

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

BÁO CÁO

**ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG
NĂM 2022**

Tên đề tài:

**Tối ưu hóa đa mục tiêu khi mài phẳng
thép HARDOX 500**

Mã số: T2022-B14

Chủ nhiệm đề tài: TS. Lưu Anh Tùng

THÁI NGUYÊN, NĂM 2024

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI

1. TS. Lưu Anh Tùng - 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: Tối ưu hóa đa mục tiêu khi mài phẳng thép HARDOX 500.
- Mã số: **T2022-B14**
- Chủ nhiệm đề tài: TS. Lưu Anh Tùng
- Tổ chức chủ trì: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp
- Thời gian thực hiện: **Tháng 4 năm 2022 đến tháng 4 năm 2024**

2. Mục tiêu: Nghiên cứu chế độ sửa đá hợp lý khai mài phẳng thép Hardox 500 bằng đá mài Hải Dương nhằm nhám bề mặt nhỏ hơn thì tốt hơn trong khi năng suất gia công lớn hơn thì tốt hơn.

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 đồng thời các mục tiêu là nhám bề mặt nhỏ hơn thì tốt hơn trong khi năng suất bóc tách lớn hơn thì tốt hơn khi mài phẳng thép Hardox 500 bằng đá mài Hải Dương.

4. Kết quả nghiên cứu:

Đã xác định được chế độ sửa đá hợp lý nhằm đạt đồng thời hai mục tiêu nhám bề mặt nhỏ hơn thì tốt hơn trong khi năng suất bóc tách lớn hơn thì tốt hơn: N_r có ảnh hưởng lớn nhất đến mục tiêu chung (35,23%), tiếp theo là T_r (27,28%), N_{non} (18,17%), N_f (13,79%) và T_f (0,74%). Chế độ sửa đá tối ưu sau đây đã được đề xuất: $T_r = 0,05$ (mm), $N_r = 2$ (lần), $N_f = 1$ (lần), $T_f = 0,02$ (mm), $N_{non} = 2$ và cùng $S = 1,2$ (m/phút). Kết quả thực nghiệm kiểm chứng $R_a = 0.259 \mu m$, sai lệch 9.32% so với dự đoán $0.236 \mu m$, năng suất bóc tách $MRR = 10.02 \text{ mm}^3/\text{s}$, sai lệch 0.35% so với tính toán $9.985 \text{ mm}^3/\text{s}$.

5. Sản phẩm: Đã đăng được 01 bài báo quốc tế có chỉ số Scopus Q4.

Dinh Van Thanh, Le Hong Ky, Nguyen Dang, Tran Huu Danh, Nguyen Duc Anh, Le Xuan Hung, Vu Ngoc Pi, Luu Anh Tung, "A Study on Multi-Objective Optimization of Dressing Process in Surface Grinding Hardox 500", ICERA 2023, Acceptance letter - ID7073.

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

Tổ chức chủ trì

KT. HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG



GS.TS. Vũ Ngọc Pi

Ngày tháng 4 năm 2024

Chủ nhiệm đề tài

(ký, họ và tên)

Lưu Anh Tùng

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Multi-Objective Optimization of Dressing Process in Surface Grinding Hardox 500 by Hai Duong grinding wheel

Code number: *T2022-B14*

Coordinator: Luu Anh Tung

Implementing institution: Thai Nguyen University of Technology

Duration: from 4/2022 to 4/2024

2. Objective(s): A study optimization dressing parameters when grding Hardox 500 steel for surface grinding by Hai Duong grinding wheel to surface ruoghness smaller the better while material remove rate larger the better.

3. Creativeness and innovativeness: The dressing parameters include with 3 steps: rough dressing, fine dressing and non-feeding dressing to ensure the multi-targets are the smaller the better surface roughnesswhile the larger the better material remove rate when surface grinding Hardox 500 steel with Hai Duong grinding wheel.

4. Research results:

Optimized dressing parameter for multi-targets are the smaller the better surface roughness while the larger the better material remove rate: N_r effects the largest (35,23%), next to T_r (27,28%), N_{non} (18.17%), N_f (13,79%) and T_f (0,74%). Optimal dressing parameter mode: Dressing two times with depth of rough dressing cut (0.05 mm); one times with the depth of fine dressing cut (0.02 mm); two times with non-feeding dressing with same feed rate (1.2 m/min). The average surface roughness received after 3 times of the performed experiments is 0.259 μm , deviation of these values is 11.23% comparing with the predicted values (0.236 μm), materal remove rate 10.02 mm^3/s , deviation of these values is 0,35% comparing with the predicted values (9.985 mm^3/s).

5. Products: Published 04 international articles with Scorput index Q4.

Dinh Van Thanh, Le Hong Ky, Nguyen Dang, Tran Huu Danh, Nguyen Duc Anh, Le Xuan Hung, Vu Ngoc Pi, Luu Anh Tung, "A Study on Multi-Objective Optimization of Dressing Process in Surface Grinding Hardox 500", ICERA 2023, Acceptance letter - ID7073.

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.....	4
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	6
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	7
PHẦN MỞ ĐẦU.....	8
I. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu.....	8
II. Mục tiêu của đề tài.....	8
III. Đối tượng nghiên cứu.....	8
IV. Phạm vi nghiên cứu.....	8
V. Phương pháp nghiên cứu.....	9
PHẦN I: TỔNG QUAN VỀ CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ KHI MÀI PHẪNG.....	10
1.1. Mòn đá mài và tuổi bền của đá mài.....	10
1.1.1. Mòn của đá mài.....	10
1.1.2. Tuổi bền của đá mài.....	11
1.1.3. Dụng cụ sửa đá.....	12
1.1.4. Tổng quan về tối ưu hóa các thông số công nghệ sửa đá mài.....	13
1.2. Xác định mục tiêu.....	22
1.2.1. Sơ đồ và cơ sở của nghiên cứu nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng.....	22
1.2.2. Lựa chọn thông số đầu vào.....	23
1.2.3. Các giải pháp nâng cao hiệu quả quá trình mài phẳng.....	24
PHẦN II: XÂY DỰNG HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM.....	25
2.1. Các giả thiết của thí nghiệm.....	25
2.2. Thiết bị thực hiện thí nghiệm.....	26
2.2.1. Máy mài, đá mài và thiết bị đo lực cắt.....	26
2.2.2. Phôi thí nghiệm.....	27
2.2.3. Thiết bị đánh giá chất lượng sản phẩm.....	28
2.3. Xây dựng quy hoạch thực nghiệm.....	28
2.3.1. Khái quát về phương pháp Taguchi.....	28

2.3.2. Các bước thiết kế ma trận thí nghiệm	29
2.3.3. Các bước tối ưu hóa sử dụng phân tích quan hệ mờ (Grey Relational Analysis – GRA).....	31
2.4. Kết luận chương 2	33
PHẦN III: TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU CHẾ ĐỘ SỬA ĐÁ KHI MÀI THÉP HARDOX500 BẰNG ĐÁ MÀI HẢI DƯƠNG.....	34
3.1. Xác định thông số khảo sát và ma trận thí nghiệm.....	34
3.2 Tối ưu hóa đa mục tiêu nhám bề mặt và năng suất bóc tách	36
3.3. Kết luận chương 3:.....	42
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO	44
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	45

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1. Các dạng mòn của đá mài [24]	10
Hình 2. Quá trình mòn của đá [25]	11
Hình 3. Dụng cụ sửa đá kim cương một hạt [27]	13
Hình 4. Dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt [27].....	13
Hình 5. Quá trình sửa đá [27, 28, 29].	14
Hình 6. Mòn đá mài vĩ mô [28, 29].	14
Hình 7. Các dạng mòn đá mài [27, 28, 29].....	14
Hình 8. Ảnh hưởng của hệ số trung khít đến nhấp nhô bề mặt đá mài Rt_s [28, 29].	15
Hình 9. Chế độ cắt khi sửa đá [28, 29].	15
Hình 10. Ảnh hưởng của U_d đến kết quả đầu ra khi mài [28].	16
Hình 11. Ảnh hưởng của lượng chạy dao khi sửa đá đến lực mài và độ nhám bề mặt khi mài [29].....	17
Hình 12. Sơ đồ sửa đá bằng bút sửa đá một hạt [35].....	17
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 [32].....	18
Hình 14. Cách gá mũi sửa đá kim cương một hạt [32].....	18
Hình 15. Hình dạng của một hạt mài sau sửa đá [32].....	19
Hình 16. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng bút sửa đá một hạt theo [36]	19
Hình 17. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng mũi sửa đá nhiều hạt [36].	20
Hình 18. Sơ đồ nghiên cứu thực nghiệm khi mài phẳng	23
Hình 19. Mô hình nâng cao hiệu quả của quá trình mài phẳng	24
Hình 20. Máy mài phẳng MOTO – YOKOHAMA.....	25
Hình 21. Đầu đo lực Kistler 9257BA	27
Hình 22. Bút sửa đá kim cương nhiều hạt	27
Hình 23. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.	27
Hình 24. Máy đo độ nhám SJ-201 của hãng Mitutoyo – Nhật Bản.....	28
Hình 25. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số (Factor effects on grade values).	40

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. Lựa chọn lượng chạy dao sữa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng bút sữa đá một hạt [36].....	20
Bảng 2. Lựa chọn lượng chạy dao sữa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng mũi sữa đá nhiều hạt [36]	20
Bảng 3. Chế độ sữa đá khi sử dụng đầu sữa đá kim cương nhiều hạt của Winter [37].	21
Bảng 4. Chế độ sữa đá khi sử dụng đầu sữa đá kim cương nhiều hạt [38].....	21
Bảng 5. Thông số kỹ thuật của máy mài phẳng	26
Bảng 6. Thành phần hóa học các nguyên tố.....	27
Bảng 7. Các mức thí nghiệm tối ưu hóa của các thông số a_r , n_r , a_f , n_f và S.....	34
Bảng 8. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa theo T_r , N_r , T_f , N_f và N_{non}	35
Bảng 9. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa, kết quả đo, và tỷ số S/N của chỉ tiêu nhám bề mặt và năng suất gia công.....	35
Bảng 10. Tỷ số S/N, tỉ số chuẩn hóa.....	37
Bảng 11. Trị số quan hệ xám và quan hệ xám trung bình.....	38
Bảng 12.. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ mờ (Main effects on grey grades).	39
Bảng 13. Phân tích hồi quy phương sai trị số quan hệ xám trung bình	40
Bảng 14. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.	42

PHẦN MỞ ĐẦU

I. Tính cấp thiết của vấn đề nghiên cứu.

Trong gia công công cơ khí, mài và mài phẳng được dùng rất phổ biến. Chúng thường dùng cho các nguyên công gia công tinh và bán tinh. Lý do vì mài và mài phẳng cho độ chính xác gia công cao và chất lượng bề mặt gia công tốt. Vì thế cho nên các nghiên cứu về mài cũng như về mài phẳng đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trong nước và quốc tế. Ở nước ta, các nghiên cứu về mài phẳng đã có một số như sau: Nghiên cứu về quá trình sửa đá khi mài phẳng [1, 2]; nghiên cứu xác định các thông số sửa đá tối ưu khi mài phẳng để nâng cao tuổi thọ của đá [3]; hay nghiên cứu tối ưu hóa nhằm đạt thời gian mài nhỏ nhất [4, 5]. Các nghiên cứu đã tiến hành khi mài thép 90CrSi [1-3], mài thép các bon [5] mài thép không gỉ [6], hay mài thép ASIS 1045 [7].

Các nhà khoa học quốc tế đã nghiên cứu về cơ sở lý thuyết của quá trình mài và mài phẳng đã được giới thiệu trong [8] và [9]. Nghiên cứu về sửa đá mài đã có khá nhiều công bố. Các phương pháp sửa đá như sửa đá bằng mũi sửa đá kim cương một hạt [10], sửa đá bằng đĩa sửa đá kim cương [11], sửa đá bằng laser [12] hay sửa đá bằng phương pháp điện hóa [13]. Các nhà nghiên cứu còn tiến hành mô phỏng topography của đá [14], đánh giá chất lượng bề mặt gia công sau khi sửa [15, 16], sửa đá để mài các vật liệu khác nhau như thép F-5229 [17], gốm [18] và các bit vonfram [19]... Tối ưu hóa quá trình mài phẳng đã được nêu trong [20] và [21]. Bên cạnh đó cũng đã có các nghiên cứu về quá trình sửa đá khi mài phẳng như trong [22] và [23].

Từ phân tích nêu trên có thể thấy rằng mặc dù cho đến nay có khá nhiều nghiên cứu về mài nói chung cũng như về mài phẳng nói riêng nhưng việc nghiên cứu ảnh hưởng các thông số đầu vào đến quá trình mài phẳng thép HARDOX 500 còn chưa được chú ý. Chính vì vậy mà nghiên cứu “Ảnh hưởng các thông số đầu vào đến quá trình mài phẳng thép HARDOX 500” là đề tài có tính cấp thiết.

II. Mục tiêu của đề tài.

Xác định các thông số đầu vào tối ưu theo hàm đa mục tiêu khi mài phẳng thép HARDOX 500.

III. Đối tượng nghiên cứu.

Tối ưu hóa đa mục tiêu khi mài phẳng thép HARDOX 500.

IV. Phạm vi nghiên cứu.

Nghiên cứu chế độ sửa đá khi mài phẳng thép HARDOX 500.

V. Phương pháp nghiên cứu.
Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm.

PHẦN I: TỔNG QUAN VỀ CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SỬA ĐÁ KHI MÀI PHẪNG.

