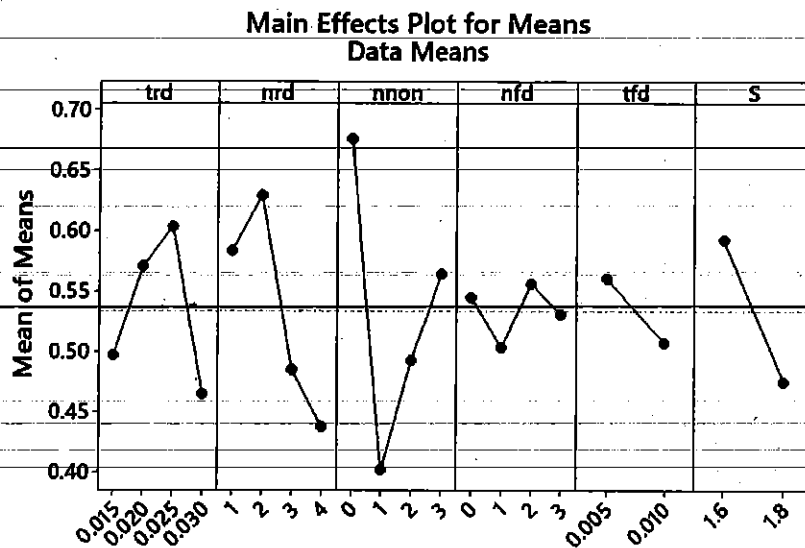
Bảng 38. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ mờ (Main effects on grey grades).

Response Table for Means

Level	t_{rd}	n_{rd}	n_{non}	n_{fd}	t_{fd}	S
1	0.4965	0.5830	0.6763	0.5450	0.5603	0.5927
2	0.5702	0.6292	0.4016	0.5030	0.5070	0.4746
3	0.6035	0.4849	0.4925	0.5563		
4	0.4644	0.4375	0.5642	0.5304		
Delta	0.1391	0.1917	0.2746	0.0533	0.0533	0.1181
Rank	3	2	1	6	5	4

$\bar{\gamma} = 0.534$

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 6 và hình 3.1, bộ thông số tối ưu của quá trình sửa đá khi mài phẳng đáp ứng cả năng suất bóc tách vật liệu “lớn hơn thì tốt hơn” trong khi và dung sai độ phẳng “nhỏ hơn thì tốt hơn” là: $t_{rd}3/n_{rd}3/n_{non}1/n_{fd}3/t_{fd}1/S1$ tương ứng với sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{rd} = 0.025\text{mm}$, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{fd} = 0,005\text{ mm}$ cùng với lượng chạy dao $S = 1.6\text{ m/min}$, không thực hiện sửa đá chạy không ăn dao.



Hình 37. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số (Factor effects on grade values).

Bước 6: Thực hiện phân tích hồi quy phương sai (Analysis of Variance – ANOVA) để xác định các yếu tố quan trọng (Step 6 Perform ANOVA for identifying the significant factors).

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.

Kết quả phân tích hồi quy phương sai được thể hiện trong Bảng 39.

Bảng 39. Results of ANOVA on grey grade

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
trd	3	0.049591	0.049591	0.016530	4.28	0.338	13.01
nrd	3	0.092794	0.092794	0.030931	8.01	0.253	24.34
nnon	3	0.161580	0.161580	0.053860	13.96	0.194	42.38
nfd	3	0.006359	0.006359	0.002120	0.55	0.730	1.67
tfd	1	0.011369	0.011369	0.011369	2.95	0.336	2.98
S	1	0.055755	0.055755	0.055755	14.45	0.164	14.62
Residual Error	1	0.003860	0.003860	0.003860			1.01
Total	15	0.381308					100.00

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
0.0621	98.99%	84.82%

Kết quả ANOVA trong *Bảng 39* cho thấy: Số lần sửa không ăn dao n_{non} có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (42,38%), tiếp theo là số lần sửa đá thô n_{rd} (24,34%), Lượng chạy dao sửa đá S (14,62%), chiều sâu sửa đá thô t_{rd} (13,01%), chiều sâu sửa đá tinh t_{fd} (2,98%), cuối cùng là số lần sửa đá tinh n_{fd} (1,67%).

Bước 7: Tính toán tối ưu hóa và kiểm nghiệm

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

$$\bar{Y}_{op} = \eta_m + \frac{\sum_{i=1}^5 (\eta_i - \eta_m)}{T} = \bar{t}_{rd3} + \bar{n}_{rd2} + \bar{n}_{non1} + \bar{n}_{fd3} + \bar{t}_{fd1} + \bar{S}_1 - 5 * \quad (3.5)$$

Trong đó: T là trị số quan hệ xám trung bình $T = 0.534$, các trị số \bar{t}_{rd3} , \bar{n}_{rd2} , \bar{n}_{non1} , \bar{n}_{fd3} , \bar{t}_{fd1} , \bar{S}_1 là trị số quan hệ xám của các thông số ứng với mức tối ưu hóa tương ứng và được lấy từ bảng 6. Theo đó, $\bar{Y}_{op} = 0.950$.

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0,315$$

Trong đó: $F_{\alpha}(1, f_e) = 39,864$ là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa $\alpha\% = 90\%$, $f_e = 1$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0,00386$ là sai số trung bình của lỗi, N_e là số lần lặp hiệu quả, $R = 3$ là số lần lặp của một thí nghiệm.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của các yếu tố đưa vào tính toán tối ưu}} = \frac{48}{1 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1 + 1} = 3,2$$

Do đó, với mức ý nghĩa $\alpha = 90\%$ thì trị số quan hệ xám được dự đoán với mức hợp lý của các thông số đầu vào $\bar{t}_{rd3}/\bar{n}_{rd2}/\bar{n}_{non1}/\bar{n}_{fd3}/\bar{t}_{fd1}/\bar{S}_1$ như sau:

$$0,6 \leq \bar{Y}_{op} \leq 1,0$$

Tính toán dự đoán 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 MRR và FI được xác định theo công thức sau:

$$(FI, MRR)_{op} = \bar{t}_{rd3} + \bar{n}_{rd2} + \bar{n}_{non1} + \bar{n}_{fd3} + \bar{t}_{fd1} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T}$$

Trong đó:

$(FI, MRR)_{op}$ là trị số dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu tối ưu

\bar{t}_{rd3} là trị số trung bình dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi chiều sâu sửa đá thô ở mức 3

\bar{n}_{rd2} là trị số trung bình dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần sửa đá thô ở mức 2

\bar{n}_{non1} là trị số trung bình dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần chạy không ăn dao ở mức 1

$\overline{n_{fa3}}$ là trị số trung bình dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần sửa đá tinh ở mức 3

$\overline{t_{fa1}}$ là trị số trung bình dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi chiều sâu sửa đá tinh ở mức 1

$\overline{S_1}$ là trị số trung bình dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi lượng chạy dao sửa đá ở mức 1

\overline{T} là trị số trung bình dung sai độ phẳng hoặc năng suất bóc tách vật liệu của toàn bộ thí nghiệm.

Theo đó:

$$(Fl)_{op} = 6,87 \mu m$$

$$(MRR)_{op} = 2,37 mm^3/s$$

Bảng 40. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.

Đặc trưng gia công	Thông số tối ưu		
	Tính toán	Thực nghiệm	% sai lệch
	$t_{rd3}, n_{rd2}, n_{non1}, n_{fa3}, t_{fa1}, S1$	$t_{rd3}, n_{rd2}, n_{non1}, n_{fa3}, t_{fa1}, S1$	
Dung sai độ phẳng Fl (μm)	6,87	6,15	10,48
Năng suất bóc tách vật liệu MRR (mm^3/s)	2,37	2,12	10,54
Giá trị quan hệ mờ	0,950		

Để đánh giá độ chính xác của việc tính toán, tiến hành thực nghiệm kiểm chứng với bộ thông số sửa đá tối ưu đã tìm được với số lần lặp 2 lần. Bộ thông số thực nghiệm là: sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{rd} = 0.025mm$, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{rd} = 0,005 mm$ cùng với lượng chạy dao $S = 1.6 m/min$, không thực hiện sửa đá chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán tối ưu được thể hiện trong *Bảng 40*.

Kết quả thực nghiệm cho thấy, sai số lớn nhất so với tính toán là 10,54% ứng với tính toán dung sai độ phẳng nên phương pháp tính toán hoàn toàn có thể được sử dụng để dự báo chính xác đồng thời hai đặc trưng là năng suất bóc tách vật liệu và dung sai độ phẳng.

Nhận xét:

- Từ phân tích này, Số lần sửa không ăn dao n_{non} có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (42,38%), tiếp theo là số lần sửa đá thô n_{rd} (24,34%), Lượng chạy dao sửa đá S (14,62%), chiều sâu sửa đá thô t_{rd} (13,01%), chiều sâu sửa đá tinh t_{ra} (2,98%), cuối cùng là số lần sửa đá tinh n_{fa} (1,67%).

- Bộ thông số tối ưu của quá trình sửa đá khi mài phẳng đáp ứng cả năng suất bóc tách vật liệu “lớn hơn thì tốt hơn” trong khi và dung sai độ phẳng “nhỏ hơn thì tốt hơn” là: $t_{rd}3/n_{rd}3/n_{non}1/n_{fa}3/t_{fa}1/S1$ tương ứng với sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{rd} = 0.025\text{mm}$, sửa đá tinh 2 lần với chiều sâu $t_{fa} = 0,005\text{ mm}$ cùng với lượng chạy dao $S = 1.6\text{ m/min}$, không thực hiện sửa đá chạy không ăn dao.
- Kết quả thực nghiệm đã chứng minh rằng sự phù hợp của kết quả mô hình tính toán tối ưu với yêu cầu thực tế sửa đá khi mài thép SKD11 bằng đá mài Hải Dương.

Kết luận chương 3:

Đã áp dụng phương pháp Taguchi trong việc tối ưu hóa các đơn mục tiêu và áp dụng phân tích quan hệ xâm trong phương pháp Taguchi để tối ưu hóa đa mục tiêu. Đây là một công cụ rất hữu ích để dự đoán các mục tiêu trong quá trình sửa đá khi mài phẳng thép SKD11 bằng đá mài Hải Dương. Cụ thể là:

- Để đạt nhám bề mặt nhỏ nhất: Sửa đá thô bốn lần với chiều sâu 0.015 mm , sửa đá tinh một lần với chiều sâu 0.01 mm , chạy không ăn dao 3 lần cùng với lượng chạy dao 1.6 m/ph . Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $Ra = 0.208\text{ }\mu\text{m}$, sai lệch 11.23% so với dự đoán $Ra = 0.187\text{ }\mu\text{m}$.
- Để đạt dung sai độ phẳng nhỏ nhất: Sửa đá thô một lần với chiều sâu 0.025 mm , sửa đá tinh hai lần với chiều sâu 0.005 mm , cùng với lượng chạy dao 1.6 m/ph , không thực hiện chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $F1 = 4.05\text{ }\mu\text{m}$, sai lệch 11.38% so với dự đoán $F1 = 4.57\text{ }\mu\text{m}$.
- Để đạt năng suất bóc tách lớn nhất: Sửa đá thô hai lần với chiều sâu 0.015 mm với lượng chạy dao 1.6 m/ph , không sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $MRR = 2.63\text{ mm}^3/\text{s}$, sai lệch 3.83% so với dự đoán $MRR = 2.532\text{ mm}^3/\text{s}$.
- Để đạt tuổi bền đá mài lớn nhất: Sửa đá thô ba lần với chiều sâu 0.015 mm với lượng chạy dao 1.6 m/ph , không thực hiện sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $T_w = 28.9\text{ ph}$, sai lệch 3.6% so với dự đoán $T_w = 29.98\text{ ph}$.
- Để nhám bề mặt nhỏ nhất trong khi năng suất bóc tách vật liệu là lớn nhất: $t_{rd} = 0.015\text{ mm}$, $n_{rd} = 2\text{ lần}$, $n_{non} = 4\text{ lần}$, $S = 1.6\text{ m/ph}$, không thực hiện sửa đá tinh.
- Để dung sai độ phẳng mặt nhỏ nhất trong khi năng suất bóc tách vật liệu là lớn nhất: sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{rd} = 0.025\text{mm}$, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{fa} = 0,005\text{ mm}$ cùng với lượng chạy dao $S = 1.6\text{ m/min}$, không thực hiện sửa đá chạy không ăn dao.

PHẦN IV: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

4.1. Kết luận chung.

- Đã ứng dụng phương pháp Taguchi để tối ưu hóa dự đoán các đơn mục tiêu khi mài tinh phẳng thép SKD11 qua tôl bằng đá mài Hải Dương.
- Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt nhám bề mặt nhỏ nhất: Sửa đá thô bốn lần với chiều sâu 0.015 mm, sửa đá tinh một lần với chiều sâu 0.01 mm, chạy không ăn dao 3 lần cùng với lượng chạy dao 1.6 m/ph. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $Ra = 0.208 \mu\text{m}$, sai lệch 11.23% so với dự đoán $Ra = 0.187 \mu\text{m}$.
- Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt dung sai độ phẳng nhỏ nhất: Sửa đá thô một lần với chiều sâu 0.025 mm, sửa đá tinh hai lần với chiều sâu 0.005 mm, cùng với lượng chạy dao 1.6 m/ph, không thực hiện chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $F1 = 4.05 \mu\text{m}$, sai lệch 11.38% so với dự đoán $F1 = 4.57 \mu\text{m}$.
- Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt năng suất bóc tách lớn nhất: Sửa đá thô hai lần với chiều sâu 0.015 mm với lượng chạy dao 1.6 m/ph, không sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $MRR = 2.63 \text{ mm}^3/\text{s}$, sai lệch 3.83% so với dự đoán $MRR = 2.532 \text{ mm}^3/\text{s}$.
- Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt tuổi bền đá mài lớn nhất: Sửa đá thô ba lần với chiều sâu 0.015 mm với lượng chạy dao 1.6 m/ph, không thực hiện sửa đá tinh và không chạy không ăn dao. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $T_w = 28.9 \text{ ph}$, sai lệch 3.6% so với dự đoán $T_w = 29.98 \text{ ph}$.
- Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt nhám bề mặt nhỏ nhất trong khi năng suất bóc tách vật liệu là lớn nhất: $t_{rd} = 0.015 \text{ mm}$, $n_{rd} = 2 \text{ lần}$, $n_{non} = 4 \text{ lần}$, $S = 1.6 \text{ m/ph}$, không thực hiện sửa đá tinh.
- Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm dung sai độ phẳng mặt nhỏ nhất trong khi năng suất bóc tách vật liệu là lớn nhất: sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{rd} = 0.025 \text{ mm}$, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu $t_{rd} = 0,005 \text{ mm}$ cùng với lượng chạy dao $S = 1.6 \text{ m/min}$, không thực hiện sửa đá chạy không ăn dao.
- Kết quả thực nghiệm đã chứng minh rằng sự phù hợp của kết quả tính toán tối ưu với yêu cầu thực tế sửa đá khi mài thép SKD11 qua tôl bằng đá mài Hải Dương.

4.2. Hướng nghiên cứu tiếp theo

Xác định chế độ tron nguội và chế độ sửa đá nhằm đảm bảo đồng thời nhiều mục tiêu: Lực cắt nhỏ nhất, nhám nhỏ nhất, tuổi bền của đá lớn nhất...Tiến đến xác định đồng thời ảnh hưởng của cả chế độ tron nguội và chế độ sửa đá đến các mục tiêu trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. J. Pande, S.N. Halder, G.K. Lal, *Evaluations of Grinding wheel performance*, *Wear*, 58 (1980), p. 237-248.
- [2] E. I. Suzdal'tsev, A. S. Khamitsaev, A. G. Épov, and D. V. Kharitonov, *Regimes of Mechanical Grinding of Pyroceramic Components in the System Machine – Workpiece – Tool – Scheme*, *Refractories and Industrial Ceramics*, Vol. 45, No.1, 2004.
- [3] I. Pombo, X. Cearsolo, J.A. Sánchez, I. Cabanes, *Experimental and numerical analysis of thermal phenomena in the wear of single point diamond dressing tools*, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 27, June 2017, Pages 145-157.
- [4] Jack Palmer, Hassan Ghadbeigi, Donka Novovic, David Curtis, *An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing*, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 31, January 2018, Pages 348-355.
- [5] J. Pfaff, M. Warhanek, S. Huber, T. Komischke, K. Wegener, *Laser Touch Dressing of Electroplated CBN Grinding Tools*, *Procedia CIRP*, Volume 46, 2016, Pages 272-275.
- [6] Tingzhang Wang, Jian Cheng, Henan Liu, Mingjun Chen, Bo Yu, *Effects of kinematic parameters on electric discharge truing of small ball-end diamond wheels for small concave surfaces grinding*, *Precision Engineering*, Volume 51, January 2018, Pages 117-127.
- [7] J.L. Jiang, P.Q. Ge, W.B. Bi, L. Zhang, Y. Zhang, *2D/3D ground surface topography modeling considering dressing and wear effects in grinding process*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 74, November 2013, Pages 29-40.
- [8] Yanzhong Wang, Yang Liu, Xiaomeng Chu, Yueming He, Wei Zhang, *Calculation model for surface roughness of face gears by disc wheel grinding*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 123, December 2017, Pages 76-88.
- [9] Yanzhong Wang, Yang Liu, Xiaomeng Chu, Yueming He, Wei Zhang, *Calculation model for surface roughness of face gears by disc wheel grinding*, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 123, December 2017, Pages 76-88.

- [10] P. Puertoa, R. Fernández, J. Madariaga, J. Arana, I. Gallego, Evolution of surface roughness in grinding and its relationship with the dressing parameters and the radial wear, *Procedia Engineering* 63 (2013) 174 – 182.
- [11] Albert J Shih, An experimental investigation of rotary diamond truing and dressing of vitreous bond wheels for ceramic grinding, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 40, Issue 12, September 2000, Pages 1755-1774.
- [12] Quanli Zhang, Qingliang Zhao, Suet To, Bing Guo, Zhimin Rao, Precision machining of ‘water-drop’ surface by single point diamond grinding, *Precision Engineering*, Volume 51, January 2018, Pages 190-197.
- [13] G. Xiao, S. Malkin (1996), On-Line Optimization for Internal Plunge Grinding, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 45, Issue 1, Pp. 287-292.
- [14] H.K. Tönshoff, J. Peters, I. Inasaki, T. Paul (1992), Modelling and Simulation of Grinding Processes, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 41, Issue 2, Pp. 677-688.
- [15] X.M. Wen, A.A.O. Tay, A.Y.C. Nee (1992), Micro-computer-based optimization of the surface grinding process, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 29, Issues 1-3, Pp. 75-90.
- [16] N.B. Fredj, H. Sidhom, C. Braham (2006), “Ground surface improvement of the austenitic stainless steel AISI304 using cryogenic cooling”, *Surface & Coatings Technology*, pp. 4846-4860.
- [17] S. Malkin, Y. Koren, A. Ber (1980), Off-Line Grinding Optimization with a Micro-Computer, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 29, Issue 1, Pp. 213-216.
- [18] Trần Minh Đức (2002), *Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ khi sửa đá tới Topography của đá mài*, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật, Đại học Bách khoa Hà nội.
- [19] E. J. Krabacher (1959), *Factors influencing the performance of grinding wheel*, *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 81, pp. 187-192.
- [20] Л.Н. Филимонов, *Стоикость шлифовальных кругов*, “Машиностроение Ленинград”, 1978.
- [21] E. Brinksmeier, F. Werner (1992), *Monitoring of Grinding Wheel Wear*, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 41, Issue 1, Pages 373-376.
- [22] Bành Tiến Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Túy (2013), *Nguyên lý gia công vật liệu*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

- [23] Fritz Klocke, *Manufacturing processes 2* (2009), *Grinding, honing, lapping*, Springer.
- [24] SunHo Kim, Jung Hwan Ahn (1999), *Decision of dressing interval and depth by the direct measurement of the grinding wheel surface*, *Journal of Materials Processing Technology* 88, Pages 190 – 194.
- [25] X. Chen, D. R. Allanson, W. B. Rowe (1998), *Life cycle model of the grinding process*, *Computers in Industry*, Volume 36, Issues 1-2, 30 April, pp. 5-11.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] Mohammad Rabiey, Christian Walter, Friedrich Kuster, Josef Stirnimann, Frank Pude, Konrad Wegener (2012), *Dressing of Hybrid Bond CBN Wheels Using Short-Pulse Fiber Laser*, *Journal of Mechanical Engineering* 58, 7-8, pp. 462-469.
- [29] *Milton C. Shaw (1996)*, *Principles of Abrasive Processing*, Oxford University Press.
- [30] L.M. Kozuro, A.A. Panov, E.I. Remizovski, P.S. Tristosepdov (1981), *Handbook of Grinding (in Russian)*, Publish Housing of High-education, Minsk.
- [31] S. Malkin (1989), *Grinding technology: Theory and Applications of Machining with abrasives*, Ellis Horwood Limited, Endland.
- [32] NORITAKE CO., LIMITED, *Dressing and Truing*, http://www.noritake.co.jp/eng/products/abrasive/support/support_grinding/dressing.html (truy cập 08/03/2019).
- [33] Наерман М.С., *Справчник молодого шлифовщика, М. Высшая школа, 1985.* (<https://docviewer.yandex.com/?url=ya-disk-public%3A%2F%2FqfdddXKLuxtLbsaPJAZZ%2FzKOU DPDpEo%2Fy%2B DzEox3FP8%3D&name=Spravochnik-molodogo-shlifovschika-1985.djvu&e=5710bcfe7d46&page=55>.)

- [34] Norton Catalog, Diamond tools, <http://www.nortonabrasives.com/> (truy cập 8/10/2015).
- [35] Winter Sain-Gobain (2015), Catalogue No.5 Dressing Tools: WINTER diamond tools for dressing grinding wheels, Full-Line Industrial Market.
- [36] 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, Tập 64, Số 2, Trang 75-78.
- [37] Nguyễn Trọng Bình, Trần Minh Đức (1998), Nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ của đá mài tới Topography của đá, Tạp chí Cơ khí ngày nay, Số 21-8, Trang 35.
- [38] Nguyễn Thị Phương Giang (2008), Nghiên cứu tính năng cắt của đá mài cao tốc chất dính kết Ceramic sản xuất tại nhà máy đá mài Hải Dương, luận văn tiến sĩ.
- [39] Tăng Huy, Nguyễn Huy Ninh, Trần Đức Quý (2005), Một phương pháp đo Topography của đá mài bằng cảm biến khoảng cách Laser, Hội nghị Đo lường toàn quốc, Hà nội, trang 159-164.

Effect of Dressing Parameters on Material Removal Rate when Surface Grinding SKD11 Tool Steel

Tran Thi Hong^{1,a}, Bui Thanh Danh^{2,b}, Nguyen Anh Tuan^{3,c}, Vu Trung Tuyen^{4,d},
Luu Anh Tung^{5,e}, Nguyen Thanh Tu^{5,f}, Tran Ngoc Giang^{5,g}, Vu Ngoc Pi^{5,*}

¹Nguyen Tat Thanh University, Vietnam

²University of Transport and Communications, Vietnam

³University of Economic and Technical Industries, Vietnam

⁴National Research Institute of Mechanical Engineering, Vietnam

⁵Thai Nguyen University of Technology, Vietnam

^atranthihong@gmail.com, ^bbui Thanh danh@gmail.com, ^cNatuan.ck@uneti.edu.vn,
^dtuyen.narime@gmail.com, ^eluuanhtung@tnut.edu.vn, ^fnthanhtu.cnl@gmail.com,
^gtranngocgiang@tnut.edu.vn

*Correspondence: vungocpi@tnut.edu.vn; Tel.: +84-974905578

Keywords: Grinding wheel, Dressing parameters, Material removal rate, Taguchi method, SKD11.

Abstract: Nowadays, surface grinding is one of the most common in metal finishing methods. The efficiency of this process is affected by the so-called process parameters such as dressing feed rate (S), rough dressing depth (a_r), rough dressing times (n_r), fine dressing depth (a_f), fine dressing times (n_f), and non-feeding dressing (n_{non}) etc. In this paper, the optimization of dressing parameters in surface grinding SKD11 tool steel is studied. The aim of the study is to find the most appropriate value set of dressing parameters to maximize the material removal rate (MRR). In order to solve the problem, the Taguchi method is used. Based on an orthogonal array $L_{16}(4^4 \times 2^2)$, sixteen experiments have been conducted. By analyzing the experimental results, an optimal solution of such optimization problem has been solved, presenting the most appropriate dressing parameters as follows: $a_r = 0.015$ mm, $n_r = 2$ times, $a_f = 0.005$ mm, $n_f = 0$ times, $n_{non} = 0$ times, $S = 1.6$ m/min. The discovered technology mode has been applied to the real machining process and the outcome shows out a much better result in comparison with default setting modes, that the difference between the model values and the real values of the roughness average is controlled within 3.87% of the ranges.

1. Introduction

Improving the efficiency of the grinding process has been increasingly demanded. However, the typical elements of the grinding process are influenced by many factors such as the work-piece, the grinding machine, the grinding wheel, and process parameters settings [1-8]. These factors not only affect directly on the cutting capacity of grinding wheel, but also impact on the process performance, the accuracy and the quality of ground parts.

A number of studies were already reported that emphasize in increasing the efficiency of dressing process [9-13]. Hoang Xuan Tu et al. [9] studied on the optimization of dressing parameters in cylindrical grinding 9CrSi steel. They showed that minimum surface roughness was found with the rough dressing depth of 0.07 mm, the fine dressing depth of 0.02 mm and the number of non-feeding dressing times is 3. In the same study, Vu Ngoc Pi et al. [10] presented an experimental study on the impacts of the dressing parameters including the dressing depth, the dressing feed rate and the speed of grinding wheel on the surface roughness when grinding tablet shape punches by CBN wheel on CNC milling machine. They noticed that the dressing depth is the most influential parameter on part's surface roughness among all considered. Jack Palmer et al. [11] investigated the topographical changes of grinding wheels, with different grit morphologies and dressing parameters. Their results indicated that the infeed rate is the most influential parameter on the fracturing of the wheel grits. Davide Matarazzo et al. [12] developed the artificial neural network models to detect and predict the

best time for the dressing operation, in order to enhance the efficiency of grinding operation. Also, P. Puertoa et al. [13] analyzed the relationship between surface roughness and the dressing parameters. They concluded that aggressive dressing conditions make coarse topographies of grinding wheel, so initial roughness tends to be high and reduces gradually in the grinding process.

From the extensive review of the above studies, it is evident that there is a keen interest among researchers in the direction of performance enhancement of dressing process. To the best of author's knowledge, although many published researches are available to improve the efficiency of the dressing process, the problem of optimizing dressing parameters for grinding SKD11 steel work-piece on a surface grinding machine has not been reported till date. Therefore, this paper proposes a method to optimize six dressing parameters in surface grinding SKD11 tool steel. The dressing parameters including the dressing feed rate (S), the rough dressing depth (a_r), rough dressing times (n_r), fine dressing depth (a_f), fine dressing times (n_f), and non-feeding dressing (n_{non}) were selected as input process parameters in this study. Sixteen experiments have been conducted. The experimental data would be the basis to analyze the influence of process parameters on the material removal rate (MRR) and find the optimal dressing parameters in surface grinding SKD11 steel.

2. Methodology

2.1. Experimental machine and equipment: A surface grinding machine equipped with a Cn46TB2GV1.300.32.127.30 grinding wheel was used for the grinding tests as shown in Figure 1. The grinding wheel is dressed using a single-point diamond pen dresser. The work-pieces made of SKD11 steel were used as the test specimen and subjected to a heat treatment prior to the grinding tests. The dimensions of the specimen are 70 x 40 x 25 mm. The processing equipment is shown in Table 1.

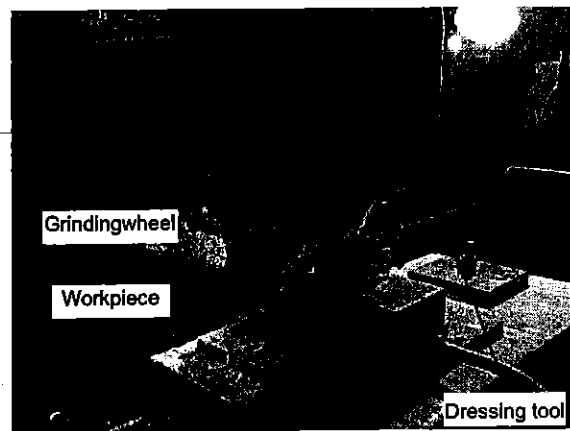


Fig. 1. Surface grinding process

Table 1. Experimental machine and equipment

Machine and Equipment	Specifications
Machine for grinding	MOTO – YOKOHAMA (Japan)
Dressing tool	3908-0088C (type 2, Russia)
Grinding wheel	Cn46TB2GV1.300.32.127.30 m/s (Hai Duong, Vietnam)
Work-piece material	SKD11
Work-piece dimensions	70x40x25 mm ³
Roughness measurement machine	SJ201 – Mitutoyo (Japan)

2.2. Design experiment: The experiments were carried out with the following grinding parameters: The velocity of the grinding wheel was set at 26.5 m/sec. The depth of cut was set at 0.01 mm. The velocity of work-piece was set at 8 m/min. The feed rate of the machine table was set at 8 mm/pass.

Also, six dressing parameters (S , a_r , n_r , a_f , n_f , n_{non}) are selected as input process parameters in this study to study their effect on material removal rate. The assigned values of input parameters at different levels and their designation are tabulated in Table 2. The Taguchi method is used for the design of the experiment. An orthogonal array $L_{16}(4^4 \times 2^2)$ with fractional parametrical designs was selected and sixteen experiments have been conducted as shown in seven first columns in Table 3. After each experiment, the material removal rate is determined three times. These values are presented as in four last columns in Table 3.

Table 2. Dressing parameters and levels

Dressing parameters	Unit	Experimental levels			
		1	2	3	4
S	m/min	1.6	1.8	-	-
a_r	mm	0.015	0.02	0.025	0.03
n_r	Times	1	2	3	4
a_f	mm	0.005	0.01	-	-
n_f	Times	0	1	2	3
n_{non}	Times	0	1	2	3

3. Results and Discussion

To evaluate the influence of six dressing parameters on the material removal rate and to determine the optimal value of these parameters, the analysis of variance (ANOVA) was used. With the goal of the experiment, the larger the material removal rate is, the better the result is achieved. Therefore, according to Taguchi method, the signal-to-noise ratios (S/N) for this target is calculated by formula (1) [14, 15]. The obtained material removal rate results of the conducted experiments and corresponding signal-to-noise ratios (S/N) are also presented in Table 3.

$$S/N = -10 \text{ Log}_{10} [\text{MSD}] \quad (1)$$

With:

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

Where:

n is the number of experiments under the same input parameters;

y_i is material removal rate value for the i th experiment ($i = 1, 2, 3$).

Table 3. L₁₆ Orthogonal array with factors and responses

No.	a _r	n _r	n _{non}	n _f	a _f	S	MRR (mm ³ /s)				
							Trial 1	Trial 2	Trial 3	Mean	S/N
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	2.44	2.42	2.38	2.41	7.656
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	2.05	2.00	1.94	2.00	5.998
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	1.92	1.89	1.88	1.90	5.561
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	1.83	1.82	1.85	1.83	5.265
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	1.84	1.79	1.80	1.81	5.160
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	2.40	2.36	2.37	2.38	7.514
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	2.06	2.05	2.04	2.05	6.230
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	1.93	1.90	1.64	1.82	5.149
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	1.87	1.91	1.92	1.90	5.565
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	2.30	2.25	2.27	2.27	7.136
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	1.75	1.93	1.92	1.87	5.389
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	1.92	1.88	1.89	1.90	5.557
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	1.98	1.92	1.95	1.95	5.793
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	1.89	1.86	1.87	1.87	5.455
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	1.91	1.87	1.86	1.88	5.471
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	1.83	1.81	1.79	1.81	5.152

3.1. Determination the influence of dressing parameters: The ANOVA values of medium material removal rate (*MRR*) are shown in Table 4, Table 5 and Figure 2. The analysis results show the influence level of dressing parameters on part's medium material removal rate as follows: the impact level of rough dressing times (n_r) on the material removal rate is 31.29%; the impact level of non-feeding dressing times (n_{non}) on the material removal rate is 26.32%; the impact level of dressing feed rate (S) on the material removal rate is 19.68%; the impact level of rough dressing depth (a_r) on material removal rate is 9.92%; the impact level of fine dressing times (n_f) on the material removal rate is 9.92%. the impact level of fine dressing depth (a_f) on the material removal rate is 4.32%. Thus, the influence of rough dressing times (n_r) on the material removal rate is the greatest, and the effect of fine dressing depth (a_f) on the material removal rate is the smallest.

According to Figure 2, in the beginning the material removal rate (*MRR*) increases, but when the number of rough dressing times (n_r) increases, it decreases. It reaches the largest value at the rough dressing times of 2 (equivalent to the rough dressing times value at the second level). In contract, the material removal rate initially decreases but rises when the number of fine dressing times (n_f) or the non-feeding dressing times (n_{non}) grows. It is maximum at the fine dressing times of 0 (equivalent to the fine dressing times value at the first level). It reaches the largest value at the non-feeding dressing times (n_{non}) of 0 (equivalent to the value of non-feeding dressing times at the first level). In addition, the material removal rate decreases when the rough dressing depth (a_r) and the fine dressing depth (a_f) or the dressing feed rate (S) increases. Its value is maximum at the rough dressing depth (a_r) of 0.015 mm (equivalent to the value of rough dressing depth at the first level). It reaches the largest value at the fine dressing depth (a_f) of 0.005 mm (equivalent to the value of fine dressing depth at the first level). It is maximum at the dressing feed rate (S) of 1.6 m/min (equivalent to dressing feed rate value at the first level).

Table 4. The ANOVA values of medium material removal rate (\overline{MRR})

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
a_r	3	0.059138	0.059138	0.019713	34.73	0.124	9.92
n_r	3	0.186483	0.186483	0.062161	109.50	0.070	31.29
n_{non}	3	0.156856	0.156856	0.052285	92.11	0.076	26.32
n_f	3	0.049910	0.049910	0.016637	29.31	0.135	8.37
a_f	1	0.025761	0.025761	0.025761	45.38	0.094	4.32
S	1	0.117311	0.117311	0.117311	206.65	0.044	19.68
Residual Error	1	0.000568	0.000568	0.000568			0.10
Total	15	0.596027					100.00

Table 5. The influence level of dressing parameters on medium material removal rate (\overline{MRR})

Level	a_r	n_r	n_{non}	n_f	a_f	S
1	2.035	2.018	2.116	2.059	2.018	2.064
2	2.015	2.130	1.896	1.909	1.938	1.892
3	1.984	1.922	1.873	1.948		
4	1.878	1.841	2.026	1.996		
Delta	0.158	0.289	0.243	0.150	0.080	0.171
Rank	4	1	2	5	6	3

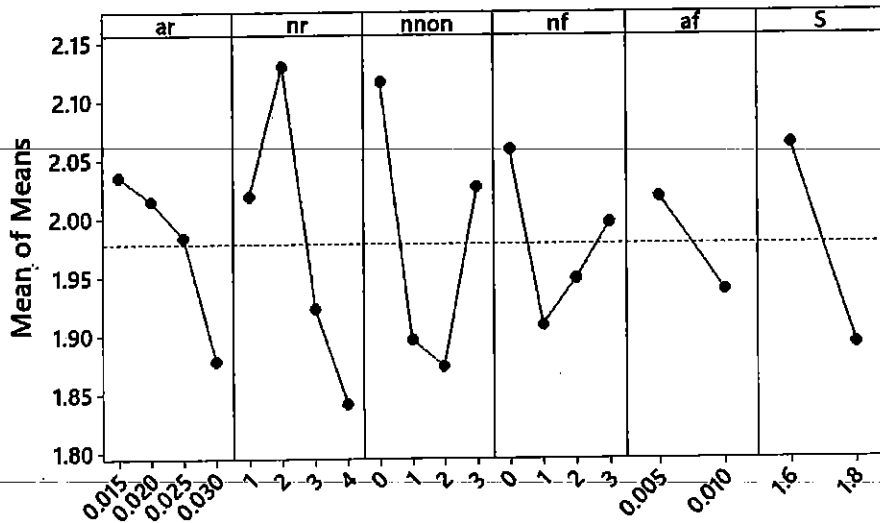
Main Effects Plot for Means
Data Means

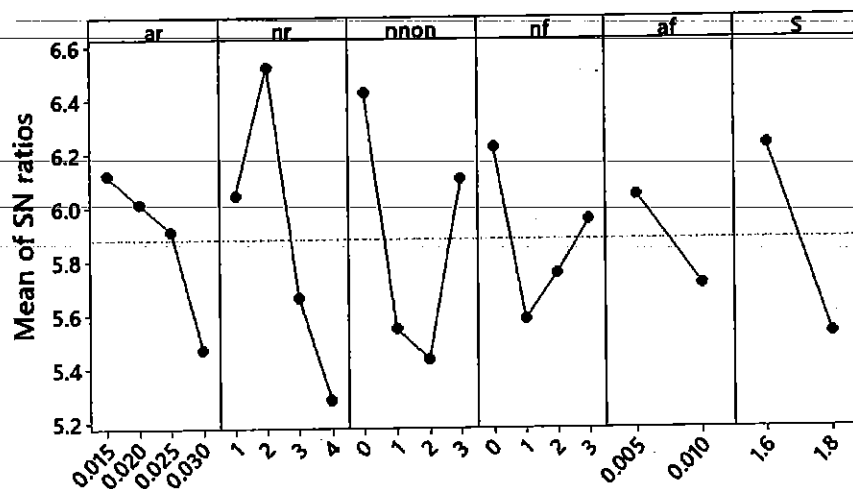
Fig. 2. Main effect plots of dressing parameters for means of material removal rate

3.2. Determination of optimal dressing parameters: For determination of optimal dressing parameters, the ANOVA values for signal-to-noise ratios (S/N) are determined (as shown in Table 6 and Figure 3).