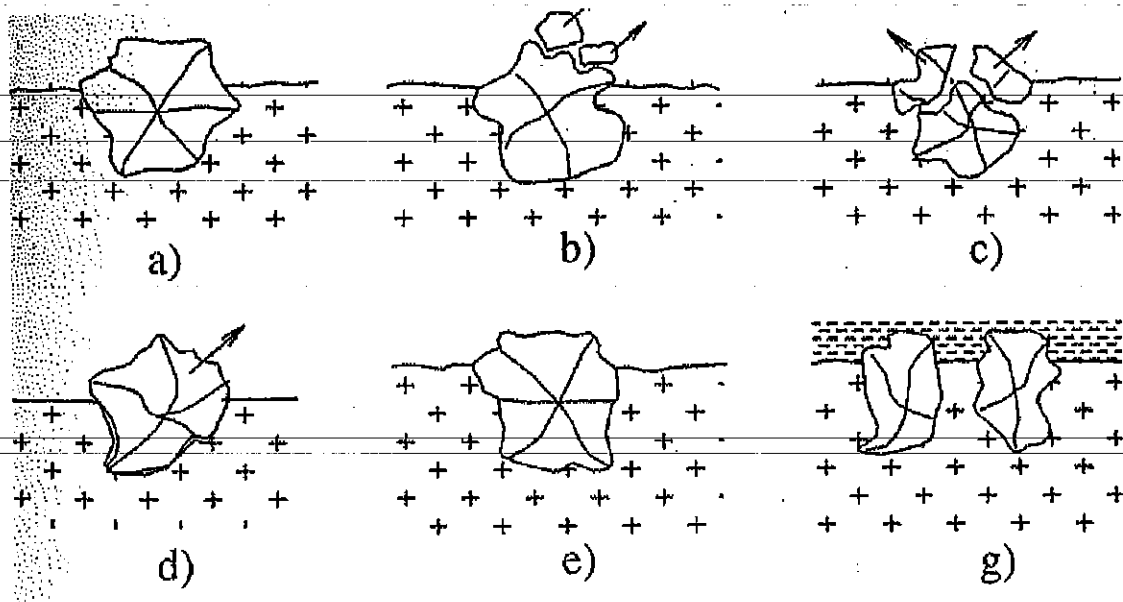
1.1. Mòn đá mài và tuổi bền của đá mài

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 ... [24].

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 [24], bao gồm:



Hình 1. Các dạng mòn của đá mài [24]

- 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).

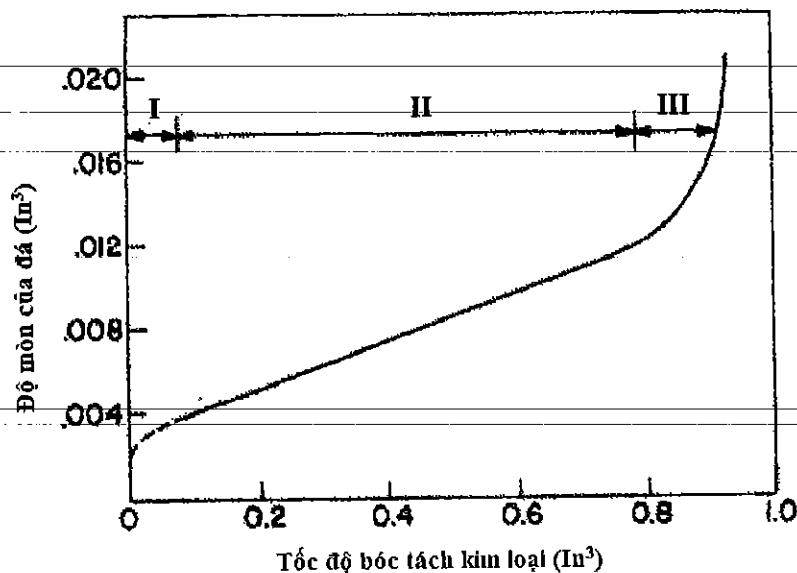
Các dạng mòn trên xuất hiện đồng thời trong quá trình mài. Tuy nhiên, tùy theo điều kiện gia công mà sẽ có những dạng mòn chiếm ưu thế [24].

Quá trình mòn của đá mài chia làm 3 giai đoạn như được thể hiện trên *Hình 2* [25]:

- 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 [25]

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 [24, 26]:

- *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.

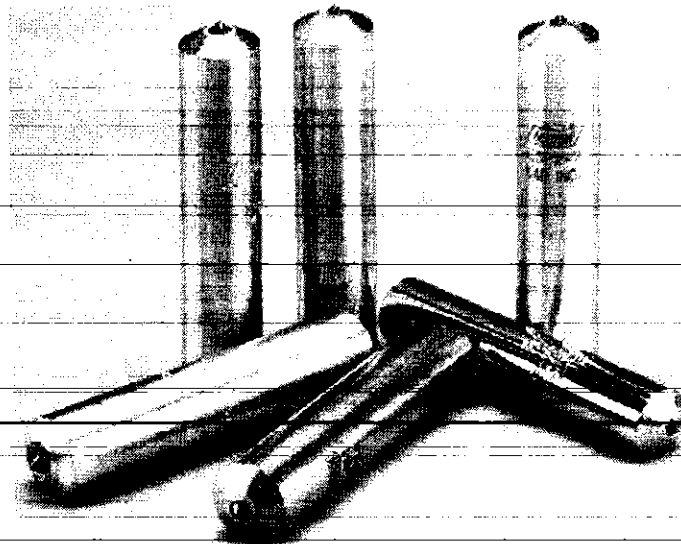
1.1.3. Dụng cụ sửa đá

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.

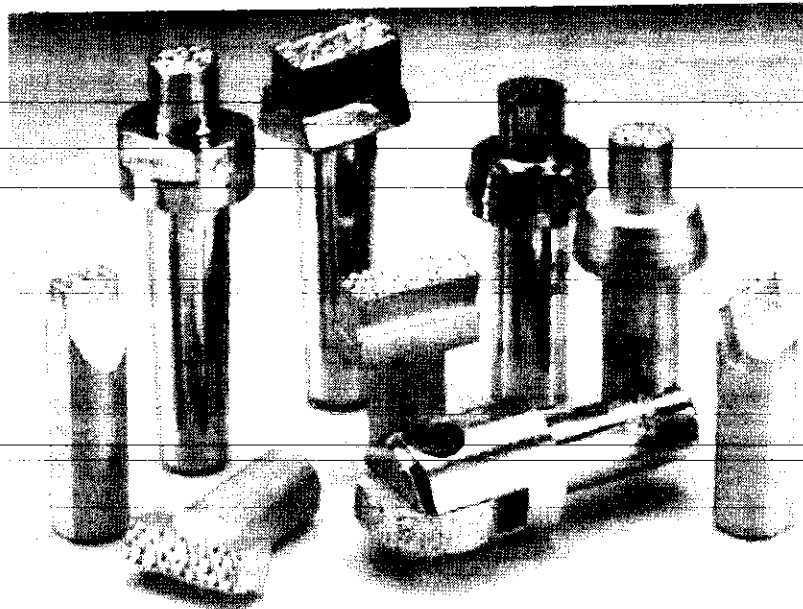
Dụng cụ sửa đá kim cương gồm hai loại là loại một hạt và loại nhiều hạt.

- Dụng cụ sửa đá kim cương một hạt (*Hình 3*) [27]: 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*) [27]: 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 [27]



Hình 4. Dụng cụ sửa đá kim cương nhiều hạt [27]

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.

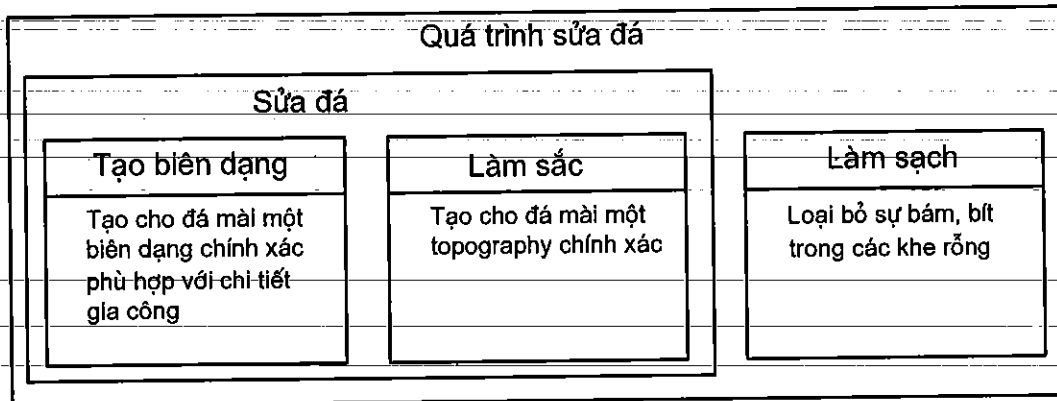
1.1.4. Tổng quan về tối ưu hóa các thông số công nghệ sửa đá mài

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) [27, 28, 29].

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

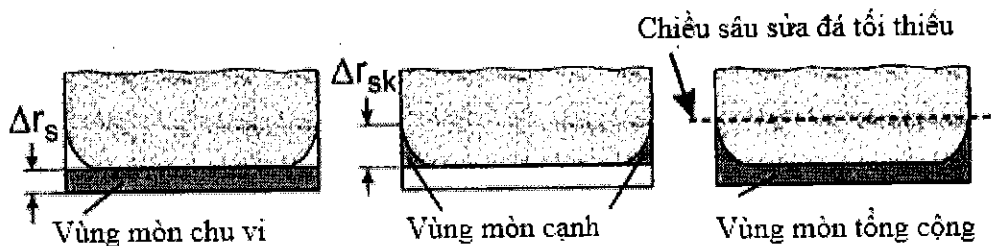
dính kết và tạo các lưới cắt trên các hạt mài [24]. Điều này rất cần thiết cho lần đầu tiên sử dụng đá mài. Mặt khác, chất lượng bề mặt sản phẩm chỉ có thể được duy trì đồng nhất bằng cách lặp lại bề mặt đá trong suốt quá trình mài. Bề mặt đá sau sửa có ảnh hưởng quyết định đến khả năng cắt, tuổi bền, 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.

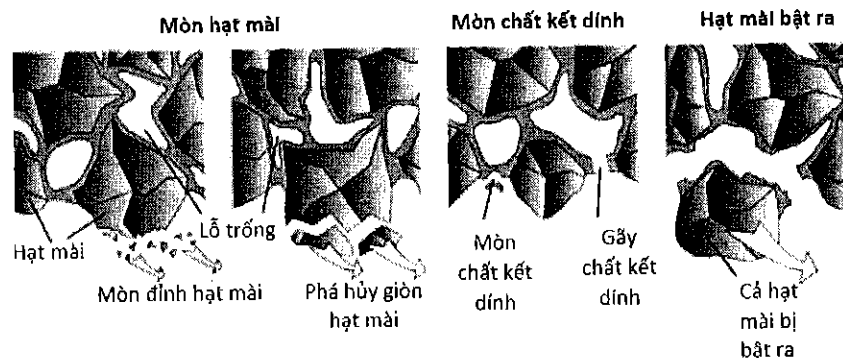


Hình 5. Quá trình sửa đá [27, 28, 29].

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 vĩ mô bao gồm mòn hạt mài, mòn chất kết dính và hạt mài bị bật ra (Hình 7) [27, 28, 29]. Chiều sâu sửa đá tối thiểu phải hết lớp mòn này.



Hình 6. Mòn đá mài vĩ mô [28, 29].



Hình 7. Các dạng mòn đá mài [27, 28, 29].

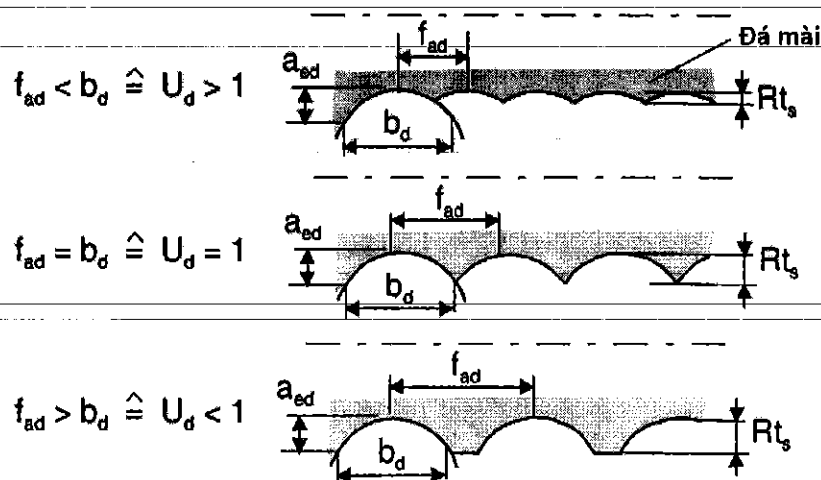
Cũng theo [22, 23], các thông số đầu vào của quá trình sửa đá phụ thuộc vào dụng cụ sửa đá và quy trình sửa đá (Hình 8). Chiều sâu cắt khi sửa đá a_{ed} (trong nghiên cứu này là a) là đại lượng dùng để xác định chiều rộng của dụng cụ sửa đá b_d . Số lượng vết tiếp xúc của bề mặt đá mài và dụng cụ sửa 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:

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

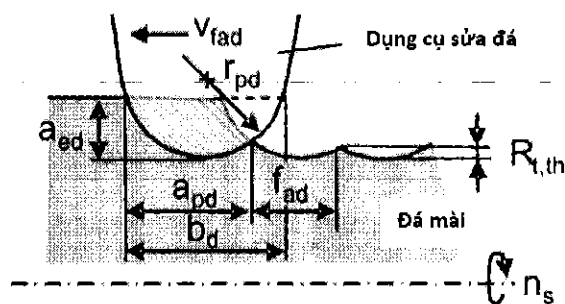
Trong đó: r_{pd} là bán kính của dụng cụ sửa đá; a_{pd} và b_d có thể xác định như sau.