Table 6 and Figure 3 indicate that the signal-to-noise ratio (S/N) reaches the greatest value with the following dressing parameters: $a_r = 0.015$ mm, $n_r = 2$ times, $n_{non} = 0$ times, $n_f = 0$ times, $a_f = 0.005$ mm, $S = 1.6$ m/min. That means the optimum dressing parameters will not have the fine dressing times ($n_{non} = 0$ times), and non-feeding dressing ($n_f = 0$ times). These values of the dressing parameters are optimum, which would help to get the best material removal rate.

Table 6. The ANOVA values for signal-to-noise ratios (S/N)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
\bar{a}_r	3	0.9850	0.98496	0.32832	11.06	0.217
\bar{n}_r	3	3.3998	3.39981	1.13327	38.19	0.118
\bar{n}_{non}	3	2.6496	2.64958	0.88319	29.76	0.134
\bar{n}_f	3	0.9157	0.91568	0.30523	10.29	0.224
\bar{a}_f	1	0.4431	0.44313	0.44313	14.93	0.161
S	1	1.9757	1.97568	1.97568	66.57	0.078
Residual Error	1	0.0297	0.02968	0.02968		
Total	15	10.3985				

Main Effects Plot for SN ratios
Data Means

Signal-to-noise: Larger is better

Fig. 3. Main effect plots of dressing parameters for signal-to-noise ratios (S/N)

3.3. Determination of optimal material removal rate value: The optimal material removal rate value MRR_{op} is determined by the levels of the dressing parameters that strongly affect the signal-to-noise ratio (S/N) as follows:

$$\overline{MRR}_{OP} = \bar{a}_{r1} + \bar{n}_{r2} + \bar{n}_{non1} + \bar{a}_{f1} + \bar{n}_{f1} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T}_{RMR} \quad (3)$$

Where:

\bar{a}_{r1} is the mean material removal rate value corresponding to the rough dressing depth value at the first level ($\bar{a}_{r1} = 2.035 \text{ mm}^3/\text{s}$);

\bar{n}_{r2} is the mean material removal rate value corresponding to the rough dressing times value (\bar{n}_r) at the first level ($\bar{n}_{r2} = 2.13 \text{ mm}^3/\text{s}$);

\bar{n}_{non1} is the mean material removal rate value corresponding to the non-feeding dressing times value at the first level ($\bar{n}_{non1} = 2.116 \text{ mm}^3/\text{s}$);

\bar{n}_{f1} is the mean material removal rate value corresponding to the fine dressing times value at the first level ($\bar{n}_{f1} = 2.059 \text{ mm}^3/\text{s}$);

\bar{a}_{f1} is the mean material removal rate value corresponding to the fine dressing depth value at the first level ($\bar{a}_{f1} = 2.018 \text{ mm}^3/\text{s}$);

\bar{S}_1 is the mean material removal rate value corresponding to the dressing feed rate value at the first level ($\bar{S}_1 = 2.064 \text{ mm}^3/\text{s}$);

\bar{T}_g is the mean material removal rate value of the total experiment;

Thus:

$$\bar{T}_{MMR} = \frac{\sum_{i=1}^{16} RMR_{I} + \sum_{i=1}^{16} MR + \sum_{i=1}^{16} RMR_{III}}{48} = 1.978 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Therefore:

$$MMR_{OP} = 2.035 + 2.13 + 2.116 + 2.059 + 2.018 + 2.064 - 5 * 1.978 = 2.532 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Finally, the confirmation experiment which takes the parameters found above as the dressing mode have conducted to compare experimental values of the material removal rate to those which are calculated by the mathematical models (3). The result of the experiment which is presented in Table 7, indicates that the difference between experimental values and mathematical model values of the material removal rate is within 3.87% of the range. This indicates that the models which are proposed in the study are reliable.

Table 7. Comparison results between calculation value and experimental value

Output responses	Optimum parameters		
	Prediction value	Experimental value	Error (%)
	$a_{r1}, n_{r2}, n_{non1}, n_{fl}, a_{fl}, S_1$	$a_{r1}, n_{r2}, n_{non1}, n_{fl}, a_{fl}, S_1$	
The material removal rate - MRR (mm^3/s)	2.532	2.63	3.87

4. Conclusion

We propose herein a method based on Taguchi technique to optimize the dressing parameters in surface grinding operation for SKD11 steel. Based on the experimental investigation, the following points can be concluded:

- Among the six dressing parameters, the most influential parameter on material removal rate is the rough dressing times. The second influential parameter on material removal rate is the non-feeding dressing times. The third influential parameter on material removal rate is the dressing feed rate. The fourth influential parameter on material removal rate is the rough dressing depth. The fifth influential parameter on material removal rate is the fine dressing times. The smallest influential parameter on material removal rate is fine dressing depth.

- By applying Taguchi technique and analysis of variance (ANOVA), with the proposed target function of the material removal rate, the optimum dressing parameters for the maximum material removal rate have been found as follows: $a_r = 0.015$ mm, $n_r = 2$ times, $n_{non} = 0$ times, $n_f = 0$ times, $a_f = 0.005$ mm, $S = 1.6$ m/min.

- The difference between experimental values and mathematical model values of the material removal rate is within 3.87% of the range. This proves that the models which are proposed in the study are reliable.

Acknowledgements

The work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

- [1] Tran T. H., Luu A. T., Nguyen Q. T., Le H. K. Hoang, T. D. Vu, Vu, N. P. (2020). *A Study on Calculation of Optimum Exchanged Grinding Wheel Diameter when Surface Grinding Stainless Steel*. Materials Science Forum, 977, 3–11. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.977.3>.
- [2] Tran, T. H., Hoang, X. T., Le, H. K., Nguyen, Q. T., Nguyen, T. T., Nguyen, T. T. N., Jun, G., & Vu, N. P. (2020). *A Study on Cost Optimization of External Cylindrical Grinding*. Materials Science Forum, 977, 18–26. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.977.18>.
- [3] Hung, L. X., Lien, V. T., Pi, V. N., & Long, B. T. (2019). *A Study on Coolant Parameters in Internal Grinding of 9CrSi Steel*. Materials Science Forum, 950, 24–31. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.950.24>.
- [4] Tu, H. X., Pi, V. N., & Jun, G. (2019). *A Study on Determination of Optimum Parameters for Lubrication in External Cylindrical Grinding Base on Taguchi Method*. Key Engineering Materials, 796, 97–102. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.796.97>
- [5] Le Xuan Hung, Vu Ngoc Pi, Luu Anh Tung, Hoang Xuan Tu, Gong Jun and BanhTien Long. *Determination of Optimal Exchanged Grinding Wheel Diameter when Internally Grinding Alloy Tool Steel 9CrSi*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. (2018). IOP Publishing.
- [6] Tran, T.-H., et al., *Optimization of replaced grinding wheel diameter for minimum grinding cost in internal grinding*. Applied Sciences, 2019. 9(7): p. 1363.
- [7] Tran, T.-H., et al., *Optimization of Replaced Grinding Wheel Diameter for Surface Grinding Based on a Cost Analysis*. Metals, 2019. 9(4): p. 448.
- [8] Hoang Xuan Tu, Gong Jun, LX Hung, LA Tung, VN Pi. *Calculation of optimum exchanged grinding wheel diameter when external grinding tool steel 9CrSi*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research Vol. 8, No. 1, January 2019.
- [9] Tu, H.X., et al. *Influence of dressing parameters on surface roughness of workpiece for grinding hardened 9XC tool steel*. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/542/1/012008/pdf>
- [10] Ngoc-Pi Vu ., et al., *Optimization of Grinding Parameters for Minimum Grinding Time When Grinding Tablet Punches by CBN Wheel on CNC Milling Machine*. Appl. Sci. 2019, 9, 957; doi:10.3390/app9050957.
- [11] Jack Palmer et al., *An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing*. Journal of Manufacturing Processes. Volume 31, January 2018, Pages 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.11.025>.
- [12] Davide Matarazzo et al., *Prediction of dressing in grinding operation via neural networks*. 10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME. Procedia CIRP 62 (2017) pp. 305 – 310.
- [13] P. Puerto et al., *Evolution of surface roughness in grinding and its relationship with the dressing parameters and the radial wear*. The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2013. Procedia Engineering 63 (2013) pp.174 – 182.
- [14] Chekole, N.; Deshpande, V. *Review analysis on optimization of cylindrical grinding process parameters by using Taguchi technique*. Ind. Eng. J. 2018, 14, 35–39.
- [15] Hong-Seok Byun, Seok-Hee Lee. *Design of a piston forging process using a hybrid Taguchi method and multiple criteria decision-making*. Journal of Mechanical Science and Technology 31 (4) (2017).

Improvement of Wheel Life by Optimization of Dressing Parameters in Surface Grinding of SKD11 Steel

Tran Thi Hong^{1,a}, Vu Trung Tuyen^{2,b}, Luu Anh Tung^{3,c}, Do The Vinh^{3,d},
Nguyen Thi Quoc Dung^{3,e}, Nguyen Thanh Tu^{3,f}, Tran Ngoc Giang^{3,g},
Vu Ngoc Pi^{3,*}

¹Nguyen Tat Thanh University, Vietnam

²National Research Institute of Mechanical Engineering, Vietnam

³Thai Nguyen University of Technology, Vietnam

^atranthihong@gmail.com, ^btuyen.narime@gmail.com, ^cluuanhtung@tnut.edu.vn,
^dthevinh8880@tnut.edu.vn, ^equocdung@tnut.edu.vn, ^fnthanhtu.cnv1@gmail.com,
^gtranngocgiang@tnut.edu.vn,

*Correspondence: vungocpi@tnut.edu.vn; Tel.: +84-974905578

Keywords: Surface grinding, dressing, dressing parameters, wheel life, Taguchi method, optimization.

Abstract. This article describes an optimization of dressing parameters to improve the wheel life in surface grinding of hardened SKD 11 steel by using the Taguchi method. Dressing parameters including dressing feed rate, coarse dressing depth, coarse dressing times, fine dressing depth, fine dressing times, and non-feeding dressing were investigated to determine their influence on the wheel life. The DOE method developed by G. Taguchi was selected to design the experiments. An analysis of the signal-to-noise (S/N) response and ANOVA were conducted to obtain the optimal values of dressing parameters for maximizing the wheel life. In the results section, the coarse dressing times and the coarse dressing depth are determined to be the most influential factors which give a statistically significant effect on wheel life. Also, a predictive value of the average wheel life is given with a 3.6% deviation from the verification experiment.

Introduction

Grinding is a widely used machining process for material removal roughing operations as well as high-quality finishing processes. In the grinding process, the dressing plays an important role in wheel preparation. It is applied to sharpen abrasive particles as well as remove loads and built-up workpiece material deposited on the surface of the grinding wheel [1, 2]. During working, the grinding wheel is worn continuously and that affects the quality and productivity of the process. Therefore, the dressing process is required to ensure the original specification of the grinding wheel. The profile, topography, and the wear behavior of the grinding wheel are affected by the dressing process. Thus, the dressing significantly affects the grinding wheel performance [3-5]. Despite its importance in the grinding process, the dressing is usually conducted empirically or based on practical knowledge. In literature, there are many attempts made to optimize the dressing process as well as determine the influence of dressing parameters on machining quality or grinding wheel [2-11]. X-T Hoang et al. studied the influence of dressing parameters on roughness in 9XC tool steel grinding [6]. The authors presented an optimization of dressing parameters such as rough dressing, final dressing, and dressing without the depth of cut for improving the surface roughness. In another study [4], D. D. Mohite and S. Jadhav investigated the effects of parameters of dressing operation using blade type multi-point diamond such as dressing depth of cut, dressing cross feed rate, drag angle of dresser and number of passes on surface roughness. They concluded that dressing cross feed rate is the most influencing factor in roughness. A-T Luu et al. presented an optimization of dressing parameters of the grinding wheel of 9CrSi tool steel to minimize roughness average and flatness tolerance by using the Taguchi method and Grey Relational Analysis[5]. The conclusion was presented that the dressing regime with coarse

dressing depth of 0.025 mm, coarse dressing times of 3 times, fine dressing depth of 0.005 mm, fine dressing times of 2 times, non-feeding dressing of 3 times and dressing feed rate of 1.6 m/min lead to the smallest roughness average and minimum flatness tolerance. The impact of dressing parameters of hybrid bond CBN grinding wheels to the roughness, the grinding forces, and the wheel wear was given in a study of Rabiey M et al.[12]. Aleksandrova proposed a simulation model for the wheel life, the cutting ability, the production rate, and cutting forces in the grinding process[13]. Based on Linke's dressing model, a mathematic model for the initial wear of vitrified bonded-grinding wheels was presented by Fritz Klocke et al.[3].

The grinding wheel life is an important index that reflects the physical aspects of grinding as well as the economic and technical factors. It demonstrates one of the basic characteristics of a grinding wheel[14]. In the research of Tianyu Yu[15], a predictive model for the total wheel life that is consistent with experimental observations has been proposed. In two studies of Hwang[16, 17], the author suggested that grinding wheel life was strongly influenced by continued grit dulling and progressive increase of grinding forces and specific energy. In research [18], Kwak, J. S., & Ha, M. K. has established a relation of a variation of wheel file with the grinding ratio and static grinding force. In a study on the grinding using CBN wheels[19], Chen, X. et al. conclude that a decrease in the dressing depth increases the wheel life.

Surface grinding is the most common of the grinding process. Thus, surface grinding is very much interested in scientists as well as manufacturers [20-25]. The study on the effect of dressing parameters on wheel life in surface grinding, however, is still open.

This study shows the optimization of dressing parameters to improve the wheel life in surface grinding of hardened SKD 11 steel. The Taguchi method and ANOVA were used to design the experiment and find the optimal value of the dressing process for maximizing the wheel life.

Experimental Design

In this study, the grinding and dressing processes are implemented by using a surface grinding machine as shown in Figure 1. The work-pieces are made by SKD11 steel with dimensions of 60 mm x 35 mm x 25 mm and hardness of 58-62 HRC. The lubricant used in the grinding process is Cantext Aquatex 3810 with a concentration of 3% and a flow of 10 l/min. Experimental machines and equipment are listed in Table 1. All the tests were conducted under a grinding condition fixed as cutting velocity of 26.7 m/s, depth of cut of 0.01 mm, longitudinal feed rate of 8 mm/stroke, table speed of 8 m/min. The data of wheel life was collected by using a Kistler 9257BA piezoelectric dynamometer. The wheel life is defined as the amount of time the grinding wheel begins to contact the workpiece surface until the radial force (P_y) increases sharply.

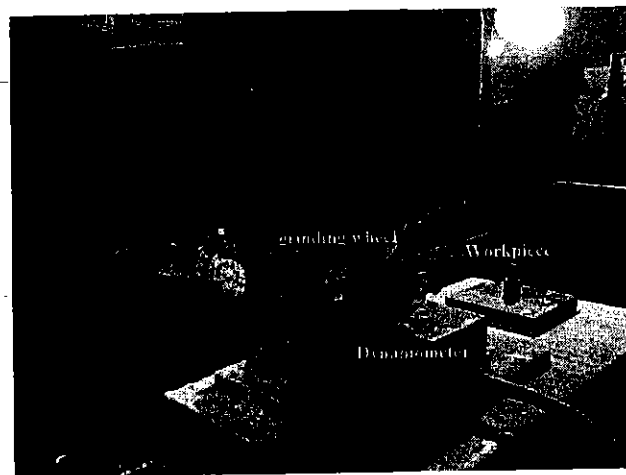


Figure 1. Surface grinding process

Table 1. Experimental machine and equipment

Machine and Equipment	Specifications
Machine for grinding	MOTO – YOKOHAMA (Japan)
Dressing tool	3908-0088C (type 2, Russia)
Grinding-wheel	Cn46TB2GV1-300.32.127.30 m/s (Hai Duong, Vietnam)
Work-piece material	SKD11
Work-piece dimensions	60mm x 35mm x 25mm
Dynamometer	Kistler 9257BA piezoelectric dynamometer

The Taguchi approach is selected because of its simplicity and robustness used to optimize the process parameters involving a significant reduction in cost and processing time [26,27]. In the experimental design of the Taguchi method, the orthogonal array is utilized to obtain the best results with a minimum number of experiments. An S/N ratio is opted for measuring the performance characteristics and calculating the percent contribution of each parameter of the process by using the analysis of variance. In the Taguchi method, there are three types of S/N ratio including “the bigger is the better”, “the smaller is the better”, and “the nominal is the better”. Therefore, the appropriate type is applied to each specific case. To get the maximum wheel life, “the bigger is the better” type was selected as shown in the following equation:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (1)$$

Where: y_i is the observed data, n is the number of experiments that are repeated.