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

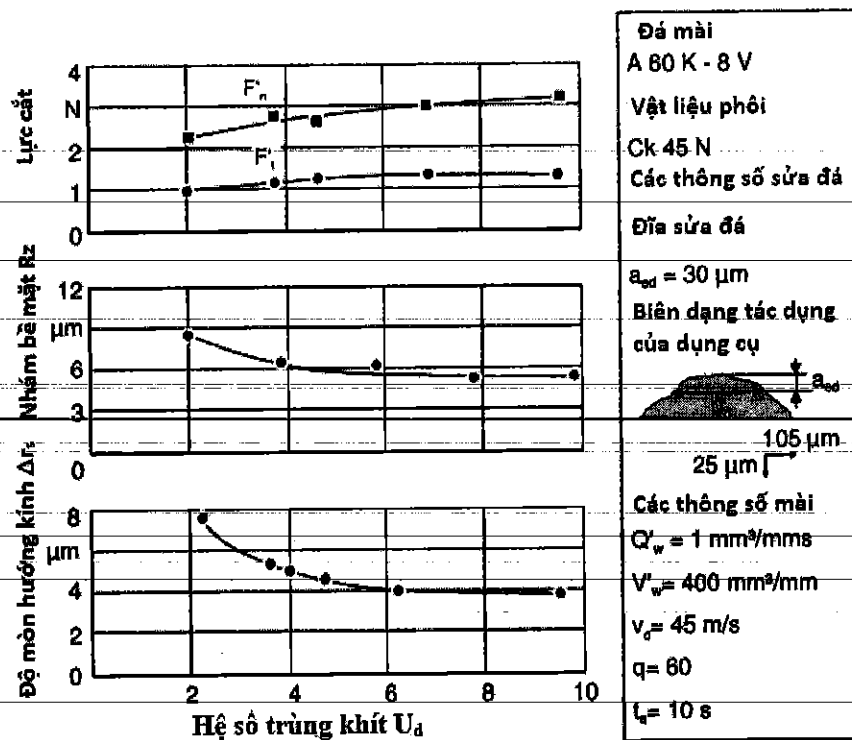
$$b_d = \sqrt{(8r_{pd}a_{ed})} \quad (3)$$



Hình 8. Ảnh hưởng của hệ số trùng khít đến nhấp nhô bề mặt đá mài Rt_s [28, 29].



Hình 9. Chế độ cắt khi sửa đá [28, 29].



Hình 10. Ảnh hưởng của U_d đến kết quả đầu ra khi mài [28].

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:

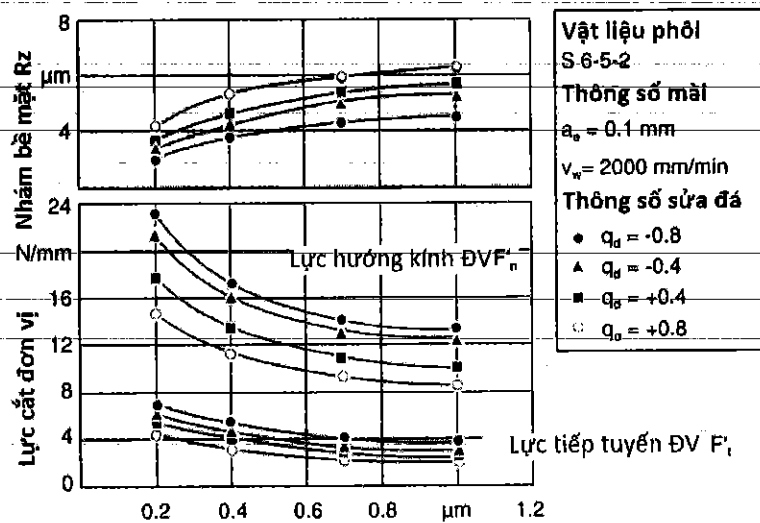
$$U_d = \frac{b_d}{f_{ad}} = \frac{\sqrt{(8r_{pd}a_{ed})}}{f_{ad}} \quad (4)$$

U_d ảnh hưởng mạnh đến chất lượng đầu ra khi mài và được thể hiện như Hình 10 [28]. Thêm vào đó, các tác giả [29] 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 [30]. 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 [31]. Nghiên cứu về tối ưu hóa các thông số của quá trình sửa đá gồm: Tỷ 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 [32]. 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

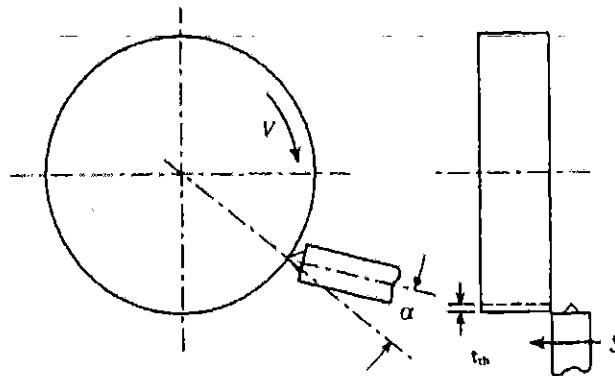
khi mài vật liệu STD2, STD11, SUS304 cũng đã được khảo sát trong [33]. So sánh hiệu quả của sửa đá mài bằng dụng cụ sửa đá kim cương với sửa đá bằng laser đã được thực hiện trong [34] khi mài vật liệu 100Cr6 qua tôi bằng đá mài SiC.

Fritz Klocke [29] 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 [29]

Milton C. Shaw [35] 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 [35]

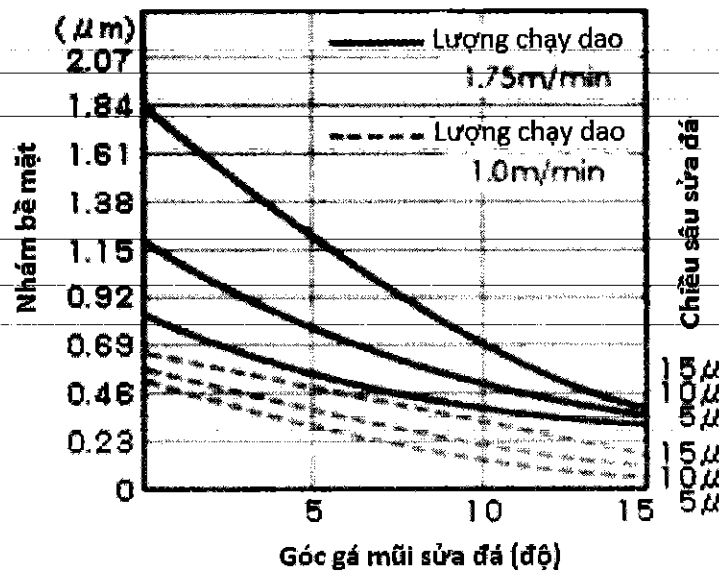
Sửa đá khi mài phẳng nhằm đạt được độ nhám bề mặt $Ra = 0,32 \div 1,25 \mu\text{m}$ đã được đề xuất trong [31] với chế độ công nghệ như sau: Với mũi sửa đá kim cương

nhiều hạt, lượng chạy dao dọc $S = 1,5$ m/ph; sửa 4 lần với chiều sâu sửa đá $t_{th} = 0,03$ mm/HT sau đó chạy không ăn dao 4 lần. Với mũi sửa đá kim cương một hạt, lượng chạy dao dọc $S = 1,0$ m/ph; sửa 6 lần với chiều sâu sửa đá $t_{th} = 0,02$ mm/HT sau đó chạy không ăn dao 4 lần.

S. Malkin [32] đã đưa ra chế độ sửa đá với dụng cụ sửa đá kim cương như sau:

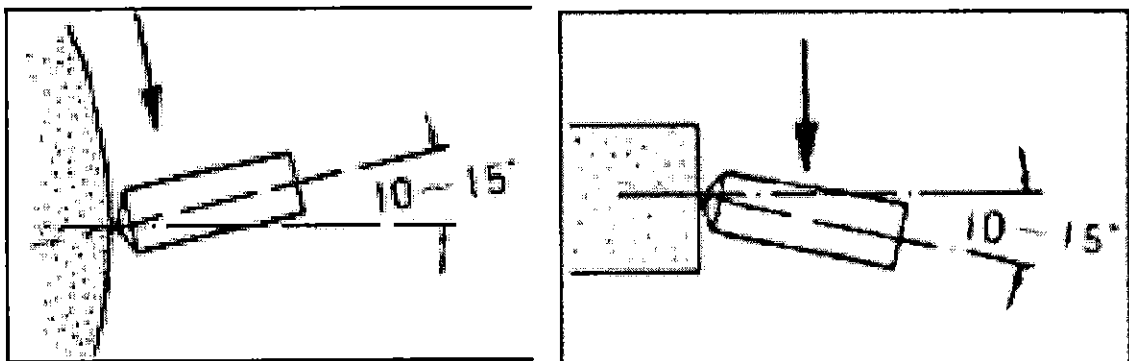
Khi sử dụng mũi sửa kim cương một hạt: $f_{ad} < 0,2$ mm/vòng; $0,01mm \leq t_{th} \leq 0,03mm$

. Khi sử dụng mũi sửa kim cương nhiều hạt: $f_{ad} < 0,5$ mm/vòng; $0,01mm < t_{th} < 0,05mm$



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 [32]

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 [32]. 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).



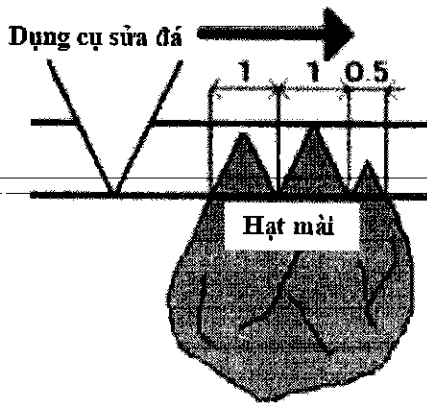
Hình 14. Cách gá mũi sửa đá kim cương một hạt [32]

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):

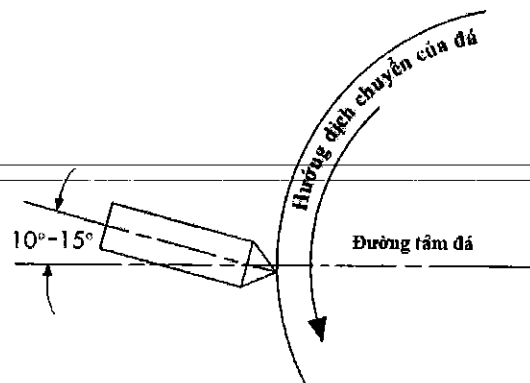
$$S = (d \cdot n_d) / 2,5 \quad (5)$$

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 [32], 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 [32]



Hình 16. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng bút sửa đá một hạt theo [36]

Công ty Norton [36] 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 dụng 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 $0,001 \div 0,002$ inch/lần.
- Luôn sử dụng dung dịch trơn nguội.
- Lượng chạy dao chọn theo nhám bề mặt (*Bảng 2*).

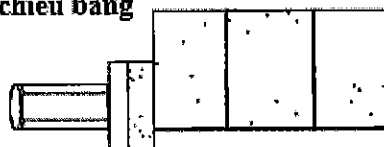
Bảng 1. Lựa chọn lượng chạy dao sửa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng bút sửa đá một hạt [36]

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

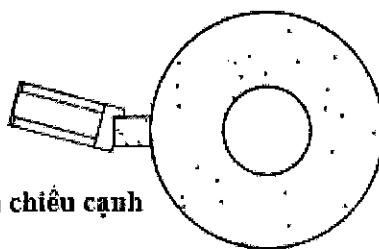
Bảng 2. Lựa chọn lượng chạy dao sửa đá phụ thuộc vào nhám bề mặt khi sử dụng mũi sửa đá nhiều hạt [36]

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 chiều bằng



Hình chiều cạnh



Hình 17. Sơ đồ gá đặt khi sửa đá bằng mũi sửa đá nhiều hạt [36].

Công ty Winter [37] 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 [37].

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. [38] 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 [38]

Độ nhám bề mặt Ra (μm)	S (mm/ph)	Chiều sâu sửa đá (mm/HT)				Số hành trình không ăn dao
		Khi sửa thô		Khi sửa tinh		
		Chiều sâu	Số hành trình	Chiều sâu	Số hành trình	
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 [24] 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 [39, 40]. Phương pháp đánh giá topography của đá mài đã được phân tích [41] hoặc đo bằng cảm biến khoảng cách laser [42].

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 vv...

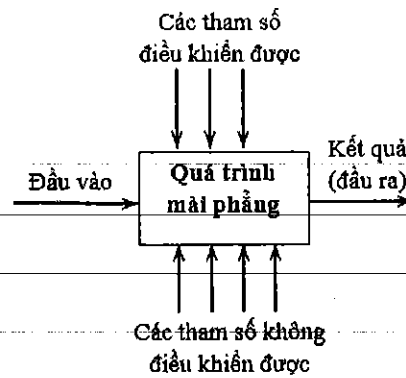
Trong thực tế sản xuất ở nước ta, đá mài Hải Dương được sử dụng rất phổ biến. Với đá mài phẳng Hải Dương, các công bố đã khuyến cáo nên sử dụng mũi sửa đá kim cương nhiều hạt. Tuy vậy, các nghiên cứu về chế độ sửa đá hợp lý khi mài phẳng bằng đá mài này không nhiều và chưa đầy đủ. Do đó, trong chuyên 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 Hình 18 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 Hình 18.