The input factors with levels are shown in Table 2. The experiment was designed by using orthogonal array L_{16} of the Taguchi method. To reduce experimental errors, each experiment was repeated three times.

Table 2. Factors and levels

Factors	Levels			
	1	2	3	4
Coarse dressing depth a_r (mm/stroke)	0.015	0.02	0.025	0.03
Coarse dressing times n_r (time)	1	2	3	4
Non-feeding dressing n_{non} (time)	0	1	2	3
Fine dressing times n_f (time)	0	1	2	3
Fine dressing depth a_f (mm/stroke)	0.005	0.01	-	-
Dressing feed rate S (mm/min)	1.6	1.8	-	-

Results and Discussions

Table 3 shows the experimental results and S/N ratios. The input factors include coarse dressing depth (a_r), coarse dressing times (n_r), non-feeding dressing (n_{non}), fine dressing times (n_f), fine dressing depth (a_f), and dressing feed rate (S). T_w is wheel life with three trials for each test. S/N is signal to noise ratio obtained by using Minitab software 17. As shown in Table 3, the measured wheel life values range from 17.5 min to 27.3 min.

Table 4 shows the response table for S/N ratios. The ranked highest of each level of parameters is the first level for coarse dressing depth, the third level for coarse dressing times, the first level for non-feeding dressing, the first level for fine dressing times, the second level for fine dressing depth, and the first level for dressing feed rate. Thus, the optimal parameters of the experiment will be (1-3-1-1-2-1). The rank of coarse dressing times as “1” shown in Table 4 means that the coarse dressing times is the most influential factor in the wheel life. The second factor affecting the wheel life is the coarse dressing depth.

Table 3. The result of experiments the S/N ratios

No.	a _r	n _r	n _{non}	n _f	a _f	S	Wheel life T _w (min)				S/N
							Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average	
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	22.2	22.5	22.9	22.53	27.05
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	19.7	19.3	20	19.67	25.87
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	26.8	27.3	26.6	26.90	28.59
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	25.1	26.4	24.8	25.43	28.10
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	17.6	17.3	16.3	17.07	24.63
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	22.4	22.9	23.7	23.00	27.23
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	23.9	24.5	25.3	24.57	27.80
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	24.7	24.5	24.6	24.60	27.82
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	13.7	14.5	13.4	13.87	22.83
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	18.2	18.7	17.5	18.13	25.16
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	23.8	23.7	22.5	23.33	27.35
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	21.3	20.9	21.6	21.27	26.55
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	17.6	17.2	18.8	17.87	25.02
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	21.4	21.9	22.7	22.00	26.84
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	23.5	23	24.3	23.60	27.45
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	19.7	19	18.8	19.17	25.65

Table 4. Response table for S/N ratios

Level	a _r	n _r	n _{non}	n _f	a _f	S
1	27.40	24.88	26.82	27.06	26.20	26.86
2	26.87	26.28	26.13	26.52	26.79	26.13
3	25.47	27.80	26.52	26.01	-	-
4	26.24	27.03	26.52	26.40	-	-
Delta	1.93	2.92	0.69	1.05	0.59	0.73
Rank	2	1	5	3	6	4

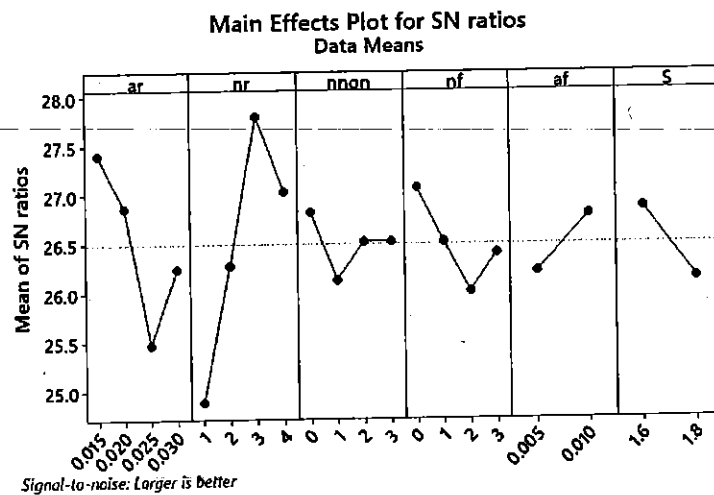


Figure 2. The S/N response analysis

As shown in Figure 2, the S/N response analysis indicates that the optimal parameters of dressing process were coarse dressing depth of 0.015 (mm/stroke), coarse dressing times of 3 (time), non-

feeding dressing of 0.0 (time), fine dressing times of 0.0 (time), fine dressing depth of 0.01 (mm/stroke), and dressing feed rate of 1.6 (mm/min). The result shows that dressing mode consisting of 3 times the coarse dressing with a depth of 0.015 mm/stroke, and feed rate of 1.6 mm/min without fine dressing and non-feeding dressing is the optimal dressing process to get the maximum grinding wheel life.

The result can be explained that, when applying the optimal dressing, the appropriate chip space and protrusion height along with a large number of dynamic cutting edges were generated on the wheel surface. The protrusion height, the chip space, and the number of dynamic cutting edges indicate the material removal capability of the grinding wheel. With large coarse dressing times, more protrusion height, chip space, and many dynamic cutting edges were generated resulting in the improved cutting capability of the wheel. This results in a reduced grinding force that increases the wheel life. However, larger protrusion height means less entrapment of the bonding material onto the grit that results in the low bonding force. This affects the wheel life. On the other hand, the fine dressing and non-feeding dressing, in this case, are applied that reduce the protrusion height and chip space. This reduces the grinding wheel life. Similarly, the increase in dressing feed rate reduces the chip space that leads to reduced wheel life.

Table 5 shows the analysis of variance for SN ratios. As shown in the ANOVA table, the coarse dressing times is the most influential factor in wheel life followed by the coarse dressing depth. Their influence accounts for 52.86% and 23.71% of the total effect, respectively. The influence of other factors is less than 10% of the total effect.

Table 5. Analysis of variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	%
a_r	3	8.3146	8.3146	2.7715	1.87	0.482	23.71
n_r	3	18.5319	18.5319	6.1773	4.17	0.342	52.86
n_{non}	3	0.9713	0.9713	0.3238	0.22	0.878	2.77
n_f	3	2.2744	2.2744	0.7581	0.51	0.743	6.49
a_f	1	1.3732	1.3732	1.3732	0.93	0.512	3.92
S	1	2.1155	2.1155	2.1155	1.43	0.443	6.032
Error	1	1.4798	1.4798	1.4798			4.222
Total	15	35.0606					

The predicted average wheel life ($\bar{T}_{w,OP}$) is calculated by the following equation:

$$\bar{T}_{w,OP} = \bar{a}_{r1} + \bar{n}_{r3} + \bar{n}_{non1} + \bar{a}_{f2} + \bar{n}_{f1} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T}_{Tw} \quad (2)$$

Where \bar{a}_{r1} is average wheel life for a_r at level 1, \bar{n}_{r3} is average wheel life for n_r at level 3, \bar{n}_{non1} is average wheel life for n_{non} at level 1, \bar{n}_{f1} is average wheel life for n_f at level 1, \bar{a}_{f2} is average wheel life for a_f at level 2, \bar{S}_1 is average wheel life for S at level 1, \bar{T}_{Tw} is average wheel life.

Based on Table 3, the values in (2) can be determined as the following: $\bar{a}_{r1} = 23,63$ min; $\bar{n}_{r3} = 24,6$ min; $\bar{n}_{non1} = 22,01$ min; $\bar{n}_{f1} = 22,59$ min; $\bar{a}_{f2} = 22,11$ min; $\bar{S}_1 = 22,24$ min ; $\bar{T}_{Tw} = 21,44$ min

By (2):

$$\bar{T}_{w,OP} = 23,63 + 24,6 + 22,01 + 22,59 + 22,11 + 22,24 - 5 * 21,44 = 29,98 \text{ min}$$

A verification experiment repeated 3 times was carried out with the dressing parameters such as coarse dressing depth of 0.015 (mm/stroke), coarse dressing times of 3 (time), dressing feed rate of 1.6 (mm/min) without fine dressing and non-feeding dressing. The average wheel life obtained from the verification experiments is 28.9 min. This value is 3.6% different from the predicted average wheel life determined by (2). It proves that the research result is reliable.

Conclusion

In this work, the optimization of dressing parameters was performed to improve the wheel life in surface grinding of hardened SKD 11 steel by using the Taguchi method. The results of the study can be given as follows:

- The coarse dressing times have the greatest influence on the wheel life followed by the coarse dressing depth. Their influences are 52.86% and 23.71% of the total effect, respectively. The influence of other factors is less than 10% of the total effect.
- The optimal dressing process for the maximum grinding wheel life consists of 3 times the coarse dressing with a depth of 0.015 mm/stroke, and a feed rate of 1.6 mm/min without fine dressing and non-feeding dressing.
- The predicted average wheel life is given with a 3.6% deviation from the verification experiment.

Acknowledgment

The authors wish to thank Thai Nguyen University of Technology. This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

- [1] W. B. Rowe, *Principles of modern grinding technology*: William Andrew, 2013.
- [2] J. Palmer, H. Ghadbeigi, D. Novovic, and D. Curtis, "An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 31, pp. 348-355, 2018.
- [3] F. Klocke, J. Thiermann, and P. Mattfeld, "Influence of the dressing process on grinding wheel wear," *Production Engineering*, vol. 9, pp. 563-568, 2015.
- [4] D. D. Mohite and S. Jadhav, "An Investigation of Effect of Dressing Parameters for Minimum Surface Roughness using CNC Cylindrical Grinding Machine," *IIREAS*, vol. 6, pp. 59-68, 2015.
- [5] L. A. Tung, V. N. Pi, V. T. Lien, T. T. Hong, L. X. Hung, and B. T. Long, "Optimization of dressing parameters of grinding wheel for 9CrSi tool steel using the taguchi method with grey relational analysis," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, p. 012030.
- [6] H. X. Tu, T. T. Hong, N. T. T. Nga, J. Gong, and V. N. Pi, "Influence of dressing parameters on surface roughness of workpiece for grinding hardened 9XC tool steel," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, p. 012008.
- [7] M. Novák, N. Naprstkova, and H. Kasuga, "Influence of grinding wheel dressing on the roughness of final surface and cutting force during GGG60 grinding," in *Key Engineering Materials*, 2016, pp. 218-223.
- [8] A. Azizi, S. M. Rezaei, and A. Rahimi, "Study on the rotary cup dressing of CBN grinding wheel and the grinding performance," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 47, pp. 1053-1063, 2010.
- [9] H. Baseri, S. Rezaei, A. Rahimi, and M. Saadat, "Analysis of the disc dressing effects on grinding performance—part 2: effects of the wheel topographical parameters on the specific energy and workpiece surface roughness," *Machining Science and Technology*, vol. 12, pp. 197-213, 2008.
- [10] X. Chen, "Strategy for the selection of grinding wheel dressing conditions," *Liverpool John Moores University*, 1995.
- [11] T. Buttery, A. Statham, J. Percival, and M. Hamed, "Some effects of dressing on grinding performance," *Wear*, vol. 55, pp. 195-219, 1979.

- [12] M. Rabiéy, C. Walter, F. Kuster, J. Stirnimann, F. Pude, and K. Wegener, "Dressing of hybrid bond CBN wheels using short-pulse fiber laser," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 58, pp. 462-469, 2012.
- [13] I. Aleksandrova, "Optimization of the dressing parameters in cylindrical grinding based on a generalized utility function," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 29, pp. 63-73, 2016.
- [14] G. Trmal and H. Kaliszer, "Optimization of a grinding process and criteria for wheel life," in *Proceedings of the Fifteenth International Machine Tool Design and Research Conference, 1975*, pp. 311-315.
- [15] T. Yu, A. F. Bastawros, and A. Chandra, "Experimental and modeling characterization of wear and life expectancy of electroplated CBN grinding wheels," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 121, pp. 70-80, 2017.
- [16] T. Hwang, C. J. Evans, E. P. Whitenton, and S. Malkin, "High speed grinding of silicon nitride with electroplated diamond wheels, part 1: wear and wheel life," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 122, pp. 32-41, 2000.
- [17] T. Hwang, C. J. Evans, and S. Malkin, "High speed grinding of silicon nitride with electroplated diamond wheels, part 2: wheel topography and grinding mechanisms," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 122, pp. 42-50, 2000.
- [18] J.-S. Kwak and M.-K. Ha, "Evaluation of wheel life by grinding ratio and static force," *KSME international journal*, vol. 16, pp. 1072-1077, 2002.
- [19] X. Chen, W. Rowe, and R. Cai, "Precision grinding using CBN wheels," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 42, pp. 585-593, 2002.
- [20] J.-S. Kwak, "Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process," *International journal of machine tools and manufacture*, vol. 45, pp. 327-334, 2005.
- [21] V. Pi, A. Lu, L. Hung, and B. Long, "Cost optimization of surface grinding process," *J. Environ. Sci. Eng.*, vol. 5, pp. 606-611, 2016.
- [22] V. N. Pi, L. A. Tung, L. Hung, and N. Ngoc, "Experimental determination of optimum exchanged diameter in surface grinding process," *J. Environ. Sci. Eng. A*, vol. 6, pp. 85-89, 2017.
- [23] S. Shaji and V. Radhakrishnan, "Analysis of process parameters in surface grinding with graphite as lubricant based on the Taguchi method," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 141, pp. 51-59, 2003.
- [24] L. Barczak, A. Batako, and M. Morgan, "A study of plane surface grinding under minimum quantity lubrication (MQL) conditions," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 50, pp. 977-985, 2010.
- [25] G. Manimaran and R. Venkatasamy, "Influence of cryogenic cooling on surface grinding of stainless steel 316," *Cryogenics*, vol. 59, pp. 76-83, 2014.
- [26] T.-V. Do and Q.-C. Hsu, "Optimization of minimum quantity lubricant conditions and cutting parameters in hard milling of AISI H13 steel," *Applied Sciences*, vol. 6, p. 83, 2016.
- [27] M. S. Phadke, "Quality engineering using design of experiments," in *Quality control, robust design, and the Taguchi method*, ed: Springer, 1989, pp. 31-50.



Multi Response Optimization of Dressing Conditions for Surface Grinding SKD11 Steel by HaiDuong Grinding Wheel Using Grey Relational Analysis in Taguchi Method

Tran Thi Hong¹, Ngo Ngoc Vu², Nguyen Huu Phan³,
Tran Ngoc Giang², Nguyen Thanh Tu², Le Xuan Hung²,
Bui Thanh Danh⁴, and Luu Anh Tung^{2(✉)}

¹ Center of Excellence for Automation and Precision Mechanical Engineering,
Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

² Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam
luuanhtung@tnut.edu.vn

³ Faculty of Mechanical Engineering,

Hanoi University of Industry, Ha Noi, Vietnam

⁴ University of Transport and Communications, Ha Noi, Vietnam

Abstract. This paper presents a multi response optimization for dressing parameters for surface grinding SKD11 steel using HaiDuong grinding wheel by grey relational analysis (GRA) in the Taguchi method. The input parameters including feed rate (S), depth of rough dressing (a_r), rough dressing times (n_r), depth of fine dressing (a_f), fine dressing times (n_f) and non-feeding dressing (n_{non}) to flatness tolerance (FI) were investigated and optimized to obtain the smallest flatness tolerance and the highest material removal rate (MRR). The experimental results showed that optimum calculation model with dressing process for surface grinding SKD11 steel using Haiduong grinding wheel is suitable.

Keywords: Surface grinding · Orthogonal array · Grey relational analysis · ANOVA · Optimization

1 Introduction

Dressing is an important work in grinding operation. Up to now, there have been a variety of researches relating dressing. This work includes two steps which are dressing and cleaning operations. Dressing is to generate a defined work-piece profile and micro-topography for grinding wheel, as shown in Fig. 1. In grinding process, grinding wheel is affected by cutting forces, cutting temperature and complex chemical interactions, so grinding wheel is worn. Here, perimeter and edge wear are the macro grinding wheel wear and wear of abrasive grains is micro wear. It includes 4 types, as shown in Figs. 2 and 3. Therefore, the minimum depth of dressing must be double wear types [1, 2].

There are some methods to measure topography of grinding wheel. One of the methods uses sensors [3–6]. Accordingly, the times of dressing is based on the relationship between the force of the grinding process and the machined surface roughness. The depth of dressing bases on topography analysis of grinding wheel. The wear of grinding wheel and optimum dressing conditions were also presented [7]. In another study [8], optimum dressing conditions were investigated to reduce cutting forces and enhance surface roughness for Al_2O_3 grinding wheel with SPK12080 hardening workpiece material. The influence of grinding ratio and cutting forces on grinding life was presented by [9]. In a study [10], authors compared effective of dressing using diamond dressing tool with dressing using laser method for grinding 100Cr6 hardening material using SiC grinding wheel.

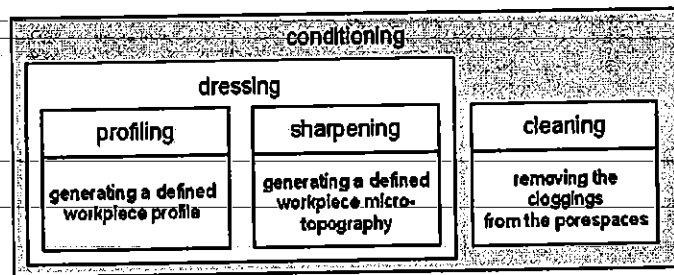


Fig. 1. Dressing process [1].

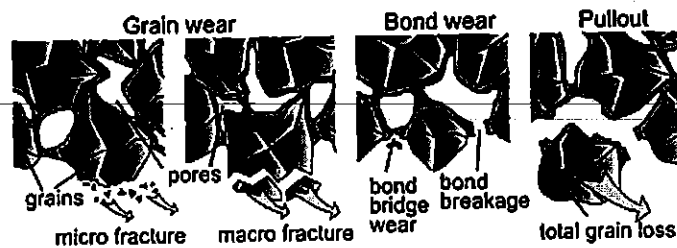


Fig. 2. Macro grinding wheel wear [2].

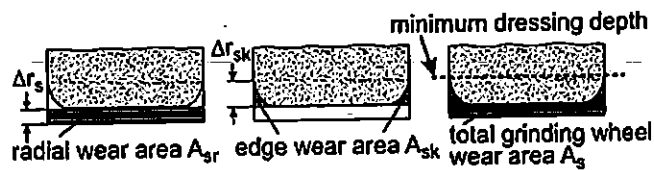


Fig. 3. Micro grinding wheel wear [2].

The dressing conditions for external grinding were also presented in many researches. Milton C. Shaw et al. [11] proposed the dressing conditions for external grinding as follows: the single-point diamond dressing tool with $\alpha = 100 \div 200$; rough dressing with depth of dressing $dd \geq 25 \mu m$ and feed rate $S \geq 500 \mu m/rev$; fine dressing with depth of dressing $dd \leq 12.5 \mu m$ and feed rate $S \leq 125 \mu m/rev$. In another study, L.M. Kozuro et al. [12] also proposed the dressing conditions for surface

grinding to obtain surface roughness $R_a = 0.32\text{--}1.25\ \mu\text{m}$ including the multi-point diamond dressing tool, feed rate $S = 1.5\ (\text{m}/\text{min})$; four times with depth of dressing $dd = 0.03\ \text{mm}/\text{single stroke}$ and four times of the non-feeding dressing; with the single-point diamond dressing tool, feed rate $S = 1.0\ (\text{m}/\text{min})$; six times with depth of dressing $dd = 0.02\ \text{mm}/\text{single stroke}$ and four times of the non-feeding dressing. Besides, the dressing conditions also were presented in other researches [13, 14].

Based on the literature review, it can be said that until now, there has not been research on the optimum dressing conditions for surface grinding SKD11 steel quenching using HaiDuong grinding wheel. Therefore, this study focuses on the optimum dressing conditions for surface grinding SKD11 steel using HaiDuong grinding wheel through 3 steps: rough dressing, fine dressing and non-feeding dressing. Besides, to examine the impact of process factors on the responses, the Taguchi method is very common. It has been used successfully in several studies [15–24]. Therefore, the method has been selected for designing and analyzing the experiment in this work.

2 Experimental Setup and Research Methodology

2.1 Experimental System

In this study, the work-piece material was SKD11 (C: $1.4 \div 1.6\%$, Si $\leq 0.4\%$, Mn 0.6% , Cr: $11.0 \div 13.0\%$, P, S $\leq 0.03\%$, Mo: $0.8 \div 1.2\%$, W: $0.2 \div 0.5\%$, Cu $\leq 0.25\%$, V $\leq 0.25\%$) with the dimensions of $70 \times 40 \times 25\ \text{mm}$ and the hardness of 58–62 HRC. The experimental equipment specifications are shown in Table 1 and the grinding conditions are shown in Table 2.

Table 1. Experimental equipment.

Equipment type	Equipment name	Country
Grinding machine	MOTO –YOKOHAMA	Japan
Grinding wheel	Cn46TB2GV1	Vietnam
Dressing tool (single-point type)	3908-0088C type 2	Russian
Measuring equipment for flatness tolerance	Mitutoyo CMM544	Japan
Lubricant	Cantext Aquatext 381	
Concentration of lubricant	3%	
Flow rate of lubricant	10 l/min	

Table 2. Grinding conditions.

Dressing conditions	Values
Depth of cut (mm)	0.01
Table velocity (m/min)	8
Radial feed (mm/stroke)	8
Cutting speed (m/s)	26.7

The flatness tolerance is determined by the difference between the highest and lowest values of 27 points which were measured on the surface of the workpiece after grinding. The material removal rate (MRR) is determined by the material removal volume in a unit of grinding life.

2.2 Experimental Design

The factors and their levels considered in this study are shown in Table 3. Minitab 19 software was used to design experiment based on Taguchi method. A designed experiment plan with 6 factors including 4 factors at 4 levels and 2 factors at 2 levels ($4^4 \times 2^2$) was established, as shown in Table 3. Each experiment was repeated three times with the following dressing process: rough dressing depth t_{rd} with rough dressing times n_{rd} ; fine dressing depth t_{fd} with fine dressing times n_{fd} ; and non-feeding dressing n_{non} . The results of MRR and FI also are shown in Table 4.

Table 3. Factors and levels.

Parameters	Unit	Levels			
		1	2	3	4
Dressing feed rate (S)	m/min	1.6	1.8	–	–
Rough dressing depth (t_{rd})	mm	0.015	0.02	0.025	0.03
Rough dressing times (n_{rd})	times	1	2	3	4
Fine dressing depth (t_{fd})	mm	0.005	0.01	–	–
Fine dressing times (n_{fd})	times	0	1	2	3
Non-feeding dressing (n_{non})	times	0	1	2	3

Table 4. L16 orthogonal array with factors and responses.

TT	t_{rd}	n_{rd}	n_{non}	n_{fd}	t_{fd}	S	FI (μm)			MRR (mm^3/s)		
							Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	11.8	12.7	13.5	2.44	2.42	2.38
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	24.6	25	24.8	2.05	2.00	1.94
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	14.5	14.8	14.2	1.92	1.89	1.88
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	20.8	21.2	21.8	1.83	1.82	1.85
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	13.3	13.9	14.2	1.84	1.79	1.80
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	10.9	10.3	11.2	2.40	2.36	2.37
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	12.9	13.9	13.5	2.06	2.05	2.04
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	11.3	11.5	12	1.93	1.90	1.64
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	10.5	10.9	11	1.87	1.91	1.92
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	8.8	9	9.5	2.30	2.25	2.27
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	9.5	10.1	10.5	1.75	1.93	1.92
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	17.3	17.6	17.8	1.92	1.88	1.89
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	11.8	11.5	12.1	1.98	1.92	1.95
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	13.5	13.9	13.3	1.89	1.86	1.87
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	19.6	19	19.5	1.91	1.87	1.86
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	11.8	12	12.5	1.83	1.81	1.79

3 Optimization Steps Using Grey Relational Analysis for S/N Ratio

Step 1. Determine the S/N ratios

In this study, the desired flatness tolerance is "smaller is better", thus the ratio can be determined as follows [25]:

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

The desired material removal rate is "larger is better", the S/N ratio can be determined as follows:

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

Where n is the repeated times at each experiment and y_i is the measured value at measuring times $i = 1, 2, \dots, n$ ($n = 3$).

Table 5. Values of SN ratio, normalized values of S/N ratio and the absolute values.

TT	S/N		Z _{ij}		Δ _j (k)	
	FI	MRR	FI	MRR	FI	MRR
			Reference value			
			1.000	1.000		
1	-22.07	7.66	0.67	1.00	0.33	0.00
2	-27.89	6.00	0.00	0.34	1.00	0.66
3	-23.23	5.56	0.54	0.16	0.46	0.84
4	-26.56	5.27	0.15	0.05	0.85	0.95
5	-22.8	5.16	0.59	0.00	0.41	1.00
6	-20.67	7.51	0.83	0.94	0.17	0.06
7	-22.57	6.23	0.61	0.43	0.39	0.57
8	-21.29	5.15	0.76	0.00	0.24	1.00
9	-20.67	5.57	0.83	0.16	0.17	0.84
10	-19.19	7.14	1.00	0.79	0.00	0.21
11	-20.04	5.39	0.90	0.09	0.10	0.91
12	-24.89	5.56	0.34	0.16	0.66	0.84
13	-21.44	5.79	0.74	0.26	0.26	0.74
14	-22.65	5.46	0.60	0.12	0.40	0.88
15	-25.74	5.47	0.25	0.13	0.75	0.87
16	-21.66	5.15	0.72	0.00	0.28	1.00

Step 2. The most reliable results are at the larger S/N ratio and they are insignificantly affected by noise. This ratio is normalized by Z_{ij} ($0 \leq Z_{ij} \leq 1$). It can be calculated as follows:

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

Where j is the number of the experimental data items ($j = 16$).

The S/N ratio and the normalized value Z corresponding each output objective are shown in Table 5.

Table 6. Grey relational coefficient and grade.

TT	Grey relational coefficient γ_i		$\bar{\gamma}$
	FI	MRR	
1	0.602	1.000	0.801
2	0.333	0.430	0.382
3	0.518	0.374	0.446
4	0.371	0.344	0.357
5	0.546	0.334	0.440
6	0.746	0.898	0.822
7	0.563	0.468	0.515
8	0.674	0.333	0.504
9	0.746	0.375	0.560
10	1.000	0.707	0.853
11	0.837	0.356	0.596
12	0.433	0.374	0.403
13	0.659	0.402	0.531
14	0.557	0.363	0.460
15	0.399	0.364	0.382
16	0.638	0.333	0.486

Step 3. Calculate the interaction coefficient in fuzzy relational co-efficient for the normalized S/N ratio

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

Where:

+) $j = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, m$, n is the number of experimental data items, m is the number of responses.

+) $\Delta_{0j} = Z_0(k) - Z_j(k)$ is the absolute value of the difference between $Z_0(k)$ (reference sequence) and $Z_j(k)$ (the specific comparison sequence).

+) $\Delta_{min} = \min_{\forall j \in I} \min_{\forall k} Z_0(k) - Z_j(k)$ is the smallest value of Δ_{0j}

+) $\Delta_{max} = \max_{\forall j \in I} \max_{\forall k} Z_0(k) - Z_j(k)$ is the largest value of Δ_{0j}

+) ζ is the distinguish coefficient, which can be determined in range $0 \leq \zeta \leq 1$. This value can be adjusted based on the requirement of system. In this study, $\zeta = 0.5$.

Step 4. Determine the grey relational grade

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

This is the average value of interaction in the grey relational grade determined at step 3. k is number of performance characteristics. Table 6 shows the grey relational grade corresponding with objective and average value of grey relational grade.

Table 7. Influence degree of parameters on fuzzy relational coefficient.

Response Table for Means						
Level	t _{rd}	n _{rd}	n _{non}	n _{fd}	t _{fd}	S
1	0.4965	0.5830	0.6763	0.5450	0.5603	0.5927
2	0.5702	0.6292	0.4016	0.5030	0.5070	0.4746
3	0.6035	0.4849	0.4925	0.5563		
4	0.4644	0.4375	0.5642	0.5304		
Delta	0.1391	0.1917	0.2746	0.0533	0.0533	0.1181
Rank	3	2	1	6	5	4

$\bar{\gamma} = 0.534$

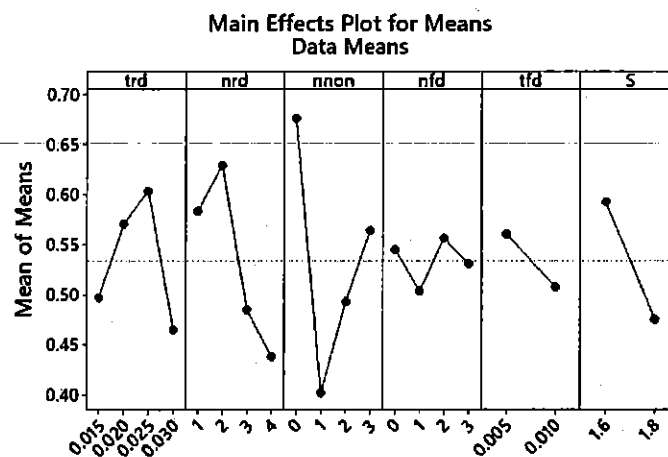


Fig. 4. Main effects plot for means data means.

Step 5. Determine the optimal factor and its level combination

The higher grey relational grade implies the better product quality. Table 6 shows the grey relational grade for each experiment and interaction of the grey relational grade. In Table 6, the 10th experiment including two times of the rough dressing with dressing depth of 0.005 mm, three times of the non-feeding dressing with feed rate of 1.6 m/min has the highest interaction grey relational grade of 0.853. This shows that the 10th experiment has a S/N ratio similar to the normalized S/N ratio and it has various good characteristics among sixteen experiments. However, this level is not the optimum one of all factors. Therefore, the average grey relational grade of each factor at different levels needs to be determined and they are shown in Table 7 and Fig. 3.

A factor is optimum if its grey relational grade at any level is the highest. Therefore, based on Table 7 and Fig. 3, the optimum parameters of the dressing process for surface grinding are suitable with both MRR with "larger is better" and FI with "smaller is better", as follows: $t_{rd3}/n_{rd3}/n_{non1}/n_{fd3}/t_{fd1}/S_1$ corresponding with two times of the rough dressing and depth of cut $t_{rd} = 0.025$ mm; two times of the fine dressing and depth of cut $t_{rd} = 0.005$ mm with feed rate $S = 1.6$ m/min; the non-feeding dressing is not used.

Step 6. Perform ANOVA for identifying the significant factors

The main purpose of the analysis of variance (ANOVA) is the application of a statistical method to identify the effect of individual factors. The regression analysis results of variance are shown in Table 8 and Fig. 4.

Table 8. Results of ANOVA on grey relational grade.

Analysis of Variance for Means							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
t_{rd}	3	0.049591	0.049591	0.016530	4.28	0.338	13.01
n_{rd}	3	0.092794	0.092794	0.030931	8.01	0.253	24.34
n_{non}	3	0.161580	0.161580	0.053860	13.96	0.194	42.38
n_{fd}	3	0.006359	0.006359	0.002120	0.55	0.730	1.67
t_{fd}	1	0.011369	0.011369	0.011369	2.95	0.336	2.98
S	1	0.055755	0.055755	0.055755	14.45	0.164	14.62
Residual Error	1	0.003860	0.003860	0.003860			1.01
Total	15	0.381308					100.00
Model Summary							
S	R-Sq				R-Sq(adj)		
0.0621	98.99%				84.82%		

Table 8 shows that the output parameters are significantly affected by the non-feeding dressing times n_{non} (42.38%), followed by the rough dressing times (24.34%), the feed rate S (14.62%), the depth of the rough dressing trd (13.01%), the depth of the fine dressing tfd (2.98%) and the fine dressing times nfd (1.67%).

Step 7. Calculate the predicted optimum values

The fuzzy relationship value is determined as follows:

$$\bar{\eta}_{op} = \eta_m + \sum_{i=1}^5 (\bar{\eta} - \eta_m) = t_{rd3} + n_{rd2} + n_{non1} + n_{fd3} + t_{fd1} + S_1 - 5 * T \quad (6)$$

Where T is the average grey relational grade $T = 0.534$; $trd3$, $nrd2$, $nnon1$, $nfd3$, $tfd1$, $S1$ are the grey relational grade of factors corresponding with the optimum levels in Table 6. Where by, $\bar{\eta}_{op} = 0.950$.

Confidence interval CI can be calculated as follows:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0.315 \quad (7)$$

Where $F_{\alpha}(1, f_e) = 39.864$ is the coefficient with significance level $\alpha\% = 90\%$, $f_e = 1$ is the degree of freedom of error, $V_e = 0.00386$ is the average deviation of error, N_e is the number of effective iterations, $R = 3$ is the number of iterations of an experiment.

$$N_e = \frac{\text{Total experiments}}{1 + \text{number of degree of freedom of input parameters}} \\ = \frac{48}{1 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1 + 1} = 3.2$$

Therefore, when $\alpha = 90\%$, the grey relational grade can be predicted with the suitable levels of input parameters $t_{rd3}/n_{rd2}/n_{non1}/n_{fd3}/t_{fd1}/S_1$ as follows:

$$0.6 \leq \bar{\eta}_{op} \leq 1.0$$

Based on the optimum levels of input parameters, the optimum values of output parameters (MRR and FI) are determined as follows:

$$(FI, MRR)_{op} = \bar{t}_{rd3} + \bar{n}_{rd2} + \bar{n}_{non1} + \bar{n}_{fd3} + \bar{t}_{fd1} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T} \quad (8)$$

Where:

+ $(FI, MRR)_{op}$ is the flatness tolerance or the optimum material removal rate.

+ \bar{t}_{rd3} is the average flatness tolerance or the material removal rate when depth of rough dressing is at level 3.

+ \bar{n}_{rd2} is the average flatness tolerance or the material removal rate when the rough dressing times is at level 2.

+ \bar{n}_{non1} is the average flatness tolerance or the material removal rate when the non-feeding dressing is at level 1.

+ \bar{n}_{fd3} is the average flatness tolerance or the material removal rate when the fine dressing-times is at level 3.

+ \bar{t}_{fd1} is the average flatness tolerance or the material removal rate when depth of fine dressing is at level 1.

+ \bar{S}_1 is the average flatness tolerance or the material removal rate when feed rate is at level 1.

+ \bar{T} is the average flatness tolerance or the material removal rate of all experiments.

Thus:

$$(FI)_{op} = 6.87 \mu\text{m}$$

$$(MRR)_{op} = 2.37 \text{ mm}^3/\text{s}$$

To investigate the accuracy of calculation process, the optimum dressing parameters are as follows: two times of the rough dressing with $trd = 0.025 \text{ mm}$; two times of the fine dressing with $tfd = 0.005 \text{ mm}$ and feed rate $S = 1.6 \text{ m/min}$; the non-feeding dressing was not used. The experimental and predicted values are shown in Table 9.

Table 9. Compared values between experimental and predicted ones.

Characteristics	Optimum parameters		
	Predicted values	Experimental values	% deviation
	$t_{rd3}, n_{rd2}, n_{non1}, n_{fd3}, t_{fd1}, S_1$	$t_{rd3}, n_{rd2}, n_{non1}, n_{fd3}, t_{fd1}, S_1$	
FI (μm)	6.87	6.15	10.48
MRR (mm^3/s)	2.37	2.12	10.54
Fuzzy relational grade	0.950		

The experimental results show that the maximum deviation compared with the predicted values is 10.54% corresponding with the flatness tolerance, therefore, this calculation method can be used to accurately predict two characteristics, MRR and FI, at the same time.