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.

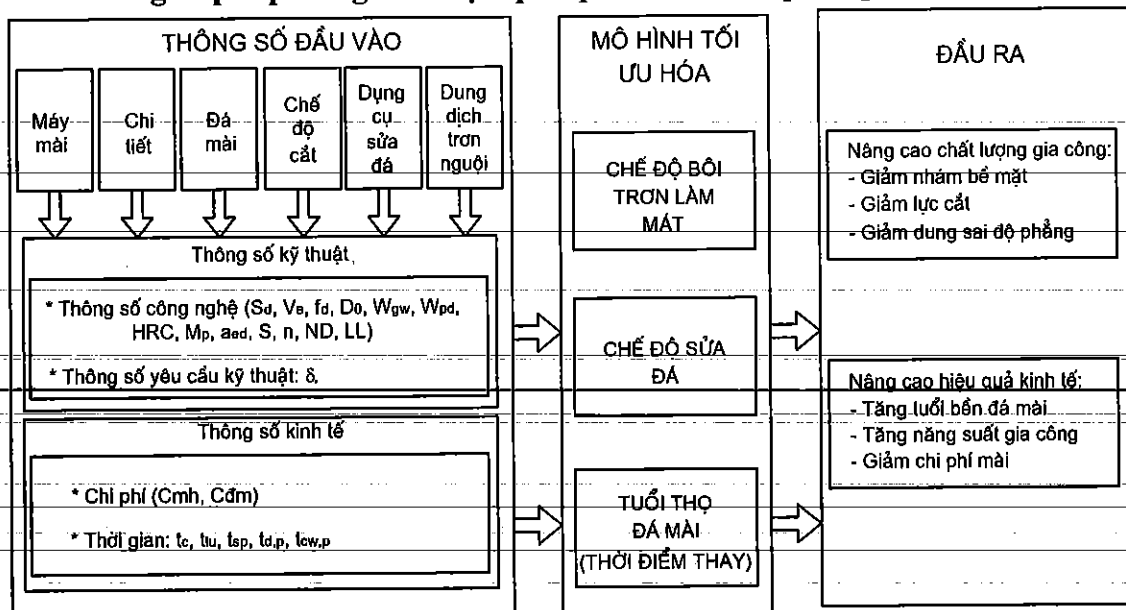
1.2.2. Lựa chọn thông số đầu vào

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 Hình 19. 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.

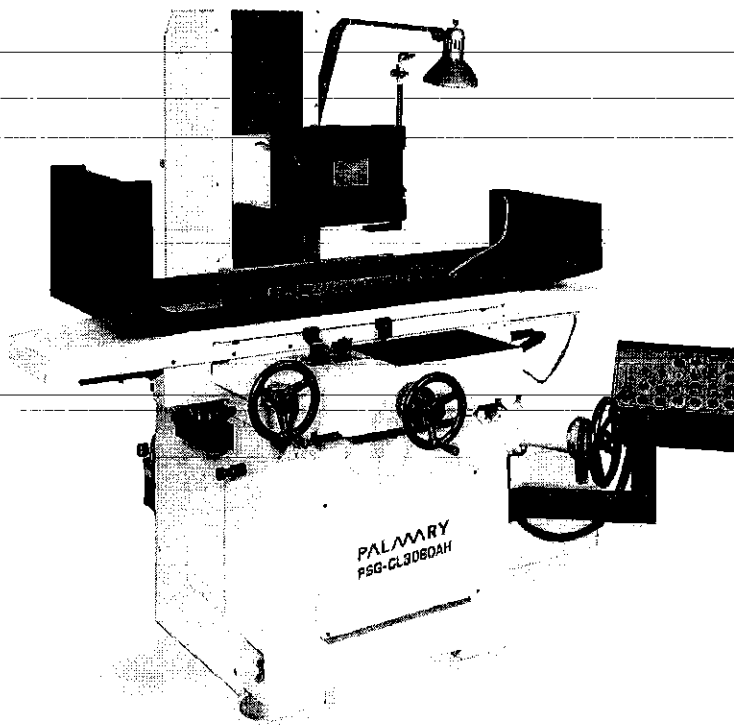
Nhận xét: Tuy đã có những nghiên cứu về tăng năng suất và giảm chi phí khi mài nhưng chưa nhiều. Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ sửa đá đến nhám bề mặt và năng suất bóc tách vật liệu của quá trình mài phẳng thép Hardox500 bằng đá mài Hải Dương.

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: “*Tối ưu hóa đa mục tiêu khi mài phẳng thép HARDOX 500*”.



Hình 20. Máy mài phẳng MOTO – YOKOHAMA

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 PSG-CL3060AH (Hình 20) – Đài Loan sản xuất với những thông số kỹ thuật như trong Bảng 5.

Bảng 5. Thông số kỹ thuật của máy mài phẳng

Đặc tính kỹ thuật	PSG - CL3060AH
Kích thước bàn	300 x 600 mm
Diện tích tiếp xúc phối lớn nhất	300 x 600 mm
Khoảng cách từ tâm đá đến mặt bàn max.	500 mm
Tốc độ bàn	5~25 M/min
Băng trượt	V & Flat way
Lượng ăn đá tối lui tự động	0.5 mm ~ 20 mm
Tốc độ chạy tới lui	900 mm/phân (50Hz)
Bước tiến / vạch chia quay tay tới lui	5 mm / 1 vòng 0.02 mm / 1 vạch
Tốc độ chạy nhanh lên xuống	450 mm/phân
Bước tiến / vạch với M.PG	
Bước tiến ăn đá tự động	0.001 mm~0.999 mm/Time
Tốc độ quay đá	1,450 R.P.M. (50Hz)
Kích thước đá	355x38x127 mm
CS động cơ trục đá	5 HP
CS bơm thủy lực	1 HP
CS động cơ tới lui	1/5 HP
CS động cơ lên xuống	1/5 HP (opt)
CS bơm làm mát	1/8 HP (opt)
Độ ồn hệ thống thủy lực	Below 7B dB
Trọng lượng máy	1,700 kgs
Trọng lượng đóng gói	1,950 kgs
Diện tích sàn đặt máy	2,650 x 1,500 mm
Kích thước đóng gói	2,200 x 1,790 x 2,100 cm

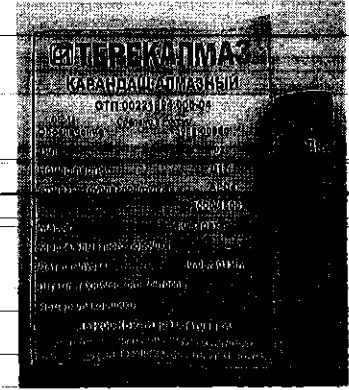
- Đá thí nghiệm là đá mài Hải Dương ký hiệu:

Cn60MV1G-V1-350x40x127-35 (m/s)

- Dụng cụ đo lực cắt là: Kistler 9257BA do Thụy Sĩ sản xuất (Hình 21).



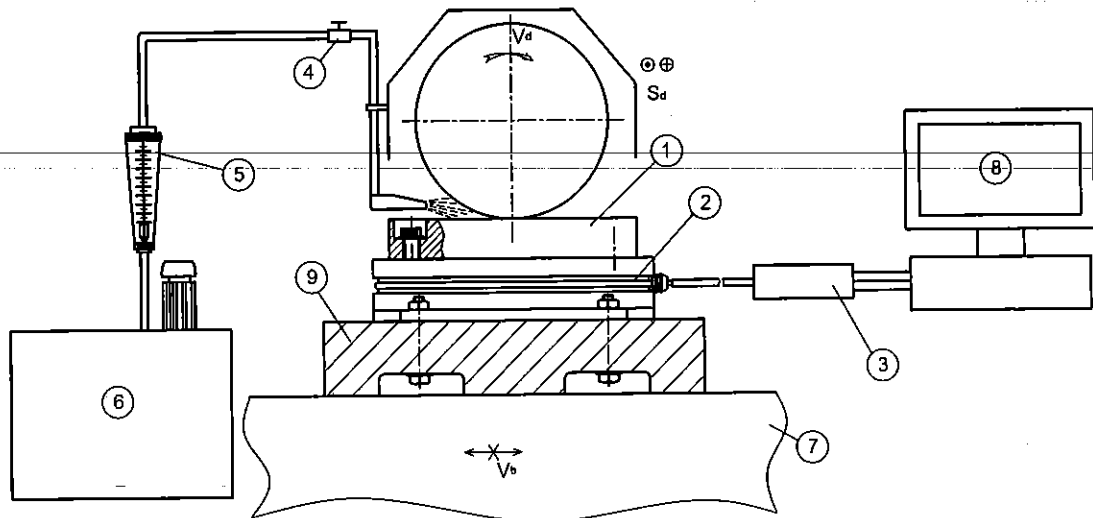
Hình 21. Đầu đo lực Kistler 9257BA



Hình 22. 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 Hình 22.

- Sơ đồ bố trí và kết nối máy mài với máy tính và được thể hiện trên Hình 23.



Hình 23. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

1- phôi; 2- đầu 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 thép Hardox500								
Nguyên tố	C	Cr	Ni	V	Si	Mn	S	P
Hàm lượng max	0,3	1.5	1.5	0.35	0.7	1.6	≤ 0.025	≤ 0.025

Phôi thí nghiệm là thép Hardox500 có kích thước 60 x 40 x 30. Thành phần được thể hiện trong *Bảng 6*.

Thép Hardox500 là loại vật liệu đa dụng, chịu và chống lại sự mài mòn với độ cứng 500 HBW kết hợp với sức bền cao, dễ dàng cho việc uốn cong và hàn.

Nhờ độ cứng cao, sức bền vật liệu cao, khả năng uốn cong, dễ dàng cho hàn nên thép tấm Hardox 500 được sử dụng trong mọi kiến trúc hiện đại cho việc bao phủ bề mặt.

Đặc tính của thép tấm Hardox 500:

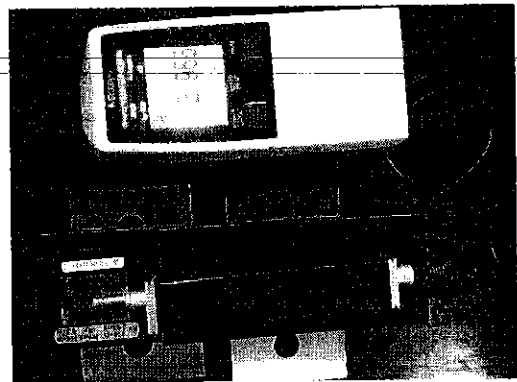
- + Khả năng uốn cong lạnh tuyệt vời và khả năng hàn
- + Độ cứng kéo dài tuổi thọ bề mặt
- + Bề mặt phẳng, bề mặt chống nổ và được phủ khi hoàn thiện
- + Chịu sức va đập cao
- + Tinh luyện

Ứng dụng:

Xe rác, băng tải, máng trượt, xe ủi, thùng xe, container, máy nghiền, máy đập, búa, công cụ mỏ, máy nâng, cầu trục...

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 (*Hình 24*).



Hình 24. Máy đo độ nhám SJ-201 của hãng Mitutoyo – Nhật Bản.

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:

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

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

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)

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

Trong đó: B_i là giá trị tại mức i của thí nghiệm; n_{Bi} 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.

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

- 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:

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

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.

2.4. Kết luận chương 2

- Đã xây dựng được hệ thống thí nghiệm nhằm tối ưu hóa đa mục tiêu chế độ công nghệ sửa đá.
- Đã xác định lập được ma trận thí nghiệm và phương pháp quy hoạch thí nghiệm nhằm tối ưu hóa đa mục tiêu chế độ công nghệ sửa đá.

PHẦN III: TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU CHẾ ĐỘ SỬA ĐÁ KHI MÀI THÉP HARDOX500 BẰNG ĐÁ MÀI HẢI DƯƠNG.

3.1. Xác định thông số khảo sát và ma trận thí nghiệm

Việc xây dựng ma trận thí nghiệm tối ưu hóa một số thông số công nghệ sửa đá đến độ nhám bề mặt nhỏ hơn thì tốt hơn trong khi năng suất bóc tách lớn hơn thì tốt hơn khi mài thép Hardox500 bằng đá mài Hải Dương được thực hiện bằng phương pháp Taguchi. Kế hoạch thí nghiệm theo Taguchi được khởi tạo và phân tích bằng sử dụng phần mềm Minitab®19 với 5 thông số (2 thông số 1 mức và hai thông số 4 mức). Các mức tương ứng của mỗi thông số thí nghiệm được cho trong *Bảng 7*.

Kết quả khởi tạo ma trận thí nghiệm được trình bày trong *Bảng 8*

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 T_r , N_r , T_f , N_f và N_{non} được xác lập theo giá trị đã ghi trong ô tương ứng của các cột T_r , N_r , T_f , N_f và N_{non} trong *Bảng 8*. Toàn bộ 16 thí nghiệm có thể thực hiện trong cùng một ca máy, trong điều kiện gia công như nhau.

Bảng 7. Các mức thí nghiệm tối ưu hóa của các thông số a_r , n_r , a_f , n_f và S .

TT	Thông số	Ký hiệu	Mức			
			1	2	3	4
1	Chiều sâu sửa đá thô (mm)	a_r	0.015	0.02	0.025	0.03
2	Số lượt sửa đá thô (lượt)	n_r	1	2	3	4
3	Chiều sâu sửa đá tinh (mm)	a_f	0.005	0.01	-	-
4	Số lượt sửa đá tinh (lượt)	n_f	0	1	2	3
5	Sửa đá không ăn dao (lượt)	n_{non}	0	1	2	3

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. Năng suất gia công được xác định bằng khối lượng bóc tách chia cho tuổi bền của đá mài. Tuổi bền của đá mài xác định thông qua thiết bị đo lực cắt, là thời gian từ khi bắt đầu mài đến khi lực cắt pháp tuyến tăng đột ngột.