4 Conclusions

In this study, the material removal rate and flatness tolerance have been predicted by analyzing the grey relational grade using Taguchi method. This study showed that the output parameters is significantly affected by the non-feeding times n_{non} (42.38%),

followed by the rough dressing times n_{rd} (24.34%), feed rate S (14.62%), depth of rough dressing t_{rd} (13.01%), depth of the fine dressing t_{fd} (2.98%), and the fine dressing times n_{fd} (1.67%). The optimum parameters of the dressing process for surface grinding suitable for both MRR with “larger is better” and FI with “smaller is better” are $t_{rd3}/n_{rd3}/n_{non1}/n_{fd3}/t_{fd1}/S_1$ corresponding with two times of the rough dressing with $t_{rd} = 0.025$ mm, two times of the fine dressing with $t_{fd} = 0.005$ mm, feed rate $S = 1.6$ m/min, and the non-feeding dressing was not used.

Acknowledgements. This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

1. Klocke, F.: *Manufacturing Processes 2 – Grinding, Honing, Lapping*. Springer, Heidelberg (2009)
2. Wegener, K., Hoffmeister, H.W., Karpuschewski, B., Kuster, F., Hahmann, W.C., Rabiey, M.: Conditioning and monitoring of grinding wheels. *CIRP Ann. – Manufact. Technol.* **60**, 757–777 (2011)
3. Kim, S.H., Ahn, J.H.: Decision of dressing interval and depth by the direct measurement of the grinding wheel surface. *J. Mater. Process. Technol.* **88**, 190–194 (1999)
4. Deng, H., Chen, G.Y., Zhou, C., Li, S.C., Zhang, M.J.: Processing parameter optimization for the laser dressing of bronze-bonded diamond wheels. *Appl. Surf. Sci.* **290**, 475–481 (2014)
5. Xie, J., Wei, F., Zheng, J.H., Tamaki, J., Kubo, A.: 3D laser investigation on micron-scale grain protrusion topography of truncated diamond grinding wheel for precision grinding performance. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* **51**, 411–419 (2011)
6. Klink, A.: Wire electro discharge trueing and dressing of fine grinding wheels. *CIRP Ann. – Manuf. Technol.* **59**, 235–238 (2010)
7. Chen, X., Allanson, D.R., Rowe, W.B.: Life cycle model of the grinding process. *Comput. Ind.* **36**(1–2), 5–11 (1998)
8. Baseri, H.: Simulated annealing based optimization of dressing conditions for increasing the grinding performance. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **59**, 531–538 (2012)
9. Kwak, J.-S., Ha, M.-K.: Evaluation of wheel life by grinding ratio and static force. *KSME Int. J.* **16**(9), 1072–1077 (2002)
10. Rabiey, M., Walter, C., Kuster, F., Stirnimann, J., Pude, F., Wegener, K.: Dressing of hybrid bond cbn wheels using short-pulse fiber laser. *J. Mech. Eng.* **58**(7–8), 462–469 (2012)
11. Shaw, M.C.: *Principles of Abrasive Processing*. Oxford University Press, UK (1996)
12. Kozuro, L.M., Panov, A.A., Remizovski, E.I., Tristosepdov, P.S.: *Handbook of Grinding*. Publish Housing of High-education, Minsk (1981). (in Russian)
13. Malkin, S.: *Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives*. Ellis Horwood Limited, England (1989)
14. Sain-Gobain, W.: *Catalogue No.5 Dressing Tools: WINTER diamond tools for dressing grinding wheels* (2015)
15. Hoang, X.T., Pi, V.N., Jun, G.: A Study on determination of optimum parameters for lubrication in external cylindrical grinding base on taguchi method. *Key Eng. Mater.* **796**, 97–102 (2019). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.796.97>
16. Hung, L.X., Hong, T.T., Ky, L.H., Tung, L.A., Nga, N.T.T., Pi, V.N.: Optimum dressing parameters for maximum material removal rate when internal cylindrical grinding using taguchi method. *Int. J. Mech. Eng. Technol. (IJMET)* **9**(12), 123–129 (2018)

17. Tran, T.H., Hoang, T.D., Le, H.K., Do, T.T., Bui, T.H., Nguyen, M.C., Luu, A.T., Vu, V.P.: Analysis of effects of machining parameters on surface roughness in electrical discharge machining tablet shape punches using taguchi method. *Mater. Sci. Forum* **977**, 12–17 (2020)
18. Hung, L.X., Pi, V.N., Hong, T.T., Ky, L.H., Lien, V.T., Tung, L.A., Long, B.T.: Multi-objective optimization of dressing parameters of internal cylindrical grinding for 9CrSi alloy steel using taguchi method and grey relational analysis. *Mater. Today Proc.* **18**, 2257–2264 (2019)
19. Hong, T.T., Cuong, N.V., Ky, L.H., Nguyen, Q.T., Long, B.T., Tung, L.A., Nguyen, T.T., Pi, V.N.: Multi-criteria optimization of dressing parameters for surface grinding 90CrSi tool steel using taguchi method and grey relational analysis. *Mater. Sci. Forum*, **998**, 61–68 (2020). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.998.61>
20. Tung, LA et al.: Optimization of dressing parameters of grinding wheel for 9CrSi tool steel using the taguchi method with grey relational analysis. In: 10th International Conference on Mechatronics and Manufacturing (ICMM 2019), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 635, Bangkok, Thailand 21–23 January 2019
21. Ky, L.H., Hong, T.T., Dung, H.T., Tuan, N.A., van Tung, N., Tung, L.A., Pi, V.N.: Optimization of dressing parameters for grinding table shape punches by CBN wheel on CNC milling machine. *Int. J. Mech. Eng. Technol.* **10**, 960–967 (2019)
22. Vu, N.-P., Nguyen, Q.-T., Tran, T.-H., Le, H.-K., Nguyen, A.-T., Luu, A.-T., Nguyen, V.-T., Le, X.-H.: Optimization of grinding parameters for minimum grinding time when grinding tablet punches by CBN wheel on CNC milling machine. *Appl. Sci.* **9**, 957 (2019)
23. Son, N.H., Hong, T.T., Van Cuong, N., Vu, N.P.: Calculating effects of dressing parameters on surface roughness in surface grinding. In: International Conference on Engineering Research and Applications, pp. 164–169 (December 2019)
24. Hong, T.T., Cuong, N.V., Ky, L.H., Tung, L.A., Nguyen, T.T., Vu, N.P.: Effect of process parameters on surface roughness in surface grinding of 90CrSi tool steel. *Solid State Phenom.* **305**, 191–197 (2020). Trans Tech Publications Ltd
25. Jeyapaul, R., Shahabudeen, P., Krishnaiah, K.: Quality management research by considering multi-response problems in the Taguchi method - a review. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **26**, 1331–1337 (2005)



Multi-objective Optimization of Surface Roughness and MRR in Surface Grinding of Hardened SKD11 Using Grey-Based Taguchi Method

Tran Thi Hong¹, Do The Vinh², Tran Vinh Hung³, Tran Ngoc Giang²,
Nguyen Thanh Tu², Le Xuan Hung², Bui Thanh Danh⁴,
and Luu Anh Tung²(✉)

¹ Center of Excellence for Automation and Precision Mechanical Engineering,
Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City 700000, Vietnam

² Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen 23000, Vietnam
luuanhtung@tnut.edu.vn

³ Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics,
PHENIKAA University, Hanoi-100000, Vietnam

⁴ University of Transport and Communications, Hanoi, Vietnam

Abstract. The dressing plays an important role in wheel preparation in the grinding process. In this study, Grey Relational Analysis (GRA) based Taguchi method is applied to optimize the dressing parameters for minimizing the surface roughness and maximizing the material removal rate (MRR) in surface grinding of hardened SKD 11 steel. The Taguchi technique L16 is used to organize experiments that include six input parameters of the dressing process. There are two two-level parameters and four 4-level parameters including dressing feed rate, rough dressing depth, rough dressing times, fine dressing depth, fine dressing times, and non-feeding dressing. As shown in the result, the optimal dressing process for the minimum surface roughness and maximum MRR consists of 2 times of the rough dressing with a depth of 0.015 mm/stroke, a feed rate of 1.6 mm/min, 3 times non-feeding dressing, and no fine dressing was performed. Also, the dressing feed rate has the strongest impact on multiple performance characteristics (with 43.24% contribution), followed by the rough dressing depth (with 26.20% contribution). A verification experiment has demonstrated the appropriateness of the predictive model to the measurement data.

Keywords: SKD11 · Surface grinding · Taguchi · GRA

1 Introduction

Grinding is a metalworking process that is commonly used in roughing as well as finishing. During the grinding process, the dressing functions to sharpen the abrasive particles and remove metal debris adhering to the surface of the grinding wheel [1, 2]. During the working process, the grinding wheel is constantly worn. Hence, the dressing process is required to maintain the initial specifications of the grinding wheel.

The performance of the grinding wheel, that is reflected in profile, topography, and wear behavior, is highly dependent on the dressing process [3–5]. In small scale production, dressing is often done empirically. Therefore, the efficiency of the process is not high. Optimizing the dressing process or finding out the effect of dressing parameters on quality and productivity as well as wheel life, wear of wheel have attracted many researchers [6–9]. However, there are many parameters of dressing process such as the coarse dressing, the fine dressing and non-feeding dressing, which have not been adequately studied.

In metal cutting, surface roughness is an important indicator that reflects the quality of processed products. However, that reducing roughness and increasing machining productivity are carried out at the same time is a difficult request. The process of simultaneously optimizing two or more goals is called multi-objective optimization. Grey-based Taguchi method has been used to solve multi-objective optimization in many researches including grinding [4, 10–16], turning [17, 18], milling [19, 20], etc.

In the grinding process, surface grinding is the most common process. Therefore, the improvement of the efficiency of the surface grinding process such as improving the roughness, increasing grinding performance, increasing the wheel life is the topic that attracts many researchers and manufacturers [21–28].

In this work, Grey-based Taguchi method was used for multi-objective optimization to minimizing the surface roughness and maximizing MRR in surface grinding of hardened SKD 11 steel. The effect of dressing parameters on multiple performance characteristics was also analyzed by using ANOVA. Besides, a verification experiment was performed to evaluate the results of the predictive model.

2 Experimental Procedures

In this study, all experiments were carried out by using a surface grinding machine MOTO – YOKOHAMA (Japan). The workpiece was SKD 11 steel with chemical composition shown in Table 1. The workpieces have a dimension of 70 × 40 × 25 mm and hardness of 58÷62 HRC. Cantext Aquatex 3810 was used as cooling fluid with a concentration of 3% and a flow of 10 l/min. Besides, the grinding wheel was Cn46TB2GV1.300.32.127.30 m/s of Hai Duong company (Vietnam) and the dressing tool was 3908-0088C type 2 (Russia).

Table 1. Chemical composition of SKD 11 steel.

C	Si	Mn	Cr	P	S	Mo	W	Cu	V
1.4÷ 1.6%	≤ 0.4%	≤ 0.6%	11÷13%	≤ 0.03%	≤ 0.03%	0.8÷1.2%	0.2÷0.5%	≤0.25%	≤0.25%

The grinding conditions fixed for all experiments were cutting velocity of 26.7 m/s, depth of cut of 0.01 mm, longitudinal feed rate of 8 mm/stroke, and table speed of 8 m/min. The dressing parameters including rough dressing depth (trd), rough dressing times (nrd), non-feeding dressing (nnon), fine dressing times (nfd), fine dressing depth

(t_{fd}), and dressing feed rate (S) were selected for multi-objective optimization to minimize the surface roughness and maximize MRR as shown in Table 2. The design of experiment is conducted by applying the L16 orthogonal array of Taguchi technique.

Table 2. Factors and levels

Parameters	Unit	Levels			
		1	2	3	4
Dressing feed rate S	m/min	1.6	1.8	—	—
Rough dressing depth t_{rd}	mm	0.015	0.02	0.025	0.03
Rough dressing times n_{rd}	Times	1	2	3	4
Fine dressing depth t_{fd}	mm	0.005	0.01	—	—
Fine dressing times n_{fd}	Times	0	1	2	3
Non-feeding dressing n_{non}	Times	0	1	2	3

3 Results and Discussion

Table 3 indicates the experimental results. The surface roughness was measured by using an instrument of Mitutoyo company, model 178-923-2A, SJ-201. MRR was determined by measuring the weight before and after each experiment using a high-precision scale (precision of 0.001 g).

Table 3. L16 Orthogonal array with factors and responses

No.	t_{rd}	n_{rd}	n_{non}	n_{fd}	t_{fd}	S	Surface roughness Ra (μm)			Material Remove Rate MRR (mm^3/s)		
							T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	0.015	1	0	0	0.005	1.6	0.661	0.685	0.647	2.44	2.42	2.38
2	0.015	2	1	1	0.005	1.8	0.471	0.485	0.516	2.05	2.00	1.94
3	0.015	3	2	2	0.01	1.6	0.433	0.45	0.413	1.92	1.89	1.88
4	0.015	4	3	3	0.01	1.8	0.452	0.517	0.516	1.83	1.82	1.85
5	0.02	1	1	2	0.01	1.8	1.225	1.042	1.252	1.84	1.79	1.80
6	0.02	2	0	3	0.01	1.6	1.267	1.322	1.35	2.40	2.36	2.37
7	0.02	3	3	0	0.005	1.8	0.984	1.104	1.06	2.06	2.05	2.04
8	0.02	4	2	1	0.005	1.6	0.524	0.453	0.528	1.93	1.90	1.64
9	0.025	1	2	3	0.005	1.8	1.286	1.362	1.332	1.87	1.91	1.92
10	0.025	2	3	2	0.005	1.6	0.73	0.74	0.767	2.30	2.25	2.27
11	0.025	3	0	1	0.01	1.8	0.757	0.731	0.756	1.75	1.93	1.92
12	0.025	4	1	0	0.01	1.6	0.51	0.465	0.464	1.92	1.88	1.89
13	0.03	1	3	1	0.01	1.6	0.363	0.358	0.462	1.98	1.92	1.95
14	0.03	2	2	0	0.01	1.8	0.591	0.613	0.609	1.89	1.86	1.87
15	0.03	3	1	3	0.005	1.6	0.841	0.848	0.833	1.91	1.87	1.86
16	0.03	4	0	2	0.005	1.8	0.998	1.027	1.105	1.83	1.81	1.79

Table 4. SN ratio values, normalized SN ratio values and the absolute value.

TT	S/N		Z _{ij}		Δ _j (k)	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
			Z ₀ (k)			
			1.000	1.000		
1	3.55	7.66	0.57	1.00	0.43	0.00
2	6.18	6.00	0.82	0.34	0.18	0.66
3	7.29	5.56	0.93	0.16	0.07	0.84
4	6.09	5.27	0.82	0.05	0.18	0.95
5	-1.41	5.16	0.10	0.00	0.90	1.00
6	-2.37	7.51	0.01	0.94	0.99	0.06
7	-0.43	6.23	0.19	0.43	0.81	0.57
8	5.97	5.15	0.80	0.00	0.20	1.00
9	-2.46	5.57	0.00	0.16	1.00	0.84
10	2.55	7.14	0.48	0.79	0.52	0.21
11	2.52	5.39	0.48	0.09	0.52	0.91
12	6.37	5.56	0.84	0.16	0.16	0.84
13	8.02	5.79	1.00	0.26	0.00	0.74
14	4.37	5.46	0.65	0.12	0.35	0.88
15	1.51	5.47	0.38	0.13	0.62	0.87
16	-0.38	5.15	0.20	0.00	0.80	1.00

After the data collection process, Grey-based Taguchi technique was used for multi-objective optimization. This technique has been used very successfully in many studies [29–32]. The basic steps of the optimization process according to Grey-based Taguchi method are given as follows:

In the first step of Grey-based Taguchi method, S/N is calculated for corresponding responses. The goal of this study is to reduce the roughness and increase MRR. Therefore, the smaller is the better type of S/N ratio is selected for surface roughness and the larger is the better type is selected for MRR as calculated in following:

The smaller is the better S/N:

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

The larger is the better S/N:

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

Where: y_i is the data received by experiment, n is the number of experiments.

Table 5. Grey relational coefficient and grey relational grade values

No.	Grey relational co-efficient		$\bar{\gamma}$
	γ_i		
	Ra	MRR	
1	0.540	1.000	0.770
2	0.740	0.430	0.585
3	0.877	0.374	0.626
4	0.731	0.344	0.537
5	0.357	0.334	0.346
6	0.335	0.898	0.617
7	0.383	0.468	0.425
8	0.719	0.333	0.526
9	0.333	0.375	0.354
10	0.489	0.707	0.598
11	0.488	0.356	0.422
12	0.761	0.374	0.567
13	1.000	0.402	0.701
14	0.590	0.363	0.476
15	0.446	0.364	0.405
16	0.384	0.333	0.359

In the second step, a data preprocessing is conducted to normalize the raw data (S/N data). The linear normalization of the S/N ratio is carried out by the grey relational generating (a range between zero and unity). The normalized S/N ratio Z_{ij} for the i th performance characteristic in the j th experiment can be determined by (3). Table 4 shows the calculated values of S/N, normalized Z_{ij} and $\Delta_j(k)$:

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

The grey relation coefficient is calculated in a third step as expressed in Eq. (4)

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

Where $j = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, m$, n is the number of experiments, k is the number of objectives.

$\Delta_j(k)$ is the deviation sequence and calculated by $\Delta_j(k) = Z_0(k) - Z_j(k)$.

And: $\Delta_{min} = \min_{j \in I} \min_{k \in I} Z_0(k) - Z_j(k)$; $\Delta_{max} = \max_{j \in I} \max_{k \in I} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$.

ζ is the distinguishing coefficient $0 \leq \zeta \leq 1$. In this case, $\zeta = 0.5$.

After averaging the grey relation coefficients, the grey relational grade γ_i is calculated as Eq. (5):

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

Where γ_j is the grey relational grade for the j^{th} experiment; k is the number of objectives (in this study, $k = 2$)

The values of the grey relational coefficient and grey relational grade are shown in Table 5.

In the next step, Taguchi method is used to determine the effects of the input factors on the grey relational grade. Table 6 shows the main effect of the input factors on the grey relational grade. Figure 1 indicates main effects plot for the grey relational grade.

As shown in Table 6 and Fig. 1, the optimal dressing process for the minimum surface roughness and maximum MRR consists of 2 times of the rough dressing with a depth of 0.015 mm/stroke, a feed rate of 1.6 mm/min, 3 times non-feeding dressing, and no fine dressing performed.