Bảng 8. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa theo T_r , N_r , T_f , N_f và N_{non}

STT	a_r	N_r	N_f	N_{non}	T_f
1	0.015	1	0	0	0.005
2	0.015	2	1	1	0.005
3	0.015	3	2	2	0.010
4	0.015	4	3	3	0.010
5	0.020	1	1	2	0.010
6	0.020	2	0	3	0.010
7	0.020	3	3	0	0.005
8	0.020	4	2	1	0.005
9	0.025	1	2	3	0.005
10	0.025	2	3	2	0.005
11	0.025	3	0	1	0.010
12	0.025	4	1	0	0.010
13	0.030	1	3	1	0.010
14	0.030	2	2	0	0.010
15	0.030	3	1	3	0.005
16	0.030	4	0	2	0.005

Bảng 9. Kế hoạch thí nghiệm tối ưu hóa, kết quả đo, và tỷ số S/N của chỉ tiêu nhám bề mặt và năng suất gia công.

STT	Nhám bề mặt, Ra (μm)					Năng suất gia công, MMR (mm^3/ph)				
	TN 1	TN 2	TN 3	TB	S/N	TN 1	TN 2	TN 3	TB	S/N
1	0.642	0.735	0.645	0.674	3.409	344.81	369.28	317.65	50.68	343.91
2	0.573	0.653	0.545	0.590	4.552	338.30	322.28	367.17	50.66	342.58
3	0.698	0.554	0.53	0.594	4.457	326.14	344.12	320.63	50.37	330.29
4	0.631	0.692	0.618	0.647	3.771	369.47	492.35	295.71	51.18	385.85
5	0.476	0.409	0.423	0.436	7.191	521.91	526.36	480.73	54.12	509.67
6	0.469	0.476	0.495	0.480	6.373	309.59	326.98	303.27	49.91	313.28
7	0.647	0.607	0.598	0.617	4.184	200.52	193.46	210.21	46.07	201.40
8	0.708	0.81	0.837	0.785	2.081	705.19	722.75	691.46	56.98	706.47
9	0.44	0.465	0.451	0.452	6.895	337.50	337.50	341.05	50.60	338.68
10	0.813	0.819	0.805	0.812	1.805	391.06	401.93	382.26	51.85	391.75

11	1.276	1.122	1.25	1.216	-1.712	232.50	253.25	229.35	47.52	238.37
12	0.862	0.882	0.88	0.875	1.163	373.61	367.77	339.85	51.11	360.41
13	0.989	0.938	0.902	0.943	0.504	451.36	448.60	432.79	52.95	444.25
14	0.733	0.681	0.666	0.693	3.174	390.93	396.47	409.60	52.01	399.00
15	1.399	1.452	1.301	1.384	-2.832	339.28	332.06	337.17	50.53	336.17
16	0.762	0.8	0.759	0.774	2.226	677.40	641.25	679.94	56.46	666.20

3.2 Tối ưu hóa đa mục tiêu nhắm bề mặt và năng suất bóc tách

Thực hiện các bước thực hiện phân tích:

Step 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 nhắm bề mặt là “Nhỏ hơn thì tốt hơn”, tỉ số này xác định như sau [16]:

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (22)$$

Còn với năng suất bóc tách vật liệu mong muốn là “Lớn hơn thì tốt hơn”, tỉ số này là:

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (23)$$

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

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

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

$$Z_{ij} = \frac{SN_{ij} - \min(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, k)}{\max(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, n) - \min(SN_{ij}, j=1, 2, \dots, n)} \quad (24)$$

Trong đó: j là số thí nghiệm ($j=16$).

Tỉ số SN và giá trị chuẩn hóa Z ứng với mỗi mục tiêu đầu ra được thể hiện trong Bảng 10.

Bảng 10. Tỷ số S/N, tỷ số chuẩn hóa.

TT	S/N		Zij		$\Delta_j(k)$	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
			Trị số tham chiếu			
			1.000	1.000		
1	3.409	15.116	0.623	0.423	0.377	0.577
2	4.552	15.095	0.737	0.421	0.263	0.579
3	4.457	14.803	0.727	0.394	0.273	0.606
4	3.771	15.612	0.659	0.468	0.341	0.532
5	7.191	18.561	1.000	0.738	0.000	0.262
6	6.373	14.343	0.918	0.352	0.082	0.648
7	4.184	10.503	0.700	0.000	0.300	1.000
8	2.081	21.415	0.490	1.000	0.510	0.000
9	6.895	15.033	0.970	0.415	0.030	0.585
10	1.805	16.292	0.463	0.530	0.537	0.470
11	-1.712	11.957	0.112	0.133	0.888	0.867
12	1.163	15.550	0.399	0.463	0.601	0.537
13	0.504	17.385	0.333	0.631	0.667	0.369
14	3.174	16.451	0.599	0.545	0.401	0.455
15	-2.832	14.967	0.000	0.409	1.000	0.591
16	2.226	20.900	0.505	0.953	0.495	0.047

Bước 3: Tính toán hệ số tương tác trong quan hệ mờ đối với các tỷ số SN chuẩn hóa:

$$\gamma(k) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_j(k) + \zeta \Delta_{max}} \quad (25)$$

Trong đó:

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

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

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

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

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

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

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

$$\bar{\gamma}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m \gamma_{ij} \quad (26)$$

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

Bảng 11. Trị số quan hệ xám và quan hệ xám trung bình

TT	Grey relational co-efficient		$\bar{\gamma}$
	γ_i		
	Ra	MRR	
1	0.570	0.464	0.517
2	0.655	0.463	0.559
3	0.647	0.452	0.550
4	0.594	0.485	0.539
5	1.000	0.657	0.828
6	0.860	0.435	0.648
7	0.625	0.333	0.479
8	0.495	1.000	0.748
9	0.944	0.461	0.703
10	0.482	0.516	0.499
11	0.360	0.366	0.363
12	0.454	0.482	0.468
13	0.428	0.575	0.502
14	0.555	0.524	0.539
15	0.333	0.458	0.396
16	0.502	0.914	0.708

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 11 cho thấy trị số quan hệ xám cho mỗi thí nghiệm và trị số quan hệ xám tương tác. Theo đó, thí nghiệm số 5 sửa đá thô 1 lần với chiều sâu 0,02 mm, sửa đá tinh 1 lần với chiều sâu 0,01 mm và sửa đá không ăn dao 2 lần cùng lượng chạy dao 1,2 m/min, có trị số quan hệ xám tương tác lớn nhất (0,828). Điều đó chỉ ra rằng thí nghiệm số 5 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 12 và Hình 3.1 (sử dụng phần mềm Minitab 19 để phân tích).

Bảng 12. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hệ số quan hệ mờ (Main effects on grey grades).

Response Table for Means

Level	Tr	Nr	Nf	Nnon	Tf
1	0.5413	0.6374	0.5589	0.5009	0.5760
2	0.6756	0.5612	0.5628	0.5429	0.5546
3	0.5081	0.4469	0.6347	0.6462	
4	0.5362	0.6157	0.5048	0.5714	
Delta	0.1675	0.1905	0.1299	0.1453	0.0214
Rank	2	1	4	3	5
	$\bar{y} = 0,565$				

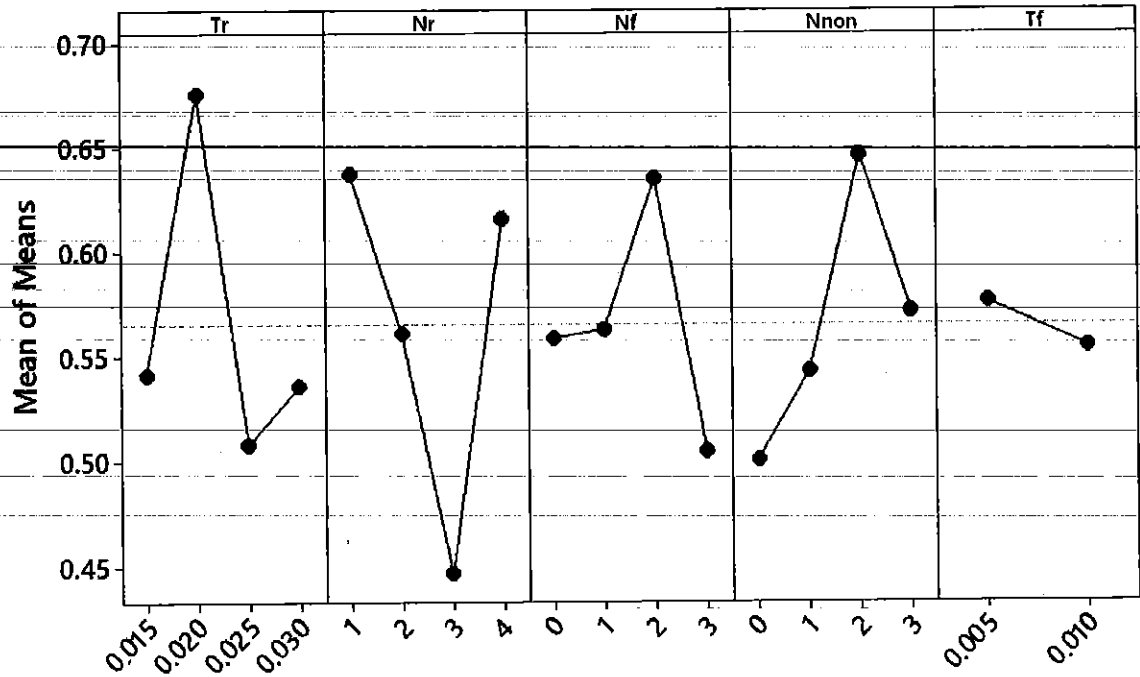
Trị số quan hệ xám của mỗi yếu tố ở mức nào là lớn nhất là mức tối ưu của yếu tố đó. Do đó, theo Bảng 12 và Hình 25, bộ thông số tối ưu của quá trình sửa đá khi mài phẳng đáp ứng nhám bề mặt nhỏ hơn thì tốt hơn trong khi năng suất gia công lớn hơn thì tốt hơn là: $T_r2/N_r1/N_f3/N_{non}3/T_f1$ tương ứng với sửa đá tinh 1 lần với chiều sâu 0,02 mm, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu 0,005mm, sửa đá không ăn dao 2 lần cùng lượng chạy dao sửa đá $S = 1.2$ m/min.

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. Tỉ 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.

Main Effects Plot for Means
Data Means



Hình 25. Đồ thị các ảnh hưởng chính của các thông số (Factor effects on grade values).

Kết quả phân tích hồi quy phương sai được thể hiện trong Bảng 13.

Bảng 13. Phân tích hồi quy phương sai trị số quan hệ xám trung bình

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
Tr	3	0.067465	0.067465	0.022488	3.81	0.215	27.28
Nr	3	0.087126	0.087126	0.029042	4.91	0.174	35.23
Nf	3	0.034111	0.034111	0.011370	1.92	0.360	13.79
Nnon	3	0.044924	0.044924	0.014975	2.53	0.296	18.17
Tf	1	0.001831	0.001831	0.001831	0.31	0.634	0.74
Residual Error	2	0.011819	0.011819	0.005910			4.78
Total	15	0.247276					100.00

Kết quả ANOVA trong Bảng 13 cho thấy: số lần sửa đá thô Nr có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (35.23%), tiếp theo là chiều sâu sửa đá thô Tr (27,28%), số lần sửa không ăn dao Nnon (18,17%), số lần sửa đá tinh Nf (13.79%), cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh Tf (0.74%).

Bước 8: Tính toán tối ưu hóa và kiểm nghiệm

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

$$\bar{y}_{op} = \eta_m + \sum_{i=1}^5 (\bar{\eta} - \eta_m) = \bar{T}_{r2} + \bar{N}_{r1} + \bar{N}_{f3} + \bar{N}_{non3} + \bar{T}_{f1} - 4 * \bar{y} \quad (3.5)$$

Trong đó: \bar{y} là trị số quan hệ xám trung bình $\bar{y} = 0.565$, các trị số \bar{T}_{r2} , \bar{N}_{r1} , \bar{N}_{f3} , \bar{N}_{non3} , \bar{T}_{f1} 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, $\bar{y}_{op} = 0.91$.

Khoảng tin cậy CI được tính như sau:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0,17$$

Trong đó: $F_{\alpha}(1, f_e) = 8,5263$ là hệ số tra bảng với mức ý nghĩa $\alpha\% = 90\%$, $f_e = 2$ là bậc tự do của lỗi, $V_e = 0,00591$ 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.

$$N_e = \frac{\text{Tổng số thí nghiệm}}{1 + \text{tổng bậc tự do của các yếu tố đưa vào tính toán tối ưu}} = \frac{48}{1 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1} = 4,364$$

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 $t_{rd1}/n_{rd2}/n_{non4}/n_{fd1}/t_{fd2}/S1$ như sau:

$$(0,91 - 0,17) \leq \bar{y}_{op} \leq (0,91 + 0,17)$$

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 MRR được xác định theo công thức sau:

$$(Ra, MRR)_{op} = \bar{T}_{r2} + \bar{N}_{r1} + \bar{N}_{f3} + \bar{N}_{non3} + \bar{T}_{f1} - 4 * \bar{T}$$

Trong đó:

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

\bar{T}_{r2} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi chiều sâu sửa đá thô ở mức 2

\bar{N}_{r1} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần sửa đá thô ở mức 1

\bar{N}_{f3} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần sửa đá tinh ở mức 3

\bar{N}_{non3} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi số lần sửa đá không ăn dao ở mức 3

\bar{T}_{f1} là trị số trung bình nhám bề mặt hoặc năng suất bóc tách vật liệu khi chiều sâu sửa đá tinh ở mức 1

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

Theo đó:

$$(Ra)_{op} = 0.236 \mu m$$

$$(MRR)_{op} = 9,985 \text{ mm}^3 / s$$

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 3 lần. Bộ thông số thực nghiệm là: sửa đá tinh 1 lần với chiều sâu 0,02 mm, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu 0,005mm, sửa đá không ăn dao 2 lần cùng lượng chạy dao sửa đá $S = 1.2 \text{ m/min}$. Kết quả thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán tối ưu được thể hiện trong Bảng 14.

Bảng 14. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm.

Đặc trưng gia công	Thông số tối ưu		
	Tính toán	Thực nghiệm	% sai lệch
	$T_r2/N_r1/N_f3/N_{non}3/T_f1$	$T_r2/N_r1/N_f3/N_{non}3/T_f1$	
Nhám bề mặt Ra (μm)	0,236	0,259	9,32
Năng suất bóc tách vật liệu MRR (mm^3/s)	9,985	10.02	0,35
Giá trị quan hệ xám	0,91		

Kết quả thực nghiệm cho thấy, sai số lớn nhất so với tính toán là 9,32% 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 năng suất gia công.

3.3. Kết luận chương 3:

Các thí nghiệm mài được tiến hành trên một máy mài phẳng trong cùng một ca máy trên vật liệu thép Hardox500 sử dụng đá mài Hải Dương. Phân tích quan hệ xám dựa trên mảng trực giao L16 của Taguchi để tối ưu hóa các thông số của quá trình sửa đá, các kết luận rút ra như sau:

- 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 Hardox500 bằng đá mài Hải Dương.

- Từ phân tích này, số lần sửa đá thô N_r có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (35.23%), tiếp theo là chiều sâu sửa đá thô T_r (27,28%), số lần sửa không ăn dao N_{non} (18,17%), số lần sửa đá tinh N_f (13.79%), cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh T_f (0.74%).

- Chế độ sửa đá tối ưu khi mài phẳng thép Hardox500 qua tô 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: sửa đá tinh 1 lần với chiều sâu 0,02 mm, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu 0,005mm, sửa đá không ăn dao 2 lần cùng lượng chạy dao sửa đá $S = 1.2$ m/min.

- 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 Hardox500 bằng đá mài Hải Dương.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

Kết luận chung.

Đã ứng dụng phương pháp Taguchi để tối ưu hóa dự đoán đa mục tiêu khi mài tinh phẳng thép Hardox500 bằng đá mài Hải Dương, cụ thể:

- Số lần sửa đá thô N_r có ảnh hưởng mạnh nhất đến mục tiêu chung (35,23%), tiếp theo là chiều sâu sửa đá thô T_r (27,28%), số lần sửa không ăn dao N_{non} (18,17%), số lần sửa đá tinh N_f (13,79%), cuối cùng là chiều sâu sửa đá tinh T_f (0,74%).
- Chế độ sửa đá tối ưu khi mài phẳng thép Hardox500 qua tôi 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: sửa đá tinh 1 lần với chiều sâu 0,02 mm, sửa đá thô 2 lần với chiều sâu 0,005mm, sửa đá không ăn dao 2 lần cùng lượng chạy dao sửa đá $S = 1.2$ m/min.
- 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 Hardox500 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, dung sai độ phẳng 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. Tran, T.H., Giang, T.N., Ngo, N.V., Bui, T.D., Nguyen, T.T., Nguyen, T.Q.D., Pi, V.N., Tung, L.A., 2021. Optimizing Dressing Conditions for Minimum Flatness Tolerance when Grinding SKD11 Tool Steel. *MSF 1020*, 83–90. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1020.83>
2. Tran Thi Hong, Nguyen Van Cuong, Le Hong Ky, Nguyen Quoc Tuan, Banh Tien Long, Luu Anh Tung, Nguyen Thanh Tu, Vu Ngoc Pi, Multi-Criteria Optimization of Dressing Parameters for Surface Grinding 90CrSi Tool Steel Using Taguchi Method and Grey Relational Analysis. *Materials Science Forum*, Vol. 998, pp. 61–68.
3. 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*, Vol. 1020, pp 68-74.
4. Tran Thi Hong, Hoang Thi Tham, Bui Thanh Danh, Tran Ngoc Giang, Le Xuan Hung, Luu Anh Tung, Nguyen Manh Cuong, and Nguyen Thanh Tu, Machining Time Optimization in Surface Grinding, *Technology Reports of Kansai University*, Volume 62, Issue 08, September, 2020.
5. Tran Thi Hong, Ngo Ngoc Vu, Bui Thanh Danh, Tran Ngoc Giang, Le Xuan Hung, Nguyen Manh Cuong, Hoang Thi Tham, and Nguyen Thanh Tu, A Study on Optimization of Manufacturing Time when surface Grinding Carbon Steel, *Technology Reports of Kansai University*, Volume 62, Issue 09, October, 2020.
6. Thi Hong Tran, Anh Tung Luu, Quoc Tuan Nguyen, Hong Ky Le, Tien Dung Hoang, Thi Lien Vu, Xuan Hung Le, and Ngoc Pi Vu, “A Study on Calculation of Optimum Exchanged Grinding Wheel Diameter When Surface Grinding Stainless Steel.” *Materials Science Forum 977* (February 2020): 3–11.
7. Do Duc Trung, Nguyen Nhu Tung, Nguyen Hong Son, Le Hong Ky, Tran Thi Hong, Nguyen Van Cuong, and Vu Ngoc Pi, Calculation of Surface Hardness When Surface Grinding ASIS 1045 Steel, *Key Engineering Materials*, Vol. 853, pp 3-7.
8. S. J. Pande, S.N. Halder, G.K. Lal, *Evaluations of Griding wheel performance*, *Wear*, 58 (1980), p. 237-248.
9. 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.
10. 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.
 11. 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.
 12. 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.
 13. 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.
 14. 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.
 15. 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.

19. 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.
20. Rao, R.V., D.P. Rai, and J. Balic, *Surface grinding process optimization using Jaya algorithm*, in *Computational Intelligence in Data Mining—Volume 2*. 2016, Springer. p. 487-495.
21. Janardhan, M. and A.G. Krishna, *Multi-objective optimization of cutting parameters for surface roughness and metal removal rate in surface grinding using response surface methodology*. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2012. 3(1): p. 270.
22. Liu, Y., et al., Investigation of different grain shapes and dressing to predict surface roughness in grinding using kinematic simulations. *Precision Engineering*, 2013. 37(3): p. 758-764.
23. Aguiar, P.R., et al., *Monitoring the dressing operation in the grinding process*. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 2009. 5(1): p. 3-22.
24. 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.
25. E. J. Krabacher (1959), *Factors influencing the performance of grinding wheel*, *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 81, pp. 187-192.
26. Л.Н. Филимонов, *Стоикость шлифовальных кругов*, "Машиностроение Ленинград", 1978.
27. E. Brinksmeier, F. Werner (1992), *Monitoring of Grinding Wheel Wear*, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 41, Issue 1, Pages 373-376.
28. Bành Tiên Long, Trần Thế Lục, Trần Sỹ Túy (2013), *Nguyên lý gia công vật liệu*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
29. Fritz Klocke, *Manufacturing processes 2* (2009), *Grinding, honing, lapping*, Springer.
30. 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.
31. L.M. Kozuro, A.A. Panov, E.I. Remizovski, P.S. Tristosepdov (1981), *Handbook of Grinding* (in Russian), Publish Housing of High-education, Minsk.
32. S. Malkin (1989), *Grinding technology: Theory and Applications of Machining with abrasives*, Ellis Horwood Limited, Endland.

33. 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.
34. 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.
35. *Milton C. Shaw (1996), Principles of Abrasive Processing, Oxford University Press.*
36. Norton Catalog, Diamond tools, <http://www.nortonabrasives.com/> (truy cập 8/10/2015).
37. Winter Sain-Gobain (2015), Catalogue No.5 Dressing Tools: WINTER diamond tools for dressing grinding wheels, Full-Line Industrial Market.
38. Наерман М.С., Справчник молодого шлифовщика, М. Высшая школа, 985. (<https://docviewer.yandex.com/?url=ya-disk-public%3A%2F%2FqfdddXKLUxtLbsaPJAzZ%2FzKOUDPDpEo%2Fy%2BDzEox3FP8%3D&name=Spravochnik-molodogo-shlifovschika-1985.djvu&c=5710bcfe7d46&page=55.>)
39. 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.
40. 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.
41. 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.
42. 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.

ICERA 2023 - the 6th International Conference on Engineering Research and Applications
1-2 December 2023, Thai Nguyen, Vietnam

Acceptance Letter

International Conference on Engineering Research and Applications
(ICERA 2023)



tu
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU



Springer

Paper ID: 7073

Paper Title: A Study on Multi-Objective Optimization of Dressing Process in Surface Grinding Hardox 500

Thanh Dinh Van, Ky Le Hong, Dang Nguyen, Danh Tran Huu, Anh Nguyen Duc, Hung Le Xuan, Pi Vu Ngoc and Tung Luu Anh,

With heartiest congratulations, we are pleased to inform you that based on the recommendations of the reviewers and the Technical Program Committees, your paper identified above has been accepted for publication and oral presentation in the 6th International Conference on Engineering Research and Applications - ICERA 2023.

ICERA 2023 conference received more than 250 submissions from 18 countries and regions so far, reviewed by international experts; the acceptance ratio is controlled below 40%. Your paper will be published in the Conference Proceedings in the series "Lecture Notes in Networks and Systems" by Springer, **indexed in Scopus, Q4** after registration.

Herewith, the conference committee sincerely invites you to come to present your paper at ICERA 2023 to be held at Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam, 1-2 December 2023.

For more information of the conference, please check the ICERA 2023 website at:
<https://icera2023.tnut.edu.vn/>

Your sincerely,
ICERA 2023 Organizing Committees

Please Finish the Following Six Steps to Register Your Paper

1. Revise your paper according to the Review Comments carefully (attached).

2. Format your paper according to the Template.

(see <http://icera2023.tnut.edu.vn/submit-papers/>)

3. Download, complete and title the Registration Form as *ICERA2023_PaperID_registrationforcarefully Revise your paper according to the Review Comments m (attached)*.

4. Finish the payment of the Registration fee, scan the payment proof, and title as *ICERA2023_PaperID_paymentproof*.

(see <http://icera2023.tnut.edu.vn/registration/>)

Note that: The authors must pay the transfer fee for your paper/papers (if any).

5. Finish Copyright Form (attached).

Steps: ① Fill in the blank as requested; ② Print the FORM; ③ Corresponding's handwriting signature; ④ Scanning the copyright form as (.pdf) file; ⑤ Title as *ICERA2023_PaperID_copyright*

6. Send your final papers (.doc (.docx) Springer format), filled registration form (.doc format), signed copyright and the scanned payment proof to icera@tnut.edu.vn (**Before August 21, 2023**)

If the above requirements are met by the set deadlines, your paper will be published in the Conference Proceedings by Springer, indexed in Scopus, Q4. The Conference Program will be available to download from the official website <http://icera2023.tnut.edu.vn> around the middle of November.

A Study on Multi-Objective Optimization of Dressing Process in Surface Grinding Hardox 500

Dinh Van Thanh¹, Le Hong Ky², Nguyen Dang², Tran Huu Danh², Nguyen Duc Anh³,
Le Xuan Hung⁴, Vu Ngoc Pi⁴, Luu Anh Tung^{4,*}

¹East Asia University of Technology, Vietnam

²Vinh Long University of Technology Education, Vietnam

³Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁴Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam
luuanhtung@tnut.edu.vn

Abstract. The findings of a multi-objective optimization research on the dressing process in surface grinding Hardox 500 are presented in this work. Two single objectives were chosen for this work: minimal surface roughness (SR) and maximal material removal rate (MRR). In addition, five dressing factors were investigated: rough dressing depth T_r , rough dressing times N_r , fine dressing depth T_f , fine dressing times N_f , and non-feeding dressing N_{non} . The impact of these factors on the grinding process's goal was assessed. Furthermore, an optimal dressing mode was suggested to increase MRR while minimizing SR. It was also stated that the proposed model is usable.

Keywords: Surface grinding, Optimal dressing mode, Multi-Objective Optimization, Surface roughness, Material removal rate, Hardox 500.

1 Introduction

Dressing the wheel means removing the current coating of abrasive from the work surface, exposing a new and sharp surface. It aids in the improvement of grinding accuracy and the reduction of machining time.

There has been a lot of research done on wheel dressing thus far. Various types of grinding have been studied, including external grinding, surface grinding, and internal grinding. Many research on optimal dressing mode have been conducted. [1] investigated the effect of dressing mode on surface texture when external grinding SKD11. The impact of dressing factors such as coarse dressing depth, number of coarse dressing, fine dressing depth, number of fine dressing, non-feeding dressing, and dressing feed speed on surface texture was investigated in this study. [2] shows the effect of dressing conditions on wheel lifetime when external grinding SKD11 steel. When external grinding SKD11, optimal dressing settings were discovered to provide maximum wheel lifetime [2], maximal MRR [3], or minimal roundness tolerance [4]. For internal grinding, the effect of dressing parameters on SR [5], MRR, and WL were specified when machining SKD11. [6] investigated the impacts of dressing factors

when surface grinding SKD11 steel with a HaiDuong grinding wheel to achieve the smallest possible flatness tolerance. [7] identified the optimal dressing regimen for reducing normal cutting force. The multi-objective optimization problem of wheel dressing process has been solved for external grinding, surface grinding [8, 9], and internal grinding [10, 11]. These studies were carried out with many single objective functions: the smallest flatness tolerance and the largest MMR [8], the smallest SR and the maximum MRR [10, 11], the smallest SR and the maximum WL [9, 12]. When machining various materials such as SKD11 [1, 5, 8, 11], 90CrSi [9, 10, 13, 14], bearing steel [15],..., wheel dressing experiments have been performed.