Table 6. Main effects on the grey relational grade

Level	t_{rd}	n_{rd}	n_{non}	n_{fd}	t_{fd}	S
1	0.6294	0.5426	0.5418	0.5596	0.5027	0.6011
2	0.4784	0.5689	0.4757	0.5584	0.5364	0.4380
3	0.4852	0.4694	0.4954	0.4819		
4	0.4852	0.4973	0.5653	0.4783		
Delta	0.1511	0.0995	0.0896	0.0813	0.0337	0.1631
Rank	2	3	4	5	6	1
$\bar{\gamma} = 0,520$						

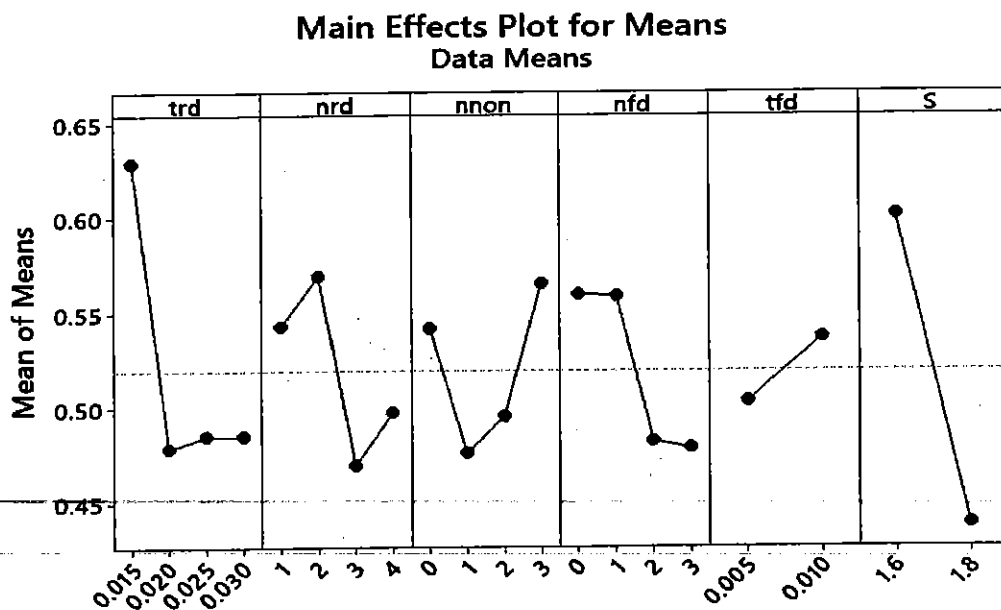


Fig. 1. Main effects plot for the grey relational grade

The result of variance analysis for the grey relational grade is shown in Table 7. Based on the ANOVA, the dressing feed rate has the strongest impact on multiple performance characteristics with 43.24% percent contribution, followed by the rough dressing depth with 26.20% percent contribution. Fine dressing times contributes 10.13%, rough dressing times contributes 9.71%, and non-feeding dressing contributes 8.27%. The effect of fine dressing depth is negligible with 1.84%.

Table 7. Analysis of variance for the grey relational grade

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
t_{rd}	3	0.064517	0.064517	0.021506	14.56	0.190	26.20
n_{rd}	3	0.023906	0.023906	0.007969	5.40	0.304	9.71
n_{non}	3	0.020368	0.020368	0.006789	4.60	0.327	8.27
n_{fd}	3	0.024940	0.024940	0.008313	5.63	0.298	10.13
t_{fd}	1	0.004540	0.004540	0.004540	3.07	0.330	1.84
S	1	0.106470	0.106470	0.106470	72.10	0.075	43.24
Re. Error	1	0.001477	0.001477	0.001477			0.60
Total	15	0.246217					100.00

The grey relation grade is determined by the following equation:

$$\bar{\gamma}_{op} = \eta_m + \sum_{i=1}^5 (\bar{\eta} - \eta_m) = t_{rd1} + n_{rd2} + n_{non4} + n_{fd1} + t_{fd2} + S_1 - 5 * T \quad (6)$$

According to Table 6,

$$t_{rd1} = 0.6294$$

$$n_{rd2} = 0.5689$$

$$n_{non4} = 0.5653$$

$$n_{fd1} = 0.5596$$

$$t_{fd2} = 0.5364$$

$$S_1 = 0.6011$$

$$T = 0.520$$

By (6): $\bar{\gamma}_{op} = 0.863$

Based on the result of the optimization process, the minimal value of output factor is determined by Eq. (7):

$$(Ra, MRR)_{op} = \bar{t}_{rd1} + \bar{n}_{rd2} + \bar{n}_{non4} + \bar{n}_{fd1} + \bar{t}_{fd2} + \bar{S}_1 - 5 * \bar{T} \quad (7)$$

Where \bar{t}_{rd1} is the average of output response for trd at level 1, \bar{n}_{rd2} is the average of output response for nrd at level 2, \bar{n}_{non4} is the average of output response for non at level 4, \bar{n}_{fd1} is the average of output response for nfd at level 1, \bar{t}_{fd2} is the average of output response for tfd at level 2, \bar{S}_1 is the average of output response for S at level 1, and \bar{T} is the average of output response in all experiments.

Table 8. The results from model and experiment

Properties	Optimal parameters		
	predicted result	measured result	Error (%)
	$t_{rd1}, n_{rd2}, n_{non4}, n_{fd1}, t_{fd2}, S1$	$t_{rd1}, n_{rd2}, n_{non4}, n_{fd1}, t_{fd2}, S1$	
Ra (μm)	0.211	0.231	9.48
MRR (mm^3/s)	2.362	2.17	8.13
GRA value	0.863		

So:

$$(Ra)_{op} = 0.211 \mu\text{m}$$

$$(MRR)_{op} = 2.362 \text{ mm}^3/\text{s}$$

A verification experiment was conducted with the optimal dressing parameters consisting of 2 times of the rough dressing with a depth of 0.015 mm/stroke, a feed rate of 1.6 mm/min, 3 times non-feeding dressing, and no fine dressing performed. A comparison between the predicted result and measured results is shown in Table 8. The error between the predicted result and measured result is small. It means that the research result is reliable.

4 Conclusions

In this study, Grey-based Taguchi method was applied for multi-objective optimization to minimize the surface roughness and maximize MRR in surface grinding of hardened SKD 11 steel. Some main conclusions can be given as following:

- The optimal dressing process for the minimum surface roughness and maximum MRR consists of 2 times of the rough dressing with a depth of 0.015 mm/stroke, a feed rate of 1.6 mm/min, 3 times non-feeding dressing, and no fine dressing performed.
- The dressing feed rate has the strongest impact on multiple performance characteristics with 43.24% percent contribution, followed by the rough dressing depth with 26.20% percent contribution.

- A verification experiment has demonstrated the appropriateness of the predictive model to the measurement data.

Acknowledgements. This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

1. Palmer, J., et al.: An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing. *J. Manufact. Process.* **31**, 348–355 (2018)
2. Rowe, W.B.: *Principles of modern grinding technology*. William Andrew (2013)
3. Klocke, F., Thiermann, J., Mattfeld, P.: Influence of the dressing process on grinding wheel wear. *Prod. Eng.* **9**(5–6), 563–568 (2015)
4. Tung, L.A., et al.: Optimization of dressing parameters of grinding wheel for 9CrSi tool steel using the taguchi method with grey relational analysis. In: *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*, vol. 635, p. 012030. IOP Publishing (2019)
5. Mohite, D.D., Jadhav, S.: An investigation of effect of dressing parameters for minimum surface roughness using CNC cylindrical grinding machine. *IJREAS* **6**(6), 59–68 (2015)
6. Tu, H.X., et al.: Influence of dressing parameters on surface roughness of workpiece for grinding hardened 9XC tool steel. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 524, p. 012008. IOP Publishing (2019)
7. Novák, M., Naprstkova, N., Kasuga, H.: Influence of grinding wheel dressing on the roughness of final surface and cutting force during GGG60 grinding. In: *Key Engineering Materials*, vol. 686, pp. 218–223. Trans Tech Publ (2016)
8. Azizi, A., Rezaei, S.M., Rahimi, A.: Study on the rotary cup dressing of CBN grinding wheel and the grinding performance. *Int. J. Adv. Manufact. Technol.* **47**(9–12), 1053–1063 (2010)
9. Baseri, H., et al.: Analysis of the disc dressing effects on grinding performance—part 2: effects of the wheel topographical parameters on the specific energy and workpiece surface roughness. *Mach. Sci. Technol.* **12**(2), 197–213 (2008)
10. Köklü, U.: Optimisation of machining parameters in interrupted cylindrical grinding using the Grey-based Taguchi method. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* **26**(8), 696–702 (2013)
11. Sahoo, P., Barman, T.K., Routara, B.C.: Grey-based taguchi analysis for optimization of cylindrical grinding process parameters with multiple roughness characteristics. *J. Mach. Form. Technol.* **7**(3/4), 119 (2015)
12. Hung, L.X., Pi, V.N., Hong, T.T., Lien, V.T., Tung, L.A., Long, B.T.: Multi-objective optimization of dressing parameters of internal cylindrical grinding for 9CrSi Alloy steel using taguchi method and grey relational analysis. *Mater. Today: Proc.* **18**, 2257–2264 (2019)
13. Hong, T.T., Cuong, N.V., Ky, L.H., Nguyen, Q.T., Long, B.T., Tung, L.A., Nguyen, T.T., Pi, V.N.: Multi-criteria optimization of dressing parameters for surface grinding 90CrSi tool steel using taguchi method and grey relational analysis. *Mater. Sci. Forum* **998**, 61–68 (2020)
14. Tung, L.A., et al.: Optimization of dressing parameters of grinding wheel for 9CrSi tool steel using the Taguchi method with grey relational analysis. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 635, 10th International Conference on Mechatronics and Manufacturing (ICMM 2019), Bangkok, Thailand, 21–23 January 2019 (2019)

15. Hoang, X.T., Pi, V.N., Jun, G.: A study on determination of optimum parameters for lubrication in external cylindrical grinding base on Taguchi method. In: *Key Engineering Materials*, vol. 796, pp. 97–102. Trans Tech Publications Ltd (2019)
16. Hung, L.X., et al.: Optimum dressing parameters for maximum material removal rate when internal cylindrical grinding using Taguchi method. *Int. J. Mech. Eng. Technol. (IJMET)* **9**(12), 123–129 (2018)
17. Das, D.K., et al.: Investigations on hard turning using coated carbide insert: Grey based Taguchi and regression methodology. *Procedia Mater. Sci.* **6**, 1351–1358 (2014)
18. Ahilan, C., Kumanan, S., Sivakumaran, N.: Application of grey based Taguchi method in multi-response optimization of turning process. *Adv. Prod. Eng. Manag.* **5**(3), 171–180 (2010)
19. Kopac, J., Krajnik, P.: Robust design of flank milling parameters based on grey-Taguchi method. *J. Mater. Process. Technol.* **191**(1–3), 400–403 (2007)
20. Moshat, S., et al.: Parametric optimization of CNC end milling using entropy measurement technique combined with Grey-Taguchi method. *Int. J. Eng. Sci. Technol.* **2**(2), 1–12 (2010)
21. Shaji, S., Radhakrishnan, V.: Analysis of process parameters in surface grinding with graphite as lubricant based on the Taguchi method. *J. Mater. Process. Technol.* **141**(1), 51–59 (2003)
22. Tang, J., Du, J., Chen, Y.: Modeling and experimental study of grinding forces in surface grinding. *J. Mater. Process. Technol.* **209**(6), 2847–2854 (2009)
23. Gu, W., Yao, Z., Li, H.: Investigation of grinding modes in horizontal surface grinding of optical glass BK7. *J. Mater. Process. Technol.* **211**(10), 1629–1636 (2011)
24. Rabiei, F., et al.: Performance improvement of minimum quantity lubrication (MQL) technique in surface grinding by modeling and optimization. *J. Clean. Prod.* **86**, 447–460 (2015)
25. Manimaran, G., Venkatasamy, R.: Influence of cryogenic cooling on surface grinding of stainless steel 316. *Cryogenics* **59**, 76–83 (2014)
26. Tung, L.A., Pi, V.N., Hung, L.X., Banh, T.L.: A study on optimization of surface roughness in surface grinding 9CrSi tool steel by using Taguchi method. In: *International Conference on Engineering Research and Applications*, pp. 100–108, December 2018
27. Son, N.H., Hong, T.T., Van Cuong, N., Vu, N.P.: Calculating effects of dressing parameters on surface roughness in surface grinding. In: *International Conference on Engineering Research and Applications*, pp. 164–169, December 2019
28. Hong, T.T., Cuong, N.V., Ky, L.H., Tung, L.A., Nguyen, T.T., Vu, N.P.: Effect of process parameters on surface roughness in surface grinding of 90CrSi tool steel. In: *Solid State Phenomena*, vol. 305, pp. 191–197. Trans Tech Publications Ltd (2020)
29. Pi, V.N., Tam, D.T., Cuong, N.M., Tran, T.-H.: Multi-objective optimization of PMEDM process parameters for processing cylindrical shaped parts using Taguchi method and grey relational analysis. *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev. (IJMPERD)* **10**(2), 669–678 (2020)
30. Tran, T.-H., et al.: Electrical discharge machining with SiC powder-mixed dielectric: an effective application in the machining process of hardened 90CrSi steel. *Machines* **8**(3), 36 (2020)
31. Ky, L.H., Hong, T.T., Dung, H.T., Tuan, N.A., van Tung, N., Tung, L.A., Pi, V.N.: Optimization of dressing parameters for grinding table shape punches by CBN wheel on CNC milling machine. *Int. J. Mech. Eng. Technol.* **10**, 960–967 (2019)
32. Vu, N.-P., Nguyen, Q.-T., Tran, T.-H., Le, H.-K., Nguyen, A.-T., Luu, A.-T., Nguyen, V.-T., Le, X.-H.: Optimization of grinding parameters for minimum grinding time when grinding tablet punches by CBN wheel on CNC milling machine. *Appl. Sci.* **9**, 957 (2019)



THUYẾT MINH ĐỀ TÀI
KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG NĂM 2019


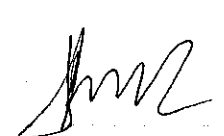
1. TÊN ĐỀ TÀI: Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.	2. MÃ SỐ: 2019-B31
3. LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU	4. LOẠI HÌNH NGHIÊN CỨU
Khoa học Tự nhiên <input type="checkbox"/> Khoa học KT và CN <input checked="" type="checkbox"/> Khoa học Y, dược <input type="checkbox"/> Khoa học Nông nghiệp <input type="checkbox"/> Khoa học Xã hội <input type="checkbox"/> Khoa học Nhân văn <input type="checkbox"/>	Cơ bản <input checked="" type="checkbox"/> Ứng dụng <input type="checkbox"/> Triển khai <input type="checkbox"/>

5. THỜI GIAN THỰC HIỆN 12 tháng
Từ tháng 7 năm 2019 đến tháng 7 năm 2020

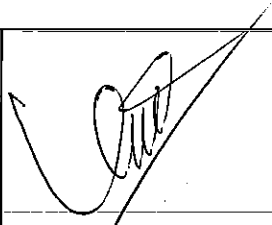
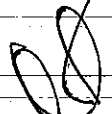

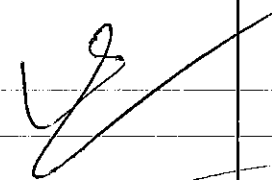
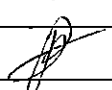

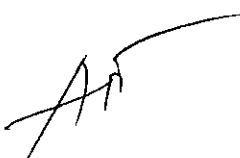
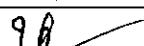



6. CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI

Họ và tên: Lưu Anh Tùng	Học vị: Ths
Chức danh khoa học: GV	Năm sinh: 1984
Địa chỉ cơ quan: Số 666 Đường 3-2, P.Tích Lương, TP Thái Nguyên - Tỉnh Thái Nguyên	Điện thoại di động: 0974 614 399
Điện thoại cơ quan: 02083847969	Fax: 02083847403
E-mail: luuanhtung@tnut.edu.vn	

7. NHỮNG THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI

TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn	Nội dung nghiên cứu cụ thể được giao	Chữ ký
1	Chu Mạnh Cường	Khoa Cơ khí	Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng; Tiến hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.	
2	Nguyễn Thái Bình	Khoa Cơ khí	Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng; Tiến hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.	
3	Đình Trọng Hải	Khoa Cơ khí	Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng; Tiến	



			hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.	
4	Hà Đức Thuận	Khoa Cơ khí	Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng; Phân tích, đánh giá kết quả.	
5	Nguyễn Thuận	Khoa Cơ khí	Xác định hàm mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi; Phân tích, đánh giá kết quả	
6	Phạm Ngọc Duy		Xác định hàm mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi; Phân tích, đánh giá kết quả	
7	Phan Văn Nghị		Viết báo ISI/Scopus: 04 bài	
8	Trần Thế Long		Xác định hàm mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi; Viết báo ISI/Scopus: 04 bài.	
9	Hoàng Anh Toàn		Tiến hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.	
10	Vũ Như Nguyệt		Viết báo ISI/Scopus: 04 bài	
11	Phạm Quang Đông		Xác định hàm mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi; Viết báo ISI/Scopus: 04 bài.	
12	Hoàng Văn Quyết		Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng; Phân tích, đánh giá kết quả.	
13	Trần Văn Quân		Tiến hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép	

PG
RU
AI
/TI
NGI
H

		SKD11 qua tối.	
8. ĐƠN VỊ PHỐI HỢP CHÍNH			
Tên đơn vị trong và ngoài nước	Nội dung phối hợp nghiên cứu	Họ và tên người đại diện đơn vị	

1/2
 JN
 IO
 UA
 GH
 1/2

9. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU THUỘC LĨNH VỰC CỦA ĐỀ TÀI Ở TRONG VÀ NGOÀI NƯỚC

9.1. Tổng quan tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài: (Mức độ đầy đủ, hợp lý trong việc đánh giá tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước; thành công và hạn chế của công trình liên quan; mức độ cập nhật thông tin mới nhất về lĩnh vực nghiên cứu)

Gia công mài nói chung và mài phẳng nói riêng được sử dụng khá rộng rãi để gia công tinh và bán tinh trong ngành chế tạo cơ khí. Chi phí cho gia công mài nói chung chiếm khoảng 1/4 chi phí gia công cơ cho các sản phẩm cơ khí. Do vậy, các nghiên cứu về mài nói chung và về mài phẳng nói riêng đã thu hút sự chú ý của các nhà nghiên cứu trong nước và quốc tế.

Cho đến nay đã có khá nhiều nghiên cứu về mài cũng như về mài phẳng. Về cơ sở lý thuyết của quá trình mài đã được các tác giả giới thiệu trong [1] và [2]. Nghiên cứu về sửa đá mài đã có khá nhiều công bố. Các phương pháp sửa đá với các dụng cụ sửa khác nhau đã được khảo sát như nghiên cứu sửa đá bằng mũi sửa đá kim cương một hạt [3], sửa đá bằng đĩa sửa đá kim cương [4], sửa đá bằng laser [5] và sửa đá điện hóa [6]. Các nhà nghiên cứu còn tiến hành mô phỏng topography của đá [7], đánh giá chất lượng bề mặt gia công sau khi sửa [8, 9], sửa đá để mài các vật liệu khác nhau như thép F-5229 [10], gốm [11] và các bit vofram [12]...

Các tác giả trong [13] đã tiến hành một nghiên cứu về tối ưu hóa on-line quá trình mài lỗ ở lần nhằm giảm thời gian gia công mà vẫn đảm bảo chất lượng khi mài. Kết quả nghiên cứu đã góp phần giảm thời gian mài lỗ ở lần từ 50-70%. Trong [14] đã trình bày nghiên cứu tối ưu hóa các thông số quá trình mài, thời gian mài với hàm mục tiêu lực hướng kính.

Ngoài ra, đã có khá nhiều các nghiên cứu về tối ưu hóa quá trình mài để lựa chọn các thông số mài tối ưu như xác định vận tốc quay của đá, vận tốc quay của phôi, chiều sâu sửa đá tối ưu vv... Các nghiên cứu này đã thực hiện cho mài phẳng [15], và cho mài tròn ngoài [16, 17]. Bên cạnh đó, vấn đề tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình mài cũng đã được khảo sát [17].

Tài liệu tham khảo:

- [1] S. J. Pande, S.N. Halder, G.K. Lal, *Evaluations of Grinding wheel performance*, Wear, 58 (1980), p. 237-248.
- [2] E. I. Suzdal'tsev, A. S. Khamitsaev, A. G. Épov, and D. V. Kharitonov, *Regimes of Mechanical Grinding of Pyroceramic Components in the System Machine – Workpiece – Tool – Scheme*, Refractories and Industrial Ceramics, Vol. 45, No.1, 2004.
- [3] I. Pombo, X. Cearsolo, J.A. Sánchez, I. Cabanes, Experimental and numerical analysis of thermal phenomena in the wear of single point diamond dressing tools, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 27, June 2017, Pages 145-157.
- [4] Jack Palmer, Hassan Ghadbeigi, Donka Novovic, David Curtis, An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 31, January 2018, Pages 348-355.
- [5] J. Pfaff, M. Warhanek, S. Huber, T. Komischke, K. Wegener, Laser Touch Dressing of Electroplated CBN Grinding Tools, *Procedia CIRP*, Volume 46, 2016, Pages 272-275.
- [6] Tingzhang Wang, Jian Cheng, Henan Liu, Mingjun Chen, Bo Yu, Effects of kinematic parameters on electric discharge truing of small ball-end diamond wheels for small concave

surfaces grinding, Precision Engineering, Volume 51, January 2018, Pages 117-127.

[7] J.L. Jiang, P.Q. Ge, W.B. Bi, L. Zhang, Y. Zhang, 2D/3D ground surface topography modeling considering dressing and wear effects in grinding process, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 74, November 2013, Pages 29-40.

[8] Yanzhong Wang, Yang Liu, Xiaomeng Chu, Yueming He, Wei Zhang, Calculation model for surface roughness of face gears by disc wheel grinding, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 123, December 2017, Pages 76-88.

[9] Yanzhong Wang, Yang Liu, Xiaomeng Chu, Yueming He, Wei Zhang, Calculation model for surface roughness of face gears by disc wheel grinding, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 123, December 2017, Pages 76-88.

[10] P. Puertoa, R. Fernández, J. Madariaga, J. Arana, I. Gallego, Evolution of surface roughness in grinding and its relationship with the dressing parameters and the radial wear, Procedia Engineering 63 (2013) 174 – 182.

[11] Albert J Shih, An experimental investigation of rotary diamond truing and dressing of vitreous bond wheels for ceramic grinding, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 40, Issue 12, September 2000, Pages 1755-1774.

[12] Quanli Zhang, Qingliang Zhao, Suet To, Bing Guo, Zhimin Rao, Precision machining of 'water-drop' surface by single point diamond grinding, Precision Engineering, Volume 51, January 2018, Pages 190-197.

[13] G. Xiao, S. Malkin (1996), On-Line Optimization for Internal Plunge Grinding, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 45, Issue 1, Pp. 287-292.

[14] H.K. Tönshoff, J. Peters, I. Inasaki, T. Paul (1992), Modelling and Simulation of Grinding Processes, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 41, Issue 2, Pp. 677-688.

[15] X.M. Wen, A.A.O. Tay, A.Y.C. Nee (1992), Micro-computer-based optimization of the surface grinding process, Journal of Materials Processing Technology, Volume 29, Issues 1-3, Pp. 75-90.

[16] N.B. Fredj, H. Sidhom, C. Braham (2006), "Ground surface improvement of the austenitic stainless steel AISI304 using cryogenic cooling", Surface & Coatings Technology, pp. 4846-4860.

[17] S. Malkin, Y. Koren, A. Ber (1980), Off-Line Grinding Optimization with a Micro-Computer, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 29, Issue 1, Pp. 213-216.

9.2. Danh mục các công trình đã công bố thuộc lĩnh vực của đề tài của chủ nhiệm và những thành viên tham gia nghiên cứu (họ và tên tác giả; bài báo; ấn phẩm; các yếu tố về xuất bản)

a) Của chủ nhiệm đề tài

1. Vu Ngoc Pi, Tran Thi Hong, Le Hong Ky, Le Xuan Hung, **Luu Anh Tung**, Nguyen Khac Tuan, A STUDY ON CALCULATING OPTIMUM GEAR RATIOS OF A THREE-STAGE HELICAL GEARBOX, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 9, Issue 11, November 2018, pp. 1392-1400.

2. Vu Ngoc Pi, Nguyen Khac Tuan, **Luu Anh Tung**, Le Xuan Hung, Tran Thi Hong, Le Hong Ky, Calculation of optimum gear ratios of a two-stage bevel helical gearbox, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 9, Issue 11, November 2018, pp. 2126-2133.

3. **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”, 2019 10th International Conference on Mechatronics and Manufacturing (ICMM 2019), Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand during January 21-23, 2019.

b) Của các thành viên tham gia nghiên cứu

(Những công trình tiêu biểu được công bố trong 3 năm gần nhất)

10. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

(Tính khoa học, cụ thể, rõ ràng của việc luận giải về tính cấp thiết đối với vấn đề nghiên cứu của đề tài)

Từ các phân tích trên có thể thấy cho đến nay có khá nhiều nghiên cứu về mài nói chung cũng như về mài phẳng nói riêng. Tuy nhiên nghiên cứu giải bài toán tối ưu hóa khi mài phẳng nhằm nâng cao năng suất và giảm chi phí khi mài phẳng thép SKD11 qua tôi còn chưa được quan tâm. Chính vì vậy “Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm giá thành quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi” là cấp thiết.

11. MỤC TIÊU ĐỀ TÀI

(Mức độ cụ thể, rõ ràng về mặt khoa học, lý luận và thực tiễn của mục tiêu cần đạt được)

Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

12. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI NGHIÊN CỨU

12.1. Đối tượng nghiên cứu

Các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

12.2. Phạm vi nghiên cứu

Các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

13. CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

13.1. Cách tiếp cận

Trên cơ sở nghiên cứu tổng quan sẽ tiến hành nghiên cứu xác định hàm mục tiêu cho bài toán tối ưu hóa. Sau đó sẽ đi giải bài toán tối ưu kết hợp với thực nghiệm xác định các biện pháp nhằm tăng năng suất và giảm chi phí của quá trình mài.

13.2. Phương pháp nghiên cứu

Lý thuyết kết hợp với thực nghiệm

14. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU VÀ TIẾN ĐỘ THỰC HIỆN

14.1. Nội dung nghiên cứu *(Mô tả chi tiết những nội dung nghiên cứu phù hợp với mục tiêu của đề tài, ghi rõ nội dung là: báo cáo các bài báo bằng tiếng Anh (là sản phẩm của đề tài sau khi được chấp nhận đăng) tại hội thảo đơn vị)*

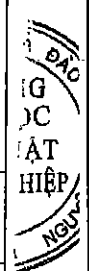
- Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng;
- Xác định hàm mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi;
- Tiến hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi;
- Công bố kết quả nghiên cứu trên các tạp chí quốc tế;
- Báo cáo nội dung các bài báo tại hội thảo cấp khoa (bằng tiếng Anh);
- Viết báo cáo và bảo vệ.

14.2. Tiến độ thực hiện

STT	Các nội dung, công việc thực hiện	Sản phẩm	Thời gian (bắt đầu-kết thúc)	Người thực hiện
1	Xây dựng thuyết minh đề tài	Thuyết minh	6/2019-7/2019	Lưu Anh Tùng
2	Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng;	Báo cáo	6/2019-7/2019	Lưu Anh Tùng Chu Mạnh Cường Nguyễn Thái Bình Đình Trọng Hải Hà Đức Thuận Hoàng Văn Quyết
3	Xác định hàm mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.	Báo cáo	7/2019-8/2019	Lưu Anh Tùng Nguyễn Thuận Phạm Quang Đồng Phạm Ngọc Duy Trần Thế Long
4	Tiến hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi	Báo cáo	9/2019-10/2019	Lưu Anh Tùng Chu Mạnh Cường Nguyễn Thái Bình Đình Trọng Hải Hoàng Anh Toàn Trần Văn Quân
5	Phân tích, đánh giá kết quả.	Báo cáo	10/2019-11/2019	Lưu Anh Tùng Hà Đức Thuận Nguyễn Thuận Hoàng Văn Quyết Phạm Ngọc Duy
6	Viết báo ISI/Scopus: 04 bài	Báo cáo	12/2019-02/2020	Lưu Anh Tùng Vũ Như Nguyệt Phan Văn Nghị Trần Thế Long Phạm Quang Đồng
7	Báo cáo kết quả tại hội thảo đơn vị	Báo cáo	3/2020-4/2020	Lưu Anh Tùng
8	Viết báo cáo tổng kết đề tài	Báo cáo	5/2020-6/2020	Lưu Anh Tùng

15. SẢN PHẨM

STT	Tên sản phẩm	Số lượng	Yêu cầu chất lượng sản phẩm (mô tả chi tiết chất lượng sản phẩm đạt được như nội dung, hình thức, các chỉ tiêu, thông số kỹ thuật,...)
I	Sản phẩm khoa học (Các công trình khoa học sẽ được công bố: sách, bài báo khoa học, ..)		
1.1	Bài báo ISI/Scopus	04	Trong danh mục ISI/Scopus 03 bài Q2 và 01 bài Q3



1.2			
...			
II	Sản phẩm đào tạo (cử nhân, thạc sĩ, tiến sĩ,...)		
2.1		0	
2.2			
...			
III	Sản phẩm ứng dụng		
3.1		0	
3.2			
...			

16. PHƯƠNG THỨC CHUYỂN GIAO KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊA CHỈ ỨNG DỤNG

16.1. Phương thức chuyển giao

16.2. Địa chỉ ứng dụng

17. TÁC ĐỘNG VÀ LỢI ÍCH MANG LẠI CỦA KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

17.1. Đối với lĩnh vực giáo dục và đào tạo

17.2. Đối với lĩnh vực khoa học và công nghệ có liên quan

17.3. Đối với phát triển kinh tế-xã hội

17.4. Đối với tổ chức chủ trì và các cơ sở ứng dụng kết quả nghiên cứu

17. KINH PHÍ THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Tổng kinh phí: 230.000.000 đồng.

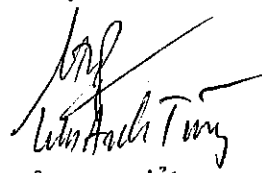
Bằng chữ: Hai trăm ba mươi triệu đồng chẵn.

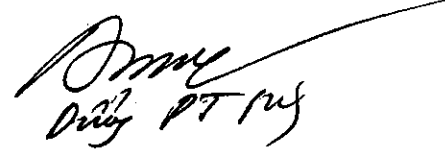
(Dự toán chi tiết các mục chi đính kèm có xác nhận của các đơn vị liên quan.)

Ngày tháng năm 2019

CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI

XÁC NHẬN CỦA ĐƠN VỊ





**KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG**

TRƯỞNG PHÒNG KHCN&HTQT



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

3

DỰ TOÁN KINH PHÍ ĐỀ TÀI KH&CN CẤP TRƯỜNG NĂM 2019

Tên đề tài: Nghiên cứu các biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.

Mã số: T2019-B31

Chủ nhiệm đề tài: Lưu Anh Tùng

Thành viên chính: Chu Mạnh Cường, Nguyễn Thái Bình, Đinh Trọng Hải, Hà Đức Thuận, Nguyễn Thuần, Phạm Ngọc Duy, Phan Văn Nghị, Trần Thế Long, Hoàng Anh Toàn, Vũ Như Nguyệt, Phạm Quang Đồng, Hoàng Văn Quyết, Trần Văn Quân.

STT	Nội dung	Dự toán			
		Người thực hiện	Số ngày công (2)	Hệ số tiền công theo ngày (3)	Thành tiền (4)
I	Mục chi tiền công lao động tham gia trực tiếp (1)				
1.1	Xây dựng thuyết minh đề tài	Lưu Anh Tùng	3	0,45	1.876.500
1.2	Nghiên cứu tổng quan về mài và mài phẳng	Lưu Anh Tùng	3	0,45	1.876.500
		Chu Mạnh Cường	13	0,3	5.421.000
		Nguyễn Thái Bình	13	0,3	5.421.000
		Đinh Trọng Hải	13	0,3	5.421.000
		Hà Đức Thuận	13	0,3	5.421.000
		Hoàng Văn Quyết	13	0,3	5.421.000
1.3	Xác định hàm mục tiêu, thiết kế thí nghiệm để tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi.	Lưu Anh Tùng	3	0,45	1.876.500
		Nguyễn Thuần	13	0,3	5.421.000
		Phạm Quang Đồng	13	0,3	5.421.000
		Phạm Ngọc Duy	13	0,3	5.421.000
		Trần Thế Long	13	0,3	5.421.000
1.4	Tiến hành làm thí nghiệm để xác định biện pháp tăng năng suất và giảm chi phí quá trình mài phẳng thép SKD11 qua tôi	Lưu Anh Tùng	3	0,45	1.876.500
		Chu Mạnh Cường	12	0,3	5.004.000
		Nguyễn Thái Bình	12	0,3	5.004.000
		Đinh Trọng Hải	12	0,3	5.004.000
		Hoàng Anh Toàn	12	0,3	5.004.000
		Trần Văn Quân	12	0,3	5.004.000
1.5	Phân tích, đánh giá kết quả.	Lưu Anh Tùng	3	0,45	1.876.500
		Hà Đức Thuận	12	0,3	5.004.000
		Nguyễn Thuần	12	0,3	5.004.000
		Hoàng Văn Quyết	12	0,3	5.004.000
		Phạm Ngọc Duy	12	0,3	5.004.000
1.6	Viết báo ISI/Scopus: 04 bài	Lưu Anh Tùng	3	0,45	1.876.500
		Vũ Như Nguyệt	12	0,3	5.004.000
		Phan Văn Nghị	12	0,3	5.004.000
		Trần Thế Long	12	0,3	5.004.000
		Phạm Quang Đồng	12	0,3	5.004.000
1.7	Báo cáo kết quả tại hội thảo đơn vị	Lưu Anh Tùng	4	0,45	2.502.000
1.8	Viết báo cáo tổng kết đề tài	Lưu Anh Tùng	3	0,45	1.876.500
	Tổng 1		298		129.478.500
2	Chi mua nguyên vật liệu, dịch vụ chuyên môn kỹ thuật	Đơn vị tính	Đơn giá	Số lượng	
	Phôi thí nghiệm	Chiếc	500.000	81	40.500.000
	Thuê máy	Ca	1.000.000	20	20.000.000
	Tổng 2				60.500.000

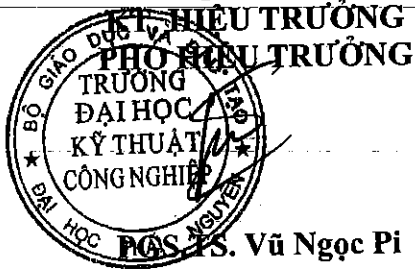
3	Chi phí khác				
3.1	Hội thảo nội bộ của đề tài	Lần	6.750.000	4	27.000.000
	Chủ trì	Người	500.000	1	500.000
	Thư ký hội thảo	Người	200.000	1	200.000
	Báo cáo viên	Người	200.000	1	200.000
	Thành viên tham dự	Người	150.000	39	5.850.000
3.2	Đánh giá, nghiệm thu				700.000
	Chủ tịch	Người	150.000	1	150.000
	Ủy viên hội đồng	Người	100.000	4	400.000
	Nhận xét của ủy viên phản biện	Người	150.000	1	150.000
3.3	Thư ký hành chính (7)				300.000
3.4	Văn phòng phẩm, in ấn				521.500
3.5	Quản lý chung của cơ quan chủ trì (5%)				11.500.000
	Tổng 3				40.021.500
	Tổng 1+2+3				230.000.000

Bảng chữ: Hai trăm ba mươi triệu đồng chẵn./.

Cơ quan chủ trì

TRƯỜNG PHÒNG KHCN & HTQT

CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

TRƯỜNG PHÒNG KH-TC

Lưu Anh Tùng