As mentioned before, despite multiple research on refining the dressing process, a multi-objective optimization study to discover the ideal dressing mode for surface grinding Hardox 500 is still unavailable. This research investigates the effect of dressing factors on SR and MRR in the Hardox 500 surface grinding process. Additionally, best dressing mode was suggested to enhance MRR and reduce SR.

2 Experimental work

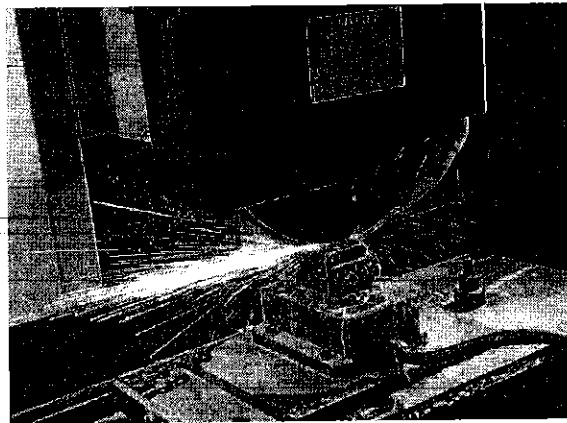


Fig. 1. Experimental setup

An experiment was conducted to explore the influence of dressing factors on SR and MRR when processing Hardox 500. This experiment was designed using the Minitab R19 program using an L16 ($4^4 \times 2^1$) design and 16 experimental runs. Table 1 shows the input factors and their levels. The experimental setup is illustrated in Figure 1. Surface machine: PSG-CL3060AH (Taiwan); grinding wheel: Cn60MV1G V1 350x40x127 35 (m/s); dressing tool: 3908-0088C type 2 (Russian); and piezoelectric dynamometer: Kistler 9257BA (Germany) comprise the configuration. The experiment was conducted as follows: Each experiment was carried out three times. The duration between beginning to grind after dressing and using the normal Py spike determines the wheel life. SJ201 surface roughness meter was used to calculate SR.

MRR is computed by dividing the volume of material removed by WL. The experimental plan and outcomes (SR and MRR) are shown in Table 2.

Table 1. Input factors and their levels

No.	Parameters	Symbol	Level			
			1	2	3	4
1	Rough dressing depth (mm)	T_r	0.015	0.02	0.025	0.03
2	Rough dressing times	N_r	1	2	3	4
3	Fine dressing depth (mm)	T_f	0.005	0.01	-	-
4	Fine dressing times	N_f	0	1	2	3
5	Non-feeding dressing	N_{non}	0	1	2	3

Table 2. Experimental plan and output results

No.	T_r	N_r	N_f	N_{non}	T_f	SR (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	0.642	0.735	0.645	5.747	6.155	5.294
2	0.015	2	1	1	0.005	0.573	0.653	0.545	5.638	5.371	6.119
3	0.015	3	2	2	0.010	0.698	0.554	0.53	5.436	5.735	5.344
4	0.015	4	3	3	0.010	0.631	0.692	0.618	6.158	8.206	4.929
5	0.020	1	1	2	0.010	0.476	0.409	0.423	8.698	8.773	8.012
6	0.020	2	0	3	0.010	0.469	0.476	0.495	5.160	5.450	5.055
7	0.020	3	3	0	0.005	0.647	0.607	0.598	3.342	3.224	3.503
8	0.020	4	2	1	0.005	0.708	0.81	0.837	11.753	12.046	11.524
9	0.025	1	2	3	0.005	0.44	0.465	0.451	5.625	5.625	5.684
10	0.025	2	3	2	0.005	0.813	0.819	0.805	6.518	6.699	6.371
11	0.025	3	0	1	0.010	1.276	1.122	1.25	3.875	4.221	3.823
12	0.025	4	1	0	0.010	0.862	0.882	0.88	6.227	6.130	5.664
13	0.030	1	3	1	0.010	0.989	0.938	0.902	7.523	7.477	7.213
14	0.030	2	2	0	0.010	0.733	0.681	0.666	6.515	6.608	6.827
15	0.030	3	1	3	0.005	1.399	1.452	1.301	5.655	5.534	5.620
16	0.030	4	0	2	0.005	0.762	0.8	0.759	11.290	10.688	11.332

3 Multi-Objective optimization

The following steps can be used to solve the multi-objective optimization issue for S/N ratio using Gray Relational Analysis (GRA):

Step 1: Calculate the S/N ratio:

- Because "smaller is better" is the intended result for surface texture, the ratio is determined as follows:

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

- With MRR, the desire is "Bigger is better", the ratio is:

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

Where y_i is the observed data and n is the number of trials.

Step 2: A high S/N ratio produces consistent findings that are more resistant to noise. To prevent the effect of using different units, this ratio is normalized to Z_{ij} ($0 \leq Z_{ij} \leq 1$) using the following formula:

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

Where j denotes the number of trials ($j=16$).

Table 3 displays the S/N ratio and normalized value Z for each output objective.

Table 3. Values of S/N, Z_{ij} and $\Delta_j(k)$

TT	S/N		Z_{ij}		$\Delta_j(k)$	
	Ra	MRR	Ra	MRR	Ra	MRR
			Reference values			
			1.000	1.000		
1	3.409	15.116	0.623	0.423	0.377	0.577
2	4.552	15.095	0.737	0.421	0.263	0.579
3	4.457	14.803	0.727	0.394	0.273	0.606
4	3.771	15.612	0.659	0.468	0.341	0.532
5	7.191	18.561	1.000	0.738	0.000	0.262
6	6.373	14.343	0.918	0.352	0.082	0.648
7	4.184	10.503	0.700	0.000	0.300	1.000
8	2.081	21.415	0.490	1.000	0.510	0.000
9	6.895	15.033	0.970	0.415	0.030	0.585
10	1.805	16.292	0.463	0.530	0.537	0.470
11	-1.712	11.957	0.112	0.133	0.888	0.867
12	1.163	15.550	0.399	0.463	0.601	0.537
13	0.504	17.385	0.333	0.631	0.667	0.369
14	3.174	16.451	0.599	0.545	0.401	0.455
15	-2.832	14.967	0.000	0.409	1.000	0.591
16	2.226	20.900	0.505	0.953	0.495	0.047

Step 3: Calculate the interaction coefficient in the fuzzy relationship for the normalized SN ratios:

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

Where, $j=1, 2, \dots, n$; $k=1, 2, \dots, m$, n is the number of experiments, k is the number of output targets; Δ_{0j} is the deviation sequence; $\Delta_{0j} = \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ is the absolute value of the difference between $Z_0(k)$ (reference value) and $Z_j(k)$ (Z value of the j^{th} experiment of the k^{th} objective). $\Delta_{\min} = \min_{j \in I} \min_{v \in k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ is the minimum value of Δ_{0j} ; $\Delta_{\max} = \max_{j \in I} \max_{v \in k} \|Z_0(k) - Z_j(k)\|$ is the maximum value of Δ_{0j} ; ζ is the discriminant coefficient, defined in the range $0 \leq \zeta \leq 1$; in this work, $\zeta=0.5$.

Step 4: Determine the degree of gray relationship according to the formula:

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

This is the average value of the gray relation interactions calculated in step 3. k is the number of targets to be optimized. Table 4 displays the gray relationship values associated with the objectives as well as the average gray relation values.

Table 4. Grey relational co-efficient and grey grade values

TT	Grey relational co-efficient γ_i		$\bar{\gamma}$
	Ra	MRR	
1	0.570	0.464	0.517
2	0.655	0.463	0.559
3	0.647	0.452	0.550
4	0.594	0.485	0.539
5	1.000	0.657	0.828
6	0.860	0.435	0.648
7	0.625	0.333	0.479
8	0.495	1.000	0.748
9	0.944	0.461	0.703
10	0.482	0.516	0.499
11	0.360	0.366	0.363
12	0.454	0.482	0.468
13	0.428	0.575	0.502
14	0.555	0.524	0.539
15	0.333	0.458	0.396
16	0.502	0.914	0.708

Step 5: Determine the optimal level of dressing parameters:

A greater gray relation value indicates a higher level of product quality. As a result, the impact and optimality of each dressing parameter can be estimated based on the degree of gray connection. Table 5 displays the gray relation values and interactive gray relation values for each experiment. As a result, experiment 5 has the highest interaction gray relation value (0.828), as it rough dressing one time with a depth of 0.02 (mm), fine dressing one time with a depth of 0.01 (mm), and non-feeding dressing two times with a feed rate of 1.2 (m/min). It implies that among the 16 trials, experiment 5 has a matching SN ratio that is close to the normalized SN ratio and has many desirable qualities. However, this is not the best combination of factors. Taguchi's method requires determining the average gray relation value for each factor at various levels. Table 5 and Figure 2 establish the average value of the gray association at each factor level (analysis is performed with Minitab 19 software).

Table 5. Response table for means

Response Table for Means

Level	Tr	Nr	Nf	Nnon	Tf
1	0.5413	0.6374	0.5589	0.5009	0.5760
2	0.6756	0.5612	0.5628	0.5429	0.5546
3	0.5081	0.4469	0.6347	0.6462	
4	0.5362	0.6157	0.5048	0.5714	
Delta	0.1675	0.1905	0.1299	0.1453	0.0214
Rank	2	1	4	3	5
$\bar{y} = 0.565$					

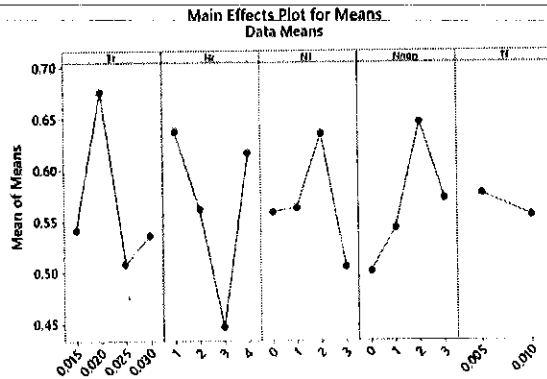


Fig. 2. Main effects plot for means

The gray relation value of each factor at its maximum level will be its optimal level. As a result of Table 6 and Figure 3.1, the ideal dressing mode for lower SR while increasing MRR is $T_{r2}/N_{r1}/N_{f3}/N_{non3}/T_{f1}$. Thus, the best dressing variables are fine dressing once time at a depth of 0.02 mm, rough dressing twice at a depth of 0.005 mm, and non-feeding dressing twice at a feed rate of $S = 1.2$ (m/min).

Step 6: Perform ANOVA for identifying the significant factors: Regression analysis of variance is the application of statistical methods to determine the effect of each factor on the goal of the process. The contribution ratio calculated using ANOVA will compensate for the Taguchi method's failure to examine the effect of the parameters on the overall process. Table 7 displays the findings of the regression analysis of variance.

Table 6. Results of ANOVA on grey grade

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	C%
T _r	3	0.067465	0.067465	0.022488	3.81	0.215	27.28
N _r	3	0.087126	0.087126	0.029042	4.91	0.174	35.23
N _f	3	0.034111	0.034111	0.011370	1.92	0.360	13.79
N _{non}	3	0.044924	0.044924	0.014975	2.53	0.296	18.17
T _f	1	0.001831	0.001831	0.001831	0.31	0.634	0.74
Residual Error	2	0.011819	0.011819	0.005910			4.78
Total	15	0.247276					100.00

ANOVA results (table 6) show that the number of times rough dressing N_r has the strongest effect on the overall goal (35.23%); followed by rough dressing depth T_r (27.28%), number of times non-feeding dressing N_{non} (18.17%), number of times fine dressing N_f (13.79%), finally fine dressing depth T_f (0.74%).

Step 8: Estimate and test the optimization results

The ideal fuzzy relationship value is obtained as follows:

$$\bar{y}_{op} = \eta_m + \sum_{i=1}^5 (\bar{\eta}_i - \eta_m) = \bar{T}_{r2} + \bar{N}_{r1} + \bar{N}_{f3} + \bar{N}_{non3} + \bar{T}_{f1} - 4 * \bar{y} \quad (6)$$

In which: \bar{y} is the average gray relation value. $\bar{y} = 0.565$; the values T_{r2}, N_{r1}, N_{f3}, N_{non3}, T_{f1} are the gray relation values of the parameters corresponding to the optimal level taken from Table 6. Accordingly, $\bar{y}_{op} = 0.91$. The CI confidence interval is calculated as follows:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0.17 \quad (7)$$

Where $f_e = 2$ is the degrees of freedom of error, $V_e = 0.00591$ is the mean error of error; $F_{\alpha}(1, f_e) = 8.5263$ is the coefficient of table lookup with 90% significance level; N_e is the effective number of iterations, and R is the number of experiment repeats.

$$N_e = \frac{\text{Total number of experiments}}{1 + \text{Averaging the degrees of freedom of all parameters}} = \frac{48}{1 + 3 + 3 + 3 + 1} = 4.364 \quad (8)$$

Substituting numbers gets:

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(1, f_e) \cdot V_e \cdot \left(\frac{1}{N_e} + \frac{1}{R} \right)} = \pm 0.17 \quad (9)$$

Therefore, with the significance level $\alpha = 90\%$, the gray relation value is predicted with the reasonable level of the input parameters $T_{r2}1/N_{r1}2/N_{non}4/N_{fd}1/T_{fd}2/S1$ as follows:

$$(0.91 - 0.17) \leq \bar{y}_{op} \leq (0.91 + 0.17) \quad (10)$$

The optimal value of the outputs RS and MRR is obtained by the following formula, based on the optimal level of input parameters:

$$(Ra, MRR)_{op} = \bar{T}_{r2} + \bar{N}_{r1} + \bar{N}_{f3} + \bar{N}_{non3} + \bar{T}_{f1} - 4 * \bar{T} \quad (11)$$

Where, \bar{T}_{r2} is the average age of the grinding wheel for T_r at level 2; \bar{N}_{r1} is the grinding wheel's average age equivalent to N_r at level 1; \bar{N}_{f3} is the average age of the grinding wheel that corresponds to N_f at level 3; \bar{N}_{non3} is the grinding wheel's average age equivalent to N_{non} at level 2; \bar{T} is the average SR or MRR of the whole experiment. Accordingly, we have:

$$(Ra)_{op} = 0.236 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (12)$$

$$(MRR)_{op} = 9.985 \text{ (mm}^3\text{/s)} \quad (13)$$

To verify the aforementioned optimal set of parameters, an experiment was carried out using the following parameters with three iterations: $T_r = 0.05$ (mm), $N_r = 2$ (times), $N_f = 1$ (times), $T_r = 0.02$ (mm), $N_{non}=2$ and the same $S = 1.2$ (m/min). Table 7 shows the experimental results and their comparison with the optimal calculation results. According to this data, the highest difference between the experimental and calculated findings is 9.32% for SR. This means that the computational method can predict two features, SR and MRR, at the same time.

Table 7. Comparative results between calculation and experiment

Machining characteristics	Optimal values		% difference
	Calculation	Experiment	
	$T_{r2}/N_{r1}/N_{f3}/N_{non3}/T_{f1}$	$T_{r2}/N_{r1}/N_{f3}/N_{non3}/T_{f1}$	
SR (μm)	0.236	0.259	9.32
MRR ($\text{mm}^3\text{/s}$)	9.985	10.02	0.35

4 Conclusions

The results of a multi-objective optimization study on the dressing process in surface grinding Hardox 500 are provided in this work. In the study, two single objectives were selected for investigation: minimal SR and maximum MRR. Furthermore, the

following dressing parameters were investigated: rough dressing depth T_r , rough dressing times N_r , fine dressing depth T_f , fine dressing times N_f , and non-feeding dressing N_{non} . The impact of these variables on the goal of the grinding process was evaluated. It was noted that N_r has the greatest effect on the total aim (35.23%), followed by T_r (27.28%), N_{non} (18.17%), N_f (13.79%), and T_f (0.74%). Furthermore, to maximize MRR while decreasing SR, the following optimal dressing mode was proposed: $T_r = 0.05$ (mm), $N_r = 2$ (times), $N_f = 1$ (times), $T_f = 0.02$ (mm), $N_{non} = 2$ and the same $S = 1.2$ (m/min). The proposed model is additionally reported to be usable.

Acknowledgment

This work was supported by Thai Nguyen University of Technology.

References

1. Giang, T.N., et al., Studying the influence of dressing parameters on the surface roughness when conducting the external grinding of SKD11 steel. *Solid State Phenomena*, 2021. 324: p. 45-51.
2. Le, H.A., et al. Impacts of dressing conditions on wheel lifetime when external grinding of SKD11 steel. in *International Conference on Engineering Research and Applications*. 2021. Springer.
3. Tran, T.H., et al. Effect of Dressing Parameters on Material Removal Rate when Surface Grinding SKD11 Tool Steel. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
4. Nguyen, T.T., et al. Influence of dressing parameters on roundness tolerance in cylindrical external grinding SKD11 tool steel. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
5. Hung, L.X., et al., Determining the optimum set of dressing parameters satisfying minimum surface roughness when conducting the internal grinding of hardened SKD11 steel. *Solid State Phenomena*, 2021. 324: p. 58-65.
6. Tran, T.H., et al. Optimizing dressing conditions for minimum flatness tolerance when grinding SKD11 tool steel. in *Materials Science Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
7. Hong, T.T., et al. Optimization of dressing parameters in surface grinding SKD11 tool steel by using Taguchi method. in *Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2020*. 2021. Springer.
8. Hong, T.T., et al. Multi response optimization of dressing conditions for surface grinding SKD11 steel by HaiDuong grinding wheel using grey relational analysis in Taguchi method. in *Advances in Engineering Research and Application: Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2020*. 2021. Springer.
9. Hong, T.T., et al. Multi-criteria optimization of dressing parameters for surface grinding 90CrSi tool steel using taguchi method and grey relational analysis. in *Materials Science Forum*. 2020. Trans Tech Publ.
10. Hung, L.X., et al., Multi-objective optimization of dressing parameters of internal cylindrical grinding for 9CrSi Alloy steel using taguchi method and grey relational analysis. *Materials Today: Proceedings*, 2019. 18: p. 2257-2264.

11. Tuan, N.A., et al. Optimization of dressing parameters for minimum surface roughness and maximum material removal rate in internal grinding of SKD11 tool steel. in E3S Web of Conferences. 2021. EDP Sciences.
12. Danh, T.H., et al. Influence of Dressing Parameters on Surface Roughness and Wheel Life in Internal Grinding SKD11 Tool Steel. in International Conference on Engineering Research and Applications. 2022. Springer.
13. 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. 2019. IOP Publishing.
14. 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.
15. Qian, J., W. Li, and H. Ohmori, Cylindrical grinding of bearing steel with electrolytic-in-process dressing. Precision engineering, 2000, 24(2): p. 153-159.

THUYẾT MINH ĐỀ TÀI
KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG NĂM 2022

1. TÊN ĐỀ TÀI Tối ưu hóa đa mục tiêu khi mài phẳng thép HARDOX 500.		2. MÃ SỐ T2022 - B14		
3. LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU		4. LOẠI HÌNH NGHIÊN CỨU		
Khoa học Tự nhiên <input type="checkbox"/>	Khoa học Kỹ thuật và Công nghệ <input checked="" type="checkbox"/>	Cơ bản <input type="checkbox"/>	Ứng dụng <input type="checkbox"/>	
Khoa học Y, dược <input type="checkbox"/>	Khoa học Nông nghiệp <input type="checkbox"/>	Triển khai <input type="checkbox"/>		
Khoa học Xã hội <input type="checkbox"/>	Khoa học Nhân văn <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5. THỜI GIAN THỰC HIỆN DỰ KIẾN: 12 tháng				
Từ tháng ... năm ... đến tháng ... năm ...				
6. CHỦ NHIỆM ĐỀ TÀI				
Họ và tên: Lưu Anh Tùng		Học vị: Tiến sĩ		
Chức danh khoa học:		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:		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				
2				
3				
4				
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

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

9.1. Trong nước (*phân tích, đánh giá tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài ở Việt Nam, liệt kê danh mục các công trình nghiên cứu, tài liệu có liên quan đến đề tài được trích dẫn khi đánh giá tổng quan*)

Trong gia công công cơ khí, mài và mài phẳng được dùng rất phổ biến. Chúng thường dùng cho các nguyên công gia công tinh và bán tinh. Lý do vì mài và mài phẳng cho độ chính xác gia công cao và chất lượng bề mặt gia công tốt. Vì thế cho nên các nghiên cứu về mài cũng như về mài phẳng đã thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trong nước và quốc tế. Ở nước ta, các nghiên cứu về mài phẳng đã có một số như sau: Nghiên cứu về quá trình sửa đá khi mài phẳng [1, 2]; nghiên cứu xác định các thông số sửa đá tối ưu khi mài phẳng để nâng cao tuổi thọ của đá [3]; hay nghiên cứu tối ưu hóa nhằm đạt thời gian mài nhỏ nhất [4, 5]. Các nghiên cứu đã tiến hành khi mài thép 90CrSi [1-3], mài thép các bon [5] mài thép không gỉ [6], hay mài thép AISI 1045 [7].

4. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tran, T.H., Giang, T.N., Ngo, N.V., Bui, T.D., Nguyen, T.T., Nguyen, T.Q.D., Pi, V.N., Tung, L.A., 2021. Optimizing Dressing Conditions for Minimum Flatness Tolerance when Grinding SKD11 Tool Steel. MSF 1020, 83–90. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1020.83>
2. Tran Thi Hong, Nguyen Van Cuong, Le Hong Ky, Nguyen Quoc Tuan, Banh Tien Long, Luu Anh Tung, Nguyen Thanh Tu, Vu Ngoc Pi, Multi-Criteria Optimization of Dressing Parameters for Surface Grinding 90CrSi Tool Steel Using Taguchi Method and Grey Relational Analysis. Materials Science Forum, Vol. 998, pp. 61–68.
3. 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, Vol. 1020, pp 68-74.
4. Tran Thi Hong, Hoang Thi Tham, Bui Thanh Danh, Tran Ngoc Giang, Le Xuan Hung, Luu Anh Tung, Nguyen Manh Cuong, and Nguyen Thanh Tu, Machining Time Optimization in Surface Grinding, Technology Reports of Kansai University, Volume 62, Issue 08, September, 2020.
5. Tran Thi Hong, Ngo Ngoc Vu, Bui Thanh Danh, Tran Ngoc Giang, Le Xuan Hung, Nguyen Manh Cuong, Hoang Thi Tham, and Nguyen Thanh Tu, A Study on Optimization of Manufacturing Time when surface Grinding Carbon Steel, Technology Reports of Kansai University, Volume 62, Issue 09, October, 2020.
6. Thi Hong Tran, Anh Tung Luu, Quoc Tuan Nguyen, Hong Ky Le, Tien Dung Hoang, Thi Lien Vu, Xuan Hung Le, and Ngoc Pi Vu, "A Study on Calculation of Optimum Exchanged Grinding Wheel Diameter When Surface Grinding Stainless Steel." Materials Science Forum 977 (February 2020): 3–11.
7. Do Duc Trung, Nguyen Nhu Tung, Nguyen Hong Son, Le Hong Ky, Tran Thi Hong, Nguyen Van Cuong, and Vu Ngoc Pi, Calculation of Surface Hardness When Surface Grinding AISI 1045 Steel,

9.2. Ngoài nước (phân tích, đánh giá tình hình nghiên cứu thuộc lĩnh vực của đề tài trên thế giới, liệt kê danh mục các công trình nghiên cứu, tài liệu có liên quan đến đề tài được trích dẫn khi đánh giá tổng quan)

Các nhà khoa học quốc tế đã nghiên cứu về cơ sở lý thuyết của quá trình mài và mài phẳng đã được giới thiệu trong [8] và [9]. Nghiên cứu về sửa đá mài đã có khá nhiều công bố. Các phương pháp sửa đá như sửa đá bằng mũi sửa đá kim cương một hạt [10], sửa đá bằng đĩa sửa đá kim cương [11], sửa đá bằng laser [12] hay sửa đá bằng phương pháp điện hóa [13]. Các nhà nghiên cứu còn tiến hành mô phỏng topography của đá [14], đánh giá chất lượng bề mặt gia công sau khi sửa [15, 16], sửa đá để mài các vật liệu khác nhau như thép F-5229 [17], gốm [18] và các bít vonfram [19]... Tối ưu hóa quá trình mài phẳng đã được nêu trong [20] và [21]. Bên cạnh đó cũng đã có các nghiên cứu về quá trình sửa đá khi mài phẳng như trong [22] và [23].

8. S. J. Pande, S.N. Halder, G.K. Lal, *Evaluations of Grinding wheel performance*, *Wear*, 58 (1980), p. 237-248.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

13. CÁCH TIẾP CẬN, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

13.1. Cách tiếp cận

- Xác định hàm mục tiêu; sử dụng phương pháp thực nghiệm để xác định các thông số đầu vào tối ưu theo hàm đa mục tiêu khi mài phẳng thép HARDOX 500.

13.2. Phương pháp nghiên cứu

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 của đề tài, ghi rõ nội dung là: báo cáo các bài báo bằng tiếng Anh (nếu sản phẩm là bài báo quốc tế) tại hội thảo đơn vị*)

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	Báo cáo	2/2022-2/2022	Lưu Anh Tùng
2	Nghiên cứu tổng quan về mài phẳng;	Báo cáo	4/2022-5/2022	Lưu Anh Tùng
3	- Xác định hàm mục tiêu cho bài toán tối ưu.	Báo cáo	5/2022-6/2022	Lưu Anh Tùng
4	- Thiết kế thí nghiệm	Báo cáo	6/2022-7/2022	Lưu Anh Tùng
5	- Tiến hành thí nghiệm	Báo cáo	7/2022-9/2022	Lưu Anh Tùng
6	- Phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm	Báo cáo	9/2022-10/2022	Lưu Anh Tùng
7	- Viết báo 01 bài ISI/Scopus Q4	Bài báo	10/2022-12/2022	Lưu Anh Tùng
8	- Báo cáo kết quả tại hội thảo đơn vị	Báo cáo	12/2022-2/2023	Lưu Anh Tùng
9	- Viết báo cáo tổng kết và nghiệm thu đề tài	Báo cáo	2/2023-3/2023	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	01	Trong danh mục ISI/Scopus Q4
...			
II	Sản phẩm đào tạo (cử nhân, thạc sĩ, tiến sĩ,...)		
2.1			
..			
III	Sản phẩm ứng dụng		
3.1			
...			

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

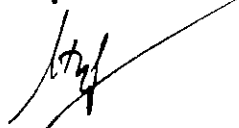
18. KINH PHÍ THỰC HIỆN ĐỀ TÀI

Tổng kinh phí: Không

Bằng chữ:

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

Chủ nhiệm đề tài



Lưu Anh Tùng

Ngày 15 tháng 4 năm 2022

PHÒNG KHCN&HTQT



HỘI ĐỒNG KHOA CƠ KHÍ



KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi