

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

BÁO CÁO TỔNG KẾT

ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP TRƯỜNG

TÊN ĐỀ TÀI

Tối ưu hóa quá trình tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQL) với dung dịch có trộn bột nano MoS₂

Mã số: T2022-B13

Chủ nhiệm đề tài: TS. Ngô Minh Tuấn

Thái Nguyên, tháng 4/2023

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

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

TÊN ĐỀ TÀI

Tối ưu hóa quá trình tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQL) với dung dịch có trộn bột nano MoS₂

Mã số: T2022 - B13

Xác nhận của tổ chức chủ trì

KT. HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

Chủ nhiệm đề tài

(ký, họ tên)

TS. Ngô Minh Tuấn

Thái Nguyên, tháng 4/ 2023

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI

1. ThS Chu Mạnh Cường – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ.....	IV
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	VI
KÝ HIỆU - VIẾT TẮT.....	VII
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU.....	1
PHẦN MỞ ĐẦU.....	6
1. Tính cấp thiết.....	6
2. Mục đích nghiên cứu.....	9
4. Phương pháp nghiên cứu.....	10
5. Ý nghĩa khoa học, ý nghĩa thực tiễn.....	10
1.1 Công nghệ tiện cứng.....	11
1.2 Công nghệ bôi trơn làm mát trong quá trình cứng.....	13
1.3 Phương pháp MQL và MQCL sử dụng dung dịch nanofluid.....	18
1.4. Tổng quan về MQL sử dụng dung dịch Nanofluid và ứng dụng trong gia công vật liệu cứng.....	19
1.4.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài.....	19
1.4.2. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	23
1.5. Kết luận chương 1.....	24
CHƯƠNG 2. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÔNG NGHỆ MQL VÀ MQCL VỚI CÁC HẠT NANO KHÁC NHAU KHI TIỆN CỨNG THÉP 90CRSI.....	25
2.1 Đặt vấn đề.....	25
2.2 Hệ thống và thiết kế thí nghiệm.....	26
2.2.1. Hệ thống thí nghiệm.....	26
2.2.2 Thiết kế thí nghiệm.....	28
2.3. Phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới nhám bề mặt.....	31

2.4 Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ tới lực cắt tổng.....	40
2.4 Kết luận chương 2.....	45
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ HẠT NANO VÀ	
CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN NHÁM BỀ MẶT KHI TIỆN CỨNG THÉP 90CrSi SỬ	
DỤNG MoS₂ NF MQL.....	46
3.1 Phương pháp nghiên cứu.....	46
3.2. Hệ thống thí nghiệm.....	49
3.3. Phân tích ảnh hưởng của thông số công nghệ tới nhám bề mặt.....	50
3.4. Phân tích ảnh hưởng của thông số công nghệ tới các thành phần của lực cắt	
.....	57
PHẦN KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	63
A. KẾT LUẬN CHUNG.....	63
B. HƯỚNG PHÁT TRIỂN.....	63
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	64

DANH MỤC HÌNH VẼ

<i>Hình 1. 1. Đầu phun Noga tạo sương mù</i>	14
<i>Hình 1. 2. Kết cấu phun tạo dòng tia chất lỏng áp lực cao</i>	15
<i>Hình 1. 3. Đầu phun dung dịch lạnh</i>	16
<i>Hình 2. 1 Sơ đồ thí nghiệm</i>	26
<i>Hình 2. 2 Mảnh dao tiện CNMG120404-TM T9125</i>	27
<i>Hình 2. 3 Máy đo nhám Mitutoyo SJ-210 – Nhật bản</i>	28
<i>Hình 2. 4. Biểu đồ pareto</i>	33
<i>Hình 2. 5. Biểu đồ đánh giá sự phù hợp của mô hình</i>	34
<i>Hình 2. 6. Ảnh hưởng độc lập của các thông số khảo sát tới hàm mục tiêu Ra</i>	36
<i>Hình 2. 7. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố tới độ nhám bề mặt</i>	38
<i>Hình 2. 8 Biểu đồ Pareto cho hàm mục tiêu Fr</i>	42
<i>Hình 2. 9 Ảnh hưởng của các biến khảo sát tới lực cắt tổng Fr</i>	43
<i>Hình 2. 10 Ảnh hưởng tương tác giữa biến khảo sát tới lực cắt tổng Fr</i>	44
<i>Hình 3. 1. Mô hình thí nghiệm</i>	50
<i>Hình 3. 2. Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát tới giá trị trung bình của nhám bề mặt</i>	52
<i>Hình 3. 3. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố khảo sát tới giá trị nhám bề mặt</i> ..	53
<i>Hình 3. 4. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và nồng độ hạt nano tới nhám bề mặt với $f=0.1$ mm/rev</i>	54
<i>Hình 3. 5. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và nồng độ hạt nano tới nhám bề mặt với $f=0.15$ mm/vòng</i>	55

<i>Hình 3. 6. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và nồng độ hạt nano tới nhám bề mặt với $f=0.2$ mm/vòng</i>	<i>55</i>
<i>Hình 3. 7. Kết quả tối ưu cho nhám bề mặt</i>	<i>56</i>
<i>Hình 3. 8. Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát tới lực cắt F_x.....</i>	<i>59</i>
<i>Hình 3. 9. Ảnh hưởng của các yếu tố tới lực cắt F_y</i>	<i>60</i>
<i>Hình 3. 10. Ảnh hưởng của các yếu tố tới lực cắt F_z.....</i>	<i>60</i>
<i>Hình 3. 11. Tối ưu hóa đồng thời ba hàm mục tiêu F_x, F_y và F_z.....</i>	<i>61</i>

DANH MỤC BẢNG BIỂU

<i>Bảng 2. 1 Thành phần hóa học của thép 90CrSi (theo tiêu chuẩn DIN)</i>	<i>27</i>
<i>Bảng 2. 2 Các giá trị thông số đầu vào và biến thí nghiệm.....</i>	<i>29</i>
<i>Bảng 2. 3. Ma trận thí nghiệm</i>	<i>30</i>
<i>Bảng 2. 4. Phân tích ANOVA cho nhám bề mặt</i>	<i>32</i>
<i>Bảng 2. 5. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt tổng.....</i>	<i>41</i>
<i>Bảng 3. 1. Các giá trị thông số đầu vào và biến thí nghiệm trong mô hình Box - Behnken</i>	<i>47</i>
<i>Bảng 3. 2. Sơ đồ quy hoạch và kết quả thí nghiệm</i>	<i>47</i>
<i>Bảng 3. 3. Kết quả phân tích ANOVA</i>	<i>51</i>
<i>Bảng 3. 4. Hệ số đánh giá mô hình</i>	<i>51</i>
<i>Bảng 3. 5. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt Fx.....</i>	<i>57</i>
<i>Bảng 3. 6. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt Fy.....</i>	<i>58</i>
<i>Bảng 3. 7. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt Fz</i>	<i>58</i>

KÝ HIỆU - VIẾT TẮT

- MQL	Minimum quantity lubrication
- MQCL	Minimum quantity cooling lubrication
- BTLN	Bôi trơn làm nguội
- CLBM	Chất lượng bề mặt
- CBN	Cubic Boron Nitride
- ANOVA	Phân tích phương sai

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP

Đơn vị: Khoa Cơ khí

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: **Tối ưu hóa quá trình tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQL) với dung dịch có trộn bột nano MoS₂.**

- Mã số: **T2022 - B13**

- Chủ nhiệm đề tài: TS. Ngô Minh Tuấn

- Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên

- Thời gian thực hiện: 12 tháng (Từ tháng 04 năm 2022 đến tháng 04 năm 2023)

2. Mục tiêu:

Đề tài này được thực hiện nhằm đạt các mục tiêu sau đây:

- Nghiên cứu xác định chế độ công nghệ tối ưu khi tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQL với dung dịch nano MoS₂.
- Ứng dụng vào thực tiễn để gia công các sản phẩm cơ khí.
- Công bố quốc tế các kết quả nghiên cứu nhằm nâng cao vị thế cơ sở giáo dục;

3. Kết quả nghiên cứu:

- Nghiên cứu được tổng quan về quá trình tiện cứng, các phương pháp bôi trơn làm mát khi tiện cứng.
- Nghiên cứu đánh giá được hiệu quả của các công nghệ MQL và MQCL với các hạt nano khác nhau khi tiện cứng thép 90CrSi.
- Xây dựng được ma trận thí nghiệm sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để phân tích ảnh hưởng của dầu bôi trơn làm mát tới lực cắt tổng và độ nhám bề mặt gia công.

- Nghiên cứu đã cho thấy sử dụng dung dịch bôi trơn tối thiểu MQL có bổ sung hạt nano MoS₂ vào quá trình tiện cứng có thể giảm lực cắt và giảm độ nhám bề mặt gia công.

- Nghiên cứu đã đưa ra được những chỉ dẫn công nghệ phù hợp đảm bảo lực cắt nhỏ hoặc nhám bề mặt nhỏ cho quá trình tiện cứng thép 90CrSi.

4. Sản phẩm:

Đã đăng được 01 bài báo khoa học đăng trên tạp chí nước ngoài có chỉ số ISSN:

5. Hiệu quả:

5.1. Đối với lĩnh vực giáo dục và đào tạo

- Nâng cao trình độ về NCKH, về chuyên môn cho giảng viên

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

Ý nghĩa khoa học:

- Bổ sung thêm một số lý thuyết về tương tác của hạt Nano trong dung dịch nanofluid MoS₂ đến một số hiện tượng vật lý xảy ra trong vùng cắt, quá trình tạo phoi khi gia công vật liệu cứng;

- Bổ sung thêm một số lý thuyết chung về MQL với dung dịch nano MoS₂ và tiện cứng trong ngành chế tạo máy.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Đã ứng dụng được dung dịch Nanofluid MoS₂ trên nền của dầu emulsi vào quá trình tiện cứng và đồng thời đã đưa ra được một số chỉ dẫn công nghệ về nồng độ hạt thích hợp đến quá trình tiện cứng thép 90CrSi;

- Đưa ra giải pháp công nghệ mới nhằm mở rộng khả năng ứng dụng bôi trơn làm nguội tối thiểu vào quá trình gia công vật liệu cứng, nâng cao năng suất, hiệu quả quá trình gia công.

5.3. Đối với phát triển kinh tế - xã hội

- Đưa ra giải pháp gia công phù hợp với điều kiện sản xuất tại Việt Nam.

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

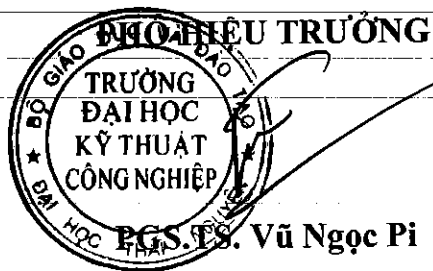
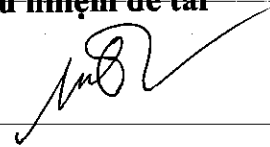
- Đối với tổ chức chủ trì: Nâng cao được năng lực nghiên cứu khoa học và chuyển giao công nghệ đối với những công nghệ gia công mới
- Đối với cơ sở ứng dụng kết quả nghiên cứu: Nâng cao năng suất gia công, tiết kiệm chi phí, hạ giá thành sản phẩm để tăng tính cạnh tranh.

Ngày tháng năm

Cơ quan chủ trì

Chủ nhiệm đề tài

KT.HIỆU TRƯỞNG



Ngô Minh Tuấn

PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Optimization of hard turning process using minimal cooling lubrication (MQL) with nanofluid mixed with MoS₂ nanopowder

Code number: T2022-B13

Coordinator: Doctor Ngo Minh Tuan

Implementing institution: Thai Nguyen University of Technology

Duration: from April, 2022 to April, 2023

2. Objective(s):

- Research to determine the optimal technology for hard turning proces using MQL method with MoS₂ nanofluid.
- Practical application to machining mechanical products.
- International publication of research results to enhance the status of educational institutions;

3. Research results:

- Researched the overview of hard turning process, cooling lubrication methods in the hard turning process.
- Research to evaluate the effectiveness of MQL and MQCL technologies with different nanoparticles in the hard turning process.
- Constructed an experimental matrix using the Box Benken method to analyze the effect of machining parameters on the cutting force and the surface roughness.
- Research has shown that using MQL with MoS₂ nanoparticles in the hard turning process can reduce cutting force and surface roughness.
- Research has given appropriate technological instructions to ensure a small cutting force or surface roughness for the hard turning process of 90CrSi steel.

4. Products:

Published 01 international paper having ISSN index;

- The paper having ISSN index: Minh Tuan Ngo. Effect of Technology Parameters on the Components of Cutting Force in Hard Turning 9xc Steel With Carbide Insert Using Mos2 NFMQL. International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) ISSN (Online): 2320-9364, ISSN (Print): 2320-9356, www.ijres.org Volume 11 Issue 4 | April 2023 | PP. 329-336

5. Effects:

5.1. Education and training

- Improve the ability of doing scientific research and knowledge of lecturers

5.2. Technology and science

- Adding some theories about the interaction of Nanoparticles in MoS2 nanofluid to some physical phenomena occurring in the cutting zone, the chipmaking process when machining hard materials;

- Adding some general theories about MQL with MoS2 nanofluid and hard turning in the machine building industry.

- Nanofluid MoS2 has been applied on the basis of emulsion oil to the hard turning process and at the same time has given some technological instructions on the appropriate particle concentration for the hard turning process of 90CrSi steel;

- Offering new technological solutions to expand the application of minimal cooling lubrication to the processing of hard materials, improving productivity and efficiency of the machining process.

5.3. Economic and social development

- Offer processing solutions suitable with the production conditions in Vietnam.

5.4. Implementing institution and the places applying the research results

- Implementing institution: The research ability and technology transfer of new manufacturing technologies are improved.

- The productivity improves and the manufacturing and product costs reduce to enhance the competitiveness. The machining capability can be enlarged.

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Gia công vật liệu cứng, vật liệu khó gia công bằng dụng cụ cắt có lưỡi cắt xác định được sử dụng khá phổ biến trong ngành chế tạo máy để thay thế một phần cho nguyên công mài, đặc biệt trong gia công các loại khuôn mẫu, v.v. Tuy nhiên, do điều kiện cắt khi gia công vật liệu cứng, vật liệu khó gia công là rất khắc nghiệt nên việc bôi trơn làm nguội là rất cần thiết. Việc ứng dụng công nghệ bôi trơn làm nguội tưới tràn vào gia công vật liệu cứng gặp nhiều khó khăn hoặc không thể sử dụng được.

Bôi trơn làm nguội tối thiểu (Minimum Quantity Lubrication-viết tắt MQL) ngoài việc thân thiện với môi trường, còn có nhiều ưu điểm nổi bật khác như hiệu quả bôi trơn cao, ma sát trong vùng cắt giảm do đó làm giảm lực cắt, nhiệt cắt, độ mòn của dụng cụ, v.v. dẫn đến tuổi bền dụng cụ tăng, chất lượng bề mặt gia công được cải thiện, v.v. [1-7].

Vì vậy, bôi trơn làm nguội tối thiểu đã được triển khai và ứng dụng khá rộng rãi trong ngành chế tạo máy từ những năm 90 của thế kỷ trước, và đã mang lại những kết quả khá quan, đặc biệt đối với một số phương pháp gia công không sử dụng được công nghệ tưới tràn. Kích thước và sự phân bố giọt dung dịch trơn nguội trong công nghệ MQL được nhóm tác giả công bố trong [8]. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra đường kính của các hạt dung dịch trong công nghệ MQL nằm trong khoảng 10-100 μ m. Các tác giả chỉ ra góc phun hiệu quả là 10 \div 12 $^{\circ}$ với lưu lượng 1,5ml/phút và áp suất phun 6 psi. Ngoài ra các tác giả cũng chỉ ra rằng áp suất phun cao hơn sẽ tạo ra nhiều giọt hơn nhưng kích thước giọt nhỏ hơn sẽ đạt được. Số lượng giọt đọng lại trên bề mặt nhỏ hơn khi tăng khoảng cách giữa đầu phun và bề mặt gia công. Diện tích bao phủ bởi giọt dung dịch lớn nhất khi khoảng cách giữa đầu phun và bề mặt gia công là 30 mm với áp suất phun là 12 psi. Tuy nhiên nếu khoảng cách lớn hơn 50 mm, việc phun dung dịch đến vùng cắt là không hiệu quả.

Việc hình thành màng dầu trên bề mặt dụng cụ để tạo nên đặc tính bôi trơn thủy động giữa mặt trước của dao với phoi, mặt sau của dao với bề mặt gia công là một trong những đặc tính rất đặc biệt khi ứng dụng công nghệ MQL trong gia công vật liệu có độ cứng cao. Kết quả chỉ ra rằng vị trí đặt vòi phun là một yếu tố quan trọng liên quan đến hiệu quả của việc hình thành màng dầu. Ngoài ra, sự di chuyển của các hạt dầu tới vùng cắt cần lưu lượng cao hơn [9].

Việc phân tích về nhiệt khi ứng dụng công nghệ MQL cho phương pháp mài cũng được nghiên cứu và công bố trong [10]. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng công nghệ MQL có khả năng bôi trơn tốt nhưng về hiệu quả làm mát vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu khi so sánh với công nghệ tưới tràn. Bằng mô hình phân tích nhiệt, tác giả cũng chỉ ra hệ số dẫn nhiệt đối lưu ở vùng cắt khi sử dụng công nghệ MQL nhỏ hơn rất nhiều so với việc sử dụng công nghệ tưới tràn.

Ngoài ra, việc nghiên cứu tối ưu thông số công nghệ MQL như áp lực, phương pháp tưới, và chế độ cắt để nâng cao hiệu quả quá trình cắt với các phương pháp gia công và với các loại vật liệu được công bố trong các công trình [8, 11].

Một số kết quả nghiên cứu nổi bật về tiện cứng, ứng dụng MQL trong tiện cứng, ảnh hưởng của yếu tố công nghệ đến lực cắt, nhiệt cắt, mòn dụng cụ, chất lượng gia công khi tiện cứng, v.v. được công bố trong các tài liệu [12, 13, 14].

Việc nghiên cứu chất lượng bề mặt và lực cắt khi tiện cứng thép AISI 52100 (HRC=62) với mảnh CBN đã được công bố trong [15]. Giá trị nhám bề mặt chịu ảnh hưởng chính bởi lượng chạy dao và tốc độ cắt. Kết quả cũng chỉ ra rằng lực đẩy dao là thành phần lực lớn nhất và rất nhạy với sự thay đổi độ cứng của chi tiết gia công, giá trị âm của góc trước và tốc độ mòn của dao. Chiều sâu cắt có ảnh hưởng lớn nhất tới lực cắt so với lượng chạy dao và tốc độ cắt.

Việc hình thành nên lớp biến trắng (white layer) trong công nghệ tiện cứng là một trong những vấn đề đã được rất nhiều tác giả quan tâm và nghiên cứu và được công bố trong [16, 17]. Lớp biến trắng là kết quả của sự thay đổi cấu trúc tế vi của vật liệu, có cấu trúc martensit không qua nhiệt luyện, có độ cứng cao hơn lớp vật liệu trung gian (dark layer) và lớp vật liệu nền. Cơ chế hình thành lớp biến trắng là do biến dạng dẻo lớn và/hoặc sự thay đổi nhiệt độ nóng-lạnh nhanh. Chiều dày lớp biến trắng tăng khi tăng chế độ cắt và lượng mòn mặt sau tăng.

Việc nghiên cứu thực nghiệm về khả năng chịu mòn của lớp biến trắng đã được nghiên cứu và công bố trong [18]. Khả năng chịu mài mòn giảm khi có lớp biến trắng trên bề mặt. Nguyên nhân chính là có những vết nứt tế vi trên lớp biến trắng, và sự lan truyền của các vết nứt dẫn đến sự bong tróc của lớp biến trắng.

Một số những kết quả nghiên cứu nổi bật về công nghệ phay cứng như xác định chế độ cắt tối ưu, ảnh hưởng của điều kiện cắt đến các thông số quá trình và kết quả quá trình gia công khi sử dụng dao phay HKC phủ PVD-AlTiN, nl-AlTiN/TiN and nc-TiAlSiN/TiSiN/TiAlN, v.v. để phay cứng các loại vật liệu như thép có độ bền cao 30Cr3, thép AISI O2 (HRC=58), v.v. [19, 20] hoặc một nghiên

cứu mòn dao PCBN khi phay cứng hợp kim cứng, ảnh hưởng của mòn dao đến chất lượng bề mặt gia công được công bố trong [21].

Việc nghiên cứu về độ cứng tế vi và sự thay đổi cấu trúc tế vi bề mặt khi gia công vật liệu cứng đã được nghiên cứu và công bố trong [22]. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng độ cứng tế vi của lớp vật liệu bề mặt thép AISI 1045 sau khi tiện khô cao hơn so với tiện với chế độ MQCL (Minimum Quantity Cooling Lubrication). Phân tích cấu trúc tế vi cho thấy tiện khô có chiều dày vùng biến dạng gấp đôi so với tiện với chế độ MQCL. Hơn nữa, những vết nứt tế vi được tìm thấy trên và bên trong vùng biến dạng này.

Một số kết quả nghiên cứu mới về quá trình mài micro với công nghệ MQL sử dụng dung dịch Nanofluid với hạt nano kim cương và Al_2O_3 ; đánh giá đặc tính bôi trơn giữa đá mài và chi tiết gia công khi mài hợp kim nikel GH4169 sử dụng công nghệ MQL với các loại dung dịch Nanofluid (với các loại hạt MoS_2 , SiO_2 , kim cương, CNTs, Al_2O_3 và ZrO_2) được công bố trong [23, 24].

Để tiếp tục nâng cao hiệu quả của MQL trong gia công vật liệu cứng, một hướng mới đang rất được quan tâm hiện nay đó là sử dụng dung dịch Nanofluid (dùng các loại hạt Nano kim loại có độ cứng cao trộn vào dung dịch trơn nguội). Hạt nano MoS_2 có trọng lượng nhẹ (khoảng $4.8g/cm^3$), nhiệt độ nóng chảy cao ($1185^{\circ}C$), có độ cứng thấp (1-1.5 theo thang độ cứng Mohs), hệ số ma sát nhỏ (0.03-0.05), có độ ổn định hóa học và độ ổn định nhiệt rất tốt, đặc biệt không có phản ứng hóa học với bề mặt kim loại ngay cả ở nhiệt độ cao [25]. Với những ưu điểm trên, hạt nano MoS_2 có thể được sử dụng trộn với dung dịch bôi trơn làm mát thông thường, tạo thành dung dịch nano MoS_2 ứng dụng để bôi trơn làm mát trong gia công cắt gọt.

Trong những năm gần đây, việc nghiên cứu ứng dụng dung dịch bôi trơn làm mát có trộn hạt nano MoS_2 trong gia công cắt gọt đã được một số nhà nghiên cứu quan tâm. Các nghiên cứu ứng dụng dung dịch nano MoS_2 vào quá trình mài cho thấy có thể giảm năng lượng riêng và giảm độ nhám bề mặt gia công khi mài [26-31]. Một số nghiên cứu khác cho thấy sử dụng dung dịch nano MoS_2 vào quá trình phay cứng và quá trình tiện cứng có thể làm giảm độ nhám và tăng tuổi bền dụng cụ hơn so với các dung dịch bôi trơn làm nguội thông thường [32-36]. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu chỉ dừng lại ở việc khảo sát, đánh giá hiệu quả của quá trình gia công sử dụng dung dịch nano MoS_2 so với các quá trình gia công khác mà chưa đưa ra được bộ thông số chế độ công nghệ tối ưu. Những nghiên cứu gần đây về việc

ứng dụng công nghệ MQL có sử dụng dung dịch Nanofluid trong gia công cắt gọt đã được trình bày trong [37]. Thông qua tóm tắt, tác giả kết luận rằng công nghệ MQL có sử dụng dung dịch Nanofluid trong gia công giúp giảm ma sát và mòn, từ đó nâng cao hiệu quả cắt gọt. Tác giả cũng đề cập tới yếu tố ổn định và giá thành sản xuất của hạt nano khi ứng dụng. Tuy nhiên, phải tiếp tục nghiên cứu thực nghiệm để chứng minh hiệu suất tối đa của việc sử dụng dung dịch Nanofluid trong gia công cắt gọt.

Để nâng cao hiệu quả của quá trình gia công vật liệu và ứng dụng vào thực tiễn sản xuất ở Việt Nam, tác giả chọn hướng nghiên cứu ứng dụng MQL sử dụng dung dịch Nanofluid MoS_2 trong quá trình tiện cứng.

Vì vậy, nhóm tác chọn hướng nghiên cứu là xuất một giải pháp công nghệ hữu ích áp dụng để triển khai gia công các vật liệu khó gia công, đó là sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu sử dụng dung dịch nano MoS_2 cho quá trình tiện cứng với tên đề tài: **“Tối ưu hóa quá trình tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQL) với dung dịch có trộn bột nano MoS_2 ”**.

2. Mục đích nghiên cứu

- Nghiên cứu xác định chế độ công nghệ tối ưu khi tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQL với dung dịch nano MoS_2 .
- Ứng dụng vào thực tiễn để gia công các sản phẩm cơ khí.
- Công bố quốc tế các kết quả nghiên cứu nhằm nâng cao vị thế cơ sở giáo dục;

3. Nội dung nghiên cứu, đối tượng nghiên cứu

- *Nội dung nghiên cứu:*

- Tìm hiểu các lý thuyết cơ bản về MQL, về gia công vật liệu cứng và ứng dụng MQL vào quá trình gia công vật liệu cứng;
- Nghiên cứu xây dựng mô hình thí nghiệm.
- Xác định chế độ công nghệ tối ưu khi tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQL với dung dịch nano MoS_2
- Ứng dụng công nghệ vào thực tiễn để gia công một số sản phẩm do một số cơ sở sản xuất đặt hàng nhóm nghiên cứu.

- *Đối tượng nghiên cứu:*

Nhám bề mặt và lực cắt khi tiện cứng thép 9XC sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQL với dung dịch nano MoS₂

- Phạm vi nghiên cứu:

Ảnh hưởng của một số thông số công nghệ bao gồm vận tốc cắt, lượng chạy dao, chiều sâu cắt, lưu lượng và áp suất dòng khí tới lực cắt và nhám bề mặt khi tiện cứng sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQL với dung dịch MoS₂

4. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu lý thuyết kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm, trong đó chủ yếu là nghiên cứu thực nghiệm.

5. Ý nghĩa khoa học, ý nghĩa thực tiễn

Kỹ thuật: Đưa ra giải pháp công nghệ mới nhằm mở rộng khả năng ứng dụng bôi trơn làm nguội tối thiểu vào quá trình gia công vật liệu cứng, nâng cao năng suất, hiệu quả quá trình gia công.

- Kinh tế: Nâng cao năng suất gia công, tiết kiệm chi phí, hạ giá thành sản phẩm và mở rộng khả năng công nghệ của quá trình tiện cứng; giảm được chi phí nhập khẩu các trang thiết bị, dụng cụ đắt tiền;

- Xã hội: Thân thiện với môi trường và con người;

- Đào tạo: Nâng cao trình độ về NCKH, về chuyên môn cho một số giảng viên.

CHƯƠNG 1- TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TIỆN CỨNG VÀ CÔNG NGHỆ BÔI TRƠN LÀM MÁT KHI TIỆN CỨNG

1.1 Công nghệ tiện cứng

Tiện cứng là một trong những phương pháp trong công nghệ gia công cứng, sử dụng dụng cụ cắt có hình dáng xác định để gia công trực tiếp vật liệu có độ cứng HRC =45-70 [1]. Công nghệ tiện cứng được giới thiệu từ những năm 1980 cùng với sự phát triển của máy công cụ, vật liệu dụng cụ cắt và thiết kế thân dao cũng như mảnh dao. Tiện cứng là một phương pháp gia công tinh lần cuối sử dụng dao cắt với lưỡi cắt có hình dáng hình học xác định để gia công chi tiết đòi hỏi có độ chính xác và chất lượng bề mặt cao. Nghiên cứu về tiện cứng nhằm tìm ra các thông số gia công thích hợp để tối ưu hoá quá trình gia công đạt các chỉ tiêu tốt nhất về kỹ thuật là rất cần thiết. So với mài, tiện cứng có nhiều ưu thế vượt trội về khía cạnh kinh tế và sinh thái. Tiện cứng có thể sử dụng một dụng cụ cắt để gia công nhiều chi tiết khác nhau còn đá mài ta phải thay đá hoặc sửa đá. Chi phí đầu tư cho một máy tiện CNC chỉ bằng 1/2 đến 1/10 máy mài. Ngoài ra công nghệ này còn góp phần hình thành nên một nền sản xuất công nghiệp bền vững, chất lượng bề mặt khi gia công bằng phương pháp tiện cũng có một số ưu điểm hơn so với mài như: Ảnh hưởng nhiệt đến bề mặt gia công nhỏ do chiều dài và thời gian tiếp xúc giữa dụng cụ và phôi ngắn, lớp ứng suất dư nén bề mặt có chiều sâu lớn nhưng vẫn giữ được độ chính xác và kích thước, hình dáng và tính nguyên vẹn của bề mặt [2]. Đặc biệt hơn tiện cứng có thể gia công nhiều biên dạng phức tạp, các chi tiết có dạng hình cầu... cấp chính xác của tiện cứng đạt IT 5-7 và độ nhám bề mặt R, là 2-4 μ m. Ở điều kiện gia công đặc biệt tiện cứng có thể đạt được cấp chính xác IT 3-5 và độ nhám bề mặt R, 1,5 μ m [3]. Bên cạnh đó tiện cứng còn có thể gia công khô mà không cần sử dụng dung dịch trơn nguội nên không ảnh hưởng đến môi trường và sức khoẻ người lao động [4]. Do có nhiều ưu điểm nên tiện cứng được bắt đầu giới thiệu rộng rãi và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực chế tạo cơ khí từ những năm 1980. Gia công cứng đã phát triển đáng kể với nhiều phương pháp gia công khác nhau như: Phay cứng, khoan, chuốt, phay lăn răng và những hình thức khác cùng với sự phát triển của công nghệ dụng cụ cắt, vật liệu dụng cụ cắt siêu cứng và các thiết kế dụng cụ biệt, chế độ cắt hợp lý đã làm cho việc gia công các vật liệu cứng trở

lên dễ dàng hơn [5]. Nó là một bước đi tiên phong được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực sản xuất công nghiệp như một phương tiện nâng cao khả năng gia công các chi tiết chịu tải trọng. Đặc biệt là công nghiệp chế tạo ô tô để chế tạo ra nhiều chi tiết như: Vòng bi, chế tạo khuôn và khuôn mẫu cũng như các thành phần khác cho các ngành công nghiệp tiên tiến. khuôn và khuôn mẫu cũng như các thành phần khác cho các ngành công nghiệp tiên tiến.

Thép sau khi tôi có độ cứng trên lớp bề mặt cao, chiều chiều sâu của nó chỉ 1mm nhưng đem lại khả năng chống mài mòn và độ bền cơ học cao. Các loại thép này được sử dụng để chế tạo ra các chi tiết có yêu cầu cao về độ bền cũng như khả năng chịu mài mòn như: Bánh răng, các loại trục, trục cam, khớp các đăng và các thiết bị cho ngành giao thông vận tải nói riêng và ngành cơ khí nói chung. Tuy nhiên tiện cứng cũng còn nhiều hạn chế như: Chi phí dụng cụ là cao hơn đáng kể so với mài, đòi hỏi máy, hệ thống công nghệ có độ cứng vững và độ chính xác cao [1]. Trong những năm gần đây, tiện cứng vẫn còn là một công nghệ gia công mới chưa được nghiên cứu đầy đủ và khi gia công chi tiết hay bị biến dạng, độ chính xác về kích thước và chất lượng bề mặt chưa tốt.

Trong tiện cứng, dạng phoi tạo thành là dạng phoi xếp do độ dẻo của vật liệu thấp [1]. Do lực cắt và nhiệt cắt trong tiện cứng cao, do đó làm cho quá trình mòn dao xảy ra rất nhanh và lực cắt tăng, đặc biệt là lực đẩy dao. Dạng mòn chủ yếu là mòn do cào xước. Bởi vậy, các loại mảnh chất lượng cao như hợp kim cứng phủ, gốm, CBN, PCBN, kim cương nhân tạo thường được yêu cầu sử dụng trong gia công cứng. Ngoài ra, vì vật liệu có độ cứng cao có tỷ số độ cứng/môđul đàn hồi cao nên biến dạng đàn hồi gây bởi lực đẩy dao và gây ra các sai số kích thước. Chất lượng bề mặt cũng như độ chính xác về kích thước của chi tiết sau tiện cứng cao, tuy nhiên việc hình thành nên lớp biến trắng (white layer) trong công nghệ tiện cứng là một trong những vấn đề đã được rất nhiều tác giả quan tâm và nghiên cứu [6]. Lớp biến trắng là kết quả của sự thay đổi cấu trúc tế vi của vật liệu, có cấu trúc martensit không qua nhiệt luyện, có độ cứng cao hơn lớp vật liệu trung gian và lớp vật liệu nền. Cơ chế hình thành lớp biến trắng là do biến dạng dẻo lớn và/hoặc sự thay đổi nhiệt độ nhanh. Chiều dày lớp biến trắng tăng khi tăng chế độ cắt và lượng mòn mặt sau tăng. Do có những vết nứt tế vi trên lớp biến

trắng, và sự lan truyền của các vết nứt dẫn đến sự bong tróc của lớp biến trắng nên khả năng chịu mài mòn của chi tiết giảm khi có lớp biến trắng trên bề mặt [7]. Giá trị nhám bề mặt chịu ảnh hưởng chính bởi lượng chạy dao và tốc độ cắt. Lực đẩy dao là thành phần lực lớn nhất và thay đổi cùng với sự thay đổi độ cứng của chi tiết gia công, giá trị âm của góc trước và tốc độ mòn của dao. Chiều sâu cắt có ảnh hưởng lớn nhất tới lực cắt so với lượng chạy dao và tốc độ cắt [8].

Quá trình tiện cứng là một quá trình cắt phức tạp với lực cắt, nhiệt cắt cao trong quá trình cắt. Những điều kiện khắc nghiệt này làm cho bề mặt chi tiết máy khó được đảm bảo đồng thời dụng cụ mòn nhanh. Tuy nhiên, việc ứng dụng công nghệ bôi trơn làm nguội tưới tràn vào gia công vật liệu cứng gặp nhiều khó khăn hoặc không thể sử dụng được. Do đó việc nghiên cứu ứng dụng bôi trơn làm mát trong quá trình tiện cứng là cần thiết.

1.2 Công nghệ bôi trơn làm mát trong quá trình cứng

Trong thời gian gần đây, các quá trình gia công vật liệu cứng, vật liệu khó gia công đang được nghiên cứu để nâng cao độ chính xác kích thước, chất lượng bề mặt, năng suất gia công, giảm giá thành sản phẩm và đặc biệt chú trọng tới giảm tác động tới môi trường. Trong đó, tiện cứng đang được áp dụng phổ biến trong công nghiệp để thay thế cho quá trình mài. Tuy nhiên, một vấn đề lớn nhất trong quá trình tiện cứng là lực cắt và nhiệt cắt tăng lên dẫn đến giảm tuổi thọ dụng cụ và gây biến dạng bề mặt chi tiết gia công [9]. Một trong những biện pháp tăng tuổi thọ, giảm lực cắt trong các quá trình gia công cắt gọt là ứng dụng dung dịch bôi trơn làm nguội. Tuy nhiên, trong gia công cứng, việc đưa dung dịch bôi trơn làm mát vào vùng cắt dưới dạng tưới tràn không phù hợp và có thể làm giảm tuổi bền dụng cụ do sốc nhiệt [1]. Hiện nay, phương pháp MQL và MQCL được áp dụng phổ biến trong các quá trình gia công cứng.

1.2.1 Công nghệ MQL

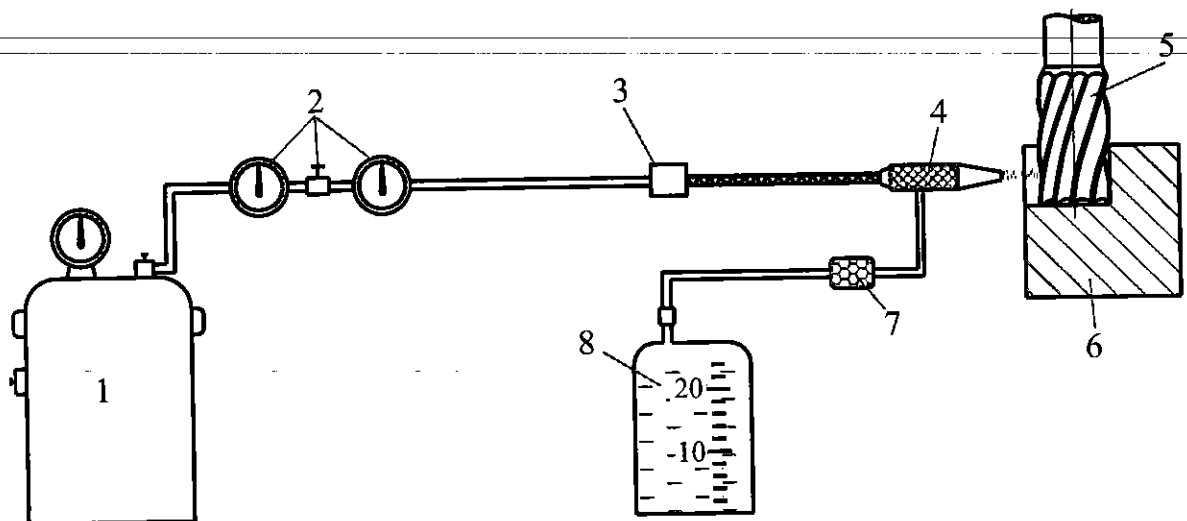
Bôi trơn làm nguội tối thiểu (Minimum quantity lubrication – viết tắt là MQL) đã được nghiên cứu và ứng dụng khá rộng rãi trong công nghệ gia công cắt gọt để nâng cao hiệu quả của quá trình cắt gọt [10].

Khái niệm MQL được đề xuất trong những năm 1990 và là một giải

pháp thay thế cho hệ thống gia công khô và tưới tràn. Bản chất của MQL là đưa một lượng dung dịch trơn nguội hạn chế (tối thiểu) với lưu lượng $5 \div 500 \text{ ml/giờ}$ ($0,08 \div 8 \text{ ml/phút}$) trực tiếp vào vùng cắt dưới dạng sương mù hoặc dưới dạng dòng tia chất lỏng áp lực cao [11]. Giải pháp này ngoài việc nâng cao hiệu quả của quá trình bôi trơn làm nguội còn góp phần làm giảm chi phí gia công, thân thiện với môi trường do sử dụng lượng dung dịch tối thiểu và do không có dung dịch thải vào môi trường. Những thông số cơ bản của công nghệ MQL ảnh hưởng đến quá trình và kết quả gia công gồm: loại dung dịch trơn nguội, lưu lượng áp suất phun, phương pháp phun (tưới) dung dịch vào vùng cắt (dạng sương mù hay chùm tia chất lỏng), vị trí đặt vòi phun (vào mặt trước hay mặt sau của dao, v.v.), khoảng cách phun, phương pháp gia công (cắt hở, nửa kín hay cắt kín), v.v.

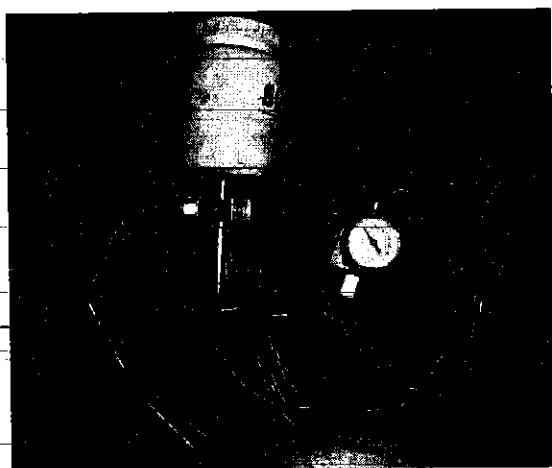
Để đưa dung dịch trơn nguội (DDTN) vào vùng cắt thường sử dụng một trong 02 phương pháp:

- Phun dung dịch trực tiếp vào vùng cắt dưới dạng “sương mù”: Thực chất là dung dòng khí áp lực cao trộn với DDTN dưới dạng “sương mù” để đưa vào vùng cắt. Sơ đồ nguyên lý và đầu phun tạo sương mù cho ở hình 1.1.

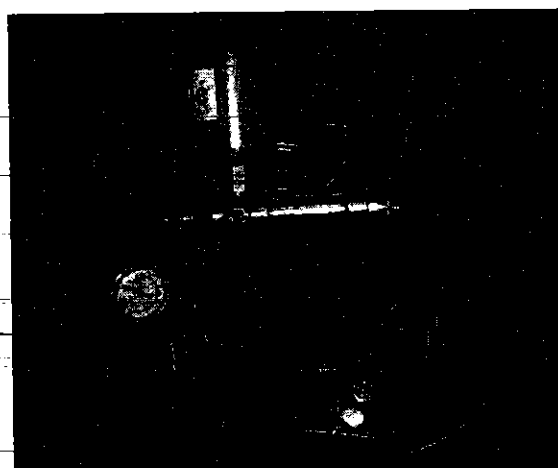


Hình 1. 1. Đầu phun Noga tạo sương mù

- Phun dung dịch trực tiếp vào vùng cắt dưới dạng dòng tia chất lỏng áp lực cao: Thực chất dùng bơm Piston (bơm điện hoặc bơm khí nén) tạo dòng tia chất lỏng áp lực cao. Kết cấu bơm Piston cho ở hình 1.2



a. Đầu phun Pulsomat P10 dùng nguồn năng lượng điện



b. Đầu phun Pulsomat P25 dùng nguồn năng lượng khí nén

Hình 1. 2. Kết cấu phun tạo dòng tia chất lỏng áp lực cao

b, Đặc điểm

Do dung dịch được đưa trực tiếp vào vùng cắt nên có các ưu điểm được đề cập tới trong tài liệu [12] [13].

- Hiệu quả của quá trình bôi trơn làm nguội cao, ma sát trong vùng cắt giảm; nhiệt cắt, lực cắt giảm;

- Độ mòn của dụng cụ cắt giảm, tuổi bền của dụng cụ tăng, chất lượng bề mặt gia công, chất lượng sản phẩm tăng;

- Tiết kiệm dung dịch trơn nguội (lưu lượng tưới 5÷500 ml/giờ (0,08÷8 ml/phút));

- Môi trường làm việc sạch, phoi sạch, không có dung dịch trơn nguội thải vào môi trường nên không gây ô nhiễm môi trường;

- Tiết kiệm chi phí do tiết kiệm được dung dịch trơn nguội và tiết kiệm được chi phí xử lý chất thải công nghiệp.

Nhược điểm:

- Khó vận chuyển phoi ra khỏi vùng gia công.

- Nhiệt độ chi tiết cao.

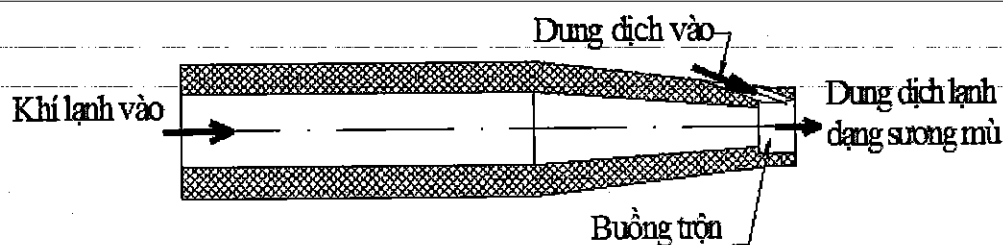
c, Phạm vi ứng dụng

MQL được sử dụng cho hầu hết các phương pháp gia công bằng dụng cụ cắt có lưỡi cắt xác định. Ngoài ra, MQL còn được sử dụng đối với một số phương pháp gia công mà phương pháp tưới tràn không sử dụng được như khi tiện cứng, phay mặt phẳng bằng dao phay mặt đầu gắn mảnh HKC, v.v.

1.2.2. Công nghệ MQCL

MQL sử dụng dung dịch lạnh (MQCL) thực chất là dòng khí lạnh trộn với dung dịch trơn nguội để tạo ra dòng dung dịch trơn nguội nhiệt độ thấp dưới dạng sương mù (gọi chung là dung dịch lạnh – viết tắt MQCL) để phun trực tiếp vào vùng gia công.

Như vậy hệ thống MQL và hệ thống tạo dòng khí lạnh được tổ hợp trên một thiết bị gọi là đầu phun dung dịch lạnh. Sơ đồ nguyên lý như hình 1.3



Hình 1. 3. Đầu phun dung dịch lạnh

Do dòng dung dịch lạnh được tạo ra trên một đầu phun nên thiết bị bôi trơn làm nguội gọn nhẹ, dễ bố trí và dễ triển khai vào thực tiễn sản xuất.

Tuy nhiên, khi sử dụng hệ thống này cần phải chế tạo đầu phun dung dịch lạnh và việc điều chỉnh các thông số công nghệ của hệ thống khó khăn hơn so với hai hệ thống độc lập.

1.2.3. Dung dịch bôi trơn dung trong MQL và MQCL

Dung dịch Nanofluid được tạo ra bằng cách trộn một số loại hạt Nano (Al_2O_3 ; MoS_2 , v.v.) với dung dịch trơn nguội thông thường (gọi chung là dung dịch nền). Các hạt Nano trong dung dịch Nanofluid có tác dụng nâng cao hoạt tính của dung dịch nền như thay đổi độ nhớt, tăng tính dẫn nhiệt, v.v. nên sẽ nâng cao được hiệu quả của quá trình bôi trơn làm nguội [14]. Dung dịch nền thường dùng làm dung dịch Emulsi, ngoài ra ngày nay để góp phần tạo ra môi trường gia công sạch, thân thiện, ít ảnh hưởng đến sức khỏe người lao

động, v.v. nên xu hướng thường dùng một số loại dầu thực vật như dầu gạo, dầu đậu nành...

Các loại dầu sử dụng trong công nghệ MQL và MQCL cần phải có đặc tính bôi trơn phù hợp vì lượng sử dụng rất ít. Ngoài ra, loại dầu sử dụng cũng cần đảm bảo được tính không độc hại với người sử dụng và gây ô nhiễm môi trường. Chính vì vậy, các loại dầu thực vật được xem như phù hợp nhất với công nghệ MQL. Dầu thực vật có thể phân hủy sinh học tự nhiên và thường có khối lượng phân tử cao hơn so với dầu khoáng thông thường, điều này giúp cho dầu thực vật có đặc tính bôi trơn vượt trội. Tuy nhiên, trong sản xuất thực tế thời gian sử dụng và tính ổn định của dầu theo thời gian là những vấn đề được quan tâm. Vì dầu thực vật có thời gian sử dụng hạn chế do thủy phân và ô xy hóa, do vậy gần đây các loại dầu mới có nguồn gốc từ dầu thực vật được phát triển để cải thiện tính ổn định được sử dụng trong công nghệ MQL. Hầu hết các loại dầu được sử dụng ngày nay là ête tổng hợp hoặc còn có chất béo có nguồn gốc từ dầu thực vật. Bên cạnh đó, các loại dầu thực vật và dầu khoáng vẫn được sử dụng. Polyete được nghiên cứu và cho thấy có độ nhớt phù hợp với công nghệ MQL so với dầu khoáng và dầu thực vật thông thường. Còn có chất béo là chất bôi trơn có khối lượng phân tử lớn nguồn gốc từ dầu thực vật và polyol ête là những loại dầu được điều chế có khả năng bôi trơn cao, độ nhớt thấp và có nhiệt độ cháy và bay hơi phù hợp.

Ête tổng hợp có độ nhớt thấp, nhiệt độ cháy tương đối cao, tính ổn định nhiệt và tốc độ bay hơi thấp. Loại dầu này có thể được điều chế với độ nhớt khác nhau nên được sử dụng phổ biến trong công nghệ MQL để giảm ma sát và mòn dụng cụ cắt, và không yêu cầu về làm nguội bằng dầu. Ngoài ra với đặc tính bay hơi chậm nên sẽ hình thành được màng mỏng trên chi tiết giúp chống ôxy hóa nhưng lại gây trở ngại cho quá trình rửa và lắp đặt chi tiết [15].

Trong MQL, dung dịch trơn nguội được đưa trực tiếp vào vùng cắt với một lượng tối thiểu nên hoạt tính của dung dịch ảnh hưởng lớn đến hiệu quả của quá trình bôi trơn, làm nguội. Để nâng cao hiệu quả của quá trình bôi trơn, làm nguội và mở rộng khả năng ứng dụng của MQL, một trong các hướng đang được quan tâm nghiên cứu hiện nay là thay đổi thành phần, thêm các chất phụ gia, v.v.

Để nâng cao hoạt tính, khả năng bôi trơn của dung dịch. Một hướng nghiên cứu mới, có nhiều triển vọng và đang rất được quan tâm hiện nay đó là sử dụng các hạt nano kim loại có độ cứng và tính dẫn nhiệt cao trộn vào trong dung dịch (tạo thành dung dịch được gọi là dung dịch *Nanofluid*).

1.3 Phương pháp MQL và MQCL sử dụng dung dịch nanofluid

Để tiếp tục nâng cao hiệu quả của quá trình BTLN và mở rộng khả năng ứng dụng của MQL có nhiều giải pháp. Trong đó, một xu hướng nghiên cứu mới đang rất được quan tâm đó là sử dụng dung dịch Nanofluid trong MQL. Về thực chất, dung dịch Nanofluid là dùng hạt Nano kim loại có độ cứng cao (ví dụ hạt Nano Al_2O_3 , MoS_2 , SiO_2 , v.v. có kích thước hạt dưới nano trộn vào dung dịch trơn nguội để đưa vào vùng cắt. Hạt Nano trong dung dịch Nanofluid có tác dụng nâng cao khả năng dẫn nhiệt, nâng cao hoạt tính của dung dịch. Ngoài ra, các hạt Nano xâm nhập vào vùng cắt và đóng vai trò là các “viên bi” do đó góp phần làm giảm ma sát trong vùng cắt. Kết quả là nâng cao được tính năng bôi trơn làm nguội của dung dịch [16], nhờ vậy mà việc sử dụng dung dịch Nanofluid là đã mở rộng khả năng ứng dụng của MQL vào quá trình gia công các loại vật liệu cứng, vật liệu khó gia công, v.v. và cho một số phương pháp gia công có điều kiện cắt khác nghiệt khác như mài, v.v.

Hiệu quả của quá trình sử dụng dung dịch Nanofluid trong MQL khi gia công phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại hạt Nano (Al_2O_3 , MoS_2 , v.v.); hình dáng, kích thước hạt; nồng độ hạt; loại dung dịch, chế độ gia công, v.v. Các loại hạt nano khác nhau có các đặc tính về hình dạng, cấu trúc, tính dẫn nhiệt, đặc tính lý hóa khác nhau, điều này ảnh hưởng tới đặc tính bôi trơn làm nguội của chúng. Nghiên cứu về ảnh hưởng của loại hạt nano khi mài sử dụng công nghệ MQL với vật liệu gia công là hợp kim Nikel GH4169 được đề cập trong [17]. Nghiên cứu đã chỉ ra khi gia công với công nghệ MQL có sử dụng hạt nano cho thấy hiệu quả bôi trơn làm nguội tốt hơn so với công nghệ tưới tràn. Cụ thể, chất lượng bề mặt được nâng cao và lực mài giảm nhiều khi gia công MQL có sử dụng hạt nano. Tác giả cũng chỉ ra loại hạt nano có hệ số ma sát trượt thấp có hiệu quả cao đến việc giảm lực mài, cải thiện chất lượng bề mặt.

Hầu hết những kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc ứng dụng dung dịch Nanofluid trong công nghệ MQL giúp nâng cao tính năng bôi trơn làm nguội của dung dịch cũng như mở rộng khả năng công nghệ gia công. Nhờ việc giảm lực cắt do giảm được hệ số ma sát đã nâng cao được tuổi bền của dụng cụ cắt cũng như cải thiện và duy trì được chất lượng bề mặt tốt, đó là những ưu điểm nổi bật của công nghệ MQL có sử dụng dung dịch Nanofluid. Bởi vậy, việc ứng dụng công nghệ này để gia công những vật liệu khó gia công là một xu hướng mới, đặc biệt là mở rộng khả năng công nghệ gia công vật liệu có độ bền, độ cứng cao.

1.4. Tổng quan về MQL sử dụng dung dịch Nanofluid và ứng dụng trong gia công vật liệu cứng

1.4.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài

Trong thời gian gần đây, các quá trình gia công vật liệu cứng, vật liệu khó gia công đang được nghiên cứu để nâng cao độ chính xác kích thước, chất lượng bề mặt, năng suất gia công, giảm giá thành sản phẩm và đặc biệt chú trọng tới giảm tác động tới môi trường. Trong đó, tiện cứng đang được áp dụng phổ biến trong công nghiệp để thay thế cho quá trình mài. Tuy nhiên, một vấn đề lớn nhất trong quá trình tiện cứng là lực cắt và nhiệt cắt tăng lên dẫn đến giảm tuổi thọ dụng cụ và gây biến dạng bề mặt chi tiết gia công [18]. Một trong những biện pháp tăng tuổi thọ, giảm lực cắt trong các quá trình gia công cắt gọt là ứng dụng dung dịch bôi trơn làm nguội. Tuy nhiên, trong gia công cứng, việc đưa dung dịch bôi trơn làm mát vào vùng cắt dưới dạng tưới tràn không phù hợp và có thể làm giảm tuổi bền dụng cụ do sốc nhiệt [1]. Hiện nay, phương pháp MQL và MQCL được áp dụng phổ biến trong các quá trình gia công cứng.

Phương pháp MQL được phát triển để giải quyết các vấn đề gặp phải trong gia công cắt gọt trong điều kiện gia công khô và tưới tràn. Trong phương pháp này, một lượng nhỏ dung dịch bôi trơn làm mát được đưa vào vùng tiếp xúc giữa dao phôi và phôi dưới dạng sương mù để cải thiện điều kiện ma sát trong vùng cắt [19]. Ảnh hưởng của thông số công nghệ trong các quá trình gia công cứng sử dụng MQL đã được trình bày trong kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả. Trong quá trình gia công sử dụng phương pháp MQL,

có nhiều loại dầu đã được nghiên cứu ứng dụng và mang lại hiệu quả nhất định như dầu emulsion, dầu thực vật, ... Trong đó dầu có nguồn gốc thực vật được sử dụng trong phương pháp MQL vì nó có nhiều ưu điểm như có độ nhớt cao, có nguồn gốc thực vật, có khả năng phân hủy sinh học, không độc hại và không gây ô nhiễm môi trường. Hầu hết các nghiên cứu đều cho thấy phương pháp MQL cho chất lượng bề mặt tốt hơn và tuổi thọ dụng cụ cao hơn so với phương pháp bôi trơn tưới tràn [19]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng phương pháp MQL cho giá trị lực cắt tổng nhỏ hơn khi sử dụng phương pháp tưới tràn hoặc gia công khô [20]. Năm 2019 Pruncu và cộng sự của mình đã nghiên cứu và chỉ ra rằng MQL thích hợp cho quá trình gia công cứng giúp làm cải thiện hiệu quả của quá trình cắt [21]. Tuy nhiên, nhiệt lượng rất lớn sinh ra từ quá trình gia công cứng vẫn là thách thức lớn nên việc ứng dụng MQL vẫn còn rất hạn chế do hiệu quả làm mát thấp, đặc biệt đối với các vật liệu khó cắt như thép hợp kim sau nhiệt luyện, hợp kim Ni, hợp kim Ti, và v.v. [22]. Do đó, việc lựa chọn các chế độ cắt và điều kiện bôi trơn làm mát đóng vai trò quan trọng.

Trong những năm gần đây, phương pháp MQCL được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu và ứng dụng vào quá trình gia công cứng. Cũng giống như phương pháp MQL, phương pháp MQCL cũng cung cấp một lượng nhỏ chất bôi trơn vào vùng cắt dưới dạng sương mù. Tuy nhiên, trong phương pháp MQCL, lượng chất bôi trơn đó được làm lạnh do đó ngoài khả năng bôi trơn còn có thể giảm nhiệt độ của vùng cắt [23]. Kết quả nghiên cứu của Pervaiz et al. về quá trình tiện hợp kim Ti6Al4V sử dụng MQCL đã cho thấy khả năng bôi trơn và làm mát hiệu quả hơn phương pháp gia công khô và phương pháp tưới tràn [24]. Maruda et al. đã phân tích hiệu quả của quá trình tiện cứng sử dụng MQCL với các thông số công nghệ khác nhau [25]. Kết quả nghiên cứu của Maruda và cộng sự (2018) đã phân tích sự hình thành các giọt dầu nhũ tương dưới dạng sương mù trong quá trình gia công cứng sử dụng MQCL [26]. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy phương pháp MQCL cải thiện hiệu quả làm mát và bôi trơn, làm giảm ma sát và mài mòn dụng cụ. Kết quả phân tích hình dạng và kích thước của phoi cho thấy hiệu quả của MQCL trong bôi trơn làm mát khi tiện thép không gỉ (austenitic stainless steel 316L). Hơn nữa kết quả đạt được cũng cho thấy chất lượng bề mặt và cấu trúc lớp bề

mặt khi sử dụng MQCL tốt hơn so với khi gia công khô. Nguyên nhân là do các hạt dầu có nhiệt độ thấp được hình thành khiến quá trình tỏa nhiệt diễn ra nhanh hơn từ đó giảm biến dạng bề mặt. Đường kính và số lượng của các hạt dầu chịu ảnh hưởng mạnh bởi khoảng cách của các vòi phun, lưu lượng và áp suất của dòng khí [27]. Nguyên nhân chính là do sự hình thành sương nhũ khiến lượng nhiệt tỏa ra lớn hơn, từ đó độ biến dạng của bề mặt gia công giảm đi. Đường kính các hạt dầu cắt bị ảnh hưởng mạnh bởi khoảng cách của vòi phun, và đường kính và số lượng giọt có thể được kiểm soát bởi lưu lượng khí thể tích và khoảng cách vòi phun từ vùng cắt. Nghiên cứu đã lựa chọn được điều kiện tạo sương hợp lý do tất cả các hạt dầu cắt tiếp xúc với bề mặt vùng cắt có nhiệt độ cao đều bị bay hơi khỏi bề mặt này trong thời gian ngắn [28].

Tuy nhiên hầu hết các nghiên cứu mới chỉ tập trung sử dụng dầu cắt với mục đích giảm ma sát và nhiệt độ trong vùng cắt. Các nghiên cứu đều cho thấy đặc tính của dầu thay đổi theo nhiệt độ, do đó cần thiết nghiên cứu để xác định chế độ cắt và điều kiện bôi trơn phù hợp khi sử dụng phương pháp MQCL.

Chất lỏng nano được biết đến với khả năng truyền nhiệt do các đặc tính nhiệt và đặc tính bôi trơn của chúng. Các chất lỏng nano đang được nghiên cứu ứng dụng trong gia công cắt gọt vì có nhiều ưu điểm về tính chất nhiệt và khả năng bôi trơn của chúng [29]. Việc ứng dụng dầu cắt nano để bôi trơn và làm mát vùng cắt được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu [30]. Sharma và cộng sự đã phân tích đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng MQL với dầu cắt nano trong quá trình gia công cắt gọt [31]. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu sử dụng dầu cắt nano (NFMQL) cho thấy kết quả đầy hứa hẹn so với phương pháp MQL sử dụng dầu cắt thông thường về nhiệt độ vùng cắt và độ nhám bề mặt. Shen và cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của chất lỏng nano kim cương gốc nước và nano Al₂O₃ trong nước đến quá trình mài gang [32]. Nghiên cứu đã cho thấy hiệu suất mài cao hơn, lực cắt tiếp tuyến thấp hơn, cấu trúc bề mặt tốt hơn và nhiệt độ mài thấp hơn khi sử dụng chất lỏng nano để mài. Setti và cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy và nồng độ của chất lỏng nano Al₂O₃ trong quá trình mài hợp kim Ti-6Al-4 V. Kết quả nghiên cứu cho thấy sử dụng chất lỏng nano Al₂O₃ làm giảm nhiệt độ vùng mài, giảm ma sát và

cải thiện khả năng mài [33]. Vasu và Reddy đã nghiên cứu tính năng của dầu cắt nano Al_2O_3 trong quá trình gia công hợp kim Inconel 600 [34]. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng MQCL tăng cường hạt nano có thể dẫn đến giảm đáng kể lực cắt, độ nhám bề mặt, nhiệt độ và mài mòn của dụng cụ.

Trong các loại hạt nano được sử dụng để điều chế dầu nano, hạt nano MoS₂ có nhiều đặc tính phù hợp ứng dụng trong gia công cắt gọt. Hạt MoS₂ có trọng lượng nhẹ (khoảng 4.8g/cm³), nhiệt độ nóng chảy cao (11850C), có độ cứng thấp (1-1.5 theo thang độ cứng Mohs), hệ số ma sát nhỏ (0.03-0.05), có độ ổn định hóa học và độ ổn định nhiệt rất tốt, đặc biệt không có phản ứng hóa học với bề mặt kim loại ngay cả ở nhiệt độ cao [35]. Với những ưu điểm trên, hạt nano MoS₂ có thể được sử dụng trộn với dung dịch bôi trơn làm mát thông thường, tạo thành dung dịch nano MoS₂ ứng dụng để bôi trơn làm mát trong gia công cắt gọt [36].

Trong những năm gần đây, việc nghiên cứu ứng dụng dung dịch bôi trơn làm mát có trộn hạt nano MoS₂ trong gia công cắt gọt đã được một số nhà nghiên cứu quan tâm. Các nghiên cứu ứng dụng dung dịch nano MoS₂ vào quá trình mài cho thấy có thể giảm năng lượng riêng và giảm độ nhám bề mặt gia công khi mài [37]. Parash Kalita đã nghiên cứu ứng dụng phương pháp MQL với dầu cắt nano MoS₂ vào quá trình mài gang [38]. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng phương pháp MQL- NFMoS₂ có khả năng làm giảm năng lượng riêng khi mài và cải thiện chất lượng bề mặt so với phương pháp gia công tưới tràn. ZHANG Dongkun và cộng sự (2014) đã phân tích ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt và lực cắt đơn vị khi ứng dụng dầu cắt nano với 3 loại hạt nano khác nhau (MoS₂, ZrO₂ và Carbon nanotube) [39]. Kết quả phân tích cho thấy ứng dụng hạt nano có thể giảm lực cắt đơn vị và giảm độ nhám bề mặt gia công. Trong đó sử dụng dầu cắt nano MoS₂ cho hiệu quả rõ rệt hơn so với hai loại còn lại. Yanbin Zhang và cộng sự đã phân tích hiệu quả bôi trơn của dầu hybrid nano MoS₂/CNT khi mài hợp kim TiTan [40]. Kết quả nghiên cứu cho thấy dầu cắt nano Hybrid đạt hiệu quả hơn so với sử dụng một loại hạt nano. Năm 2015 Yanbin Zhang và cộng sự cũng đã nghiên cứu ứng dụng dầu cắt nano NF- MoS₂ vào quá trình mài. Kết quả nghiên cứu cho thấy hạt MoS₂ làm tăng hiệu quả bôi trơn của dầu cắt, qua đó góp phần giảm nhiệt cắt và lực cắt trong quá trình mài [41].

Một số nghiên cứu khác cũng cho thấy sử dụng dung dịch nano MoS₂ vào quá trình phay cứng và quá trình tiện cứng có thể làm giảm độ nhám và tăng tuổi bền dụng cụ hơn so với các dung dịch bôi trơn làm nguội thông thường. Năm 2015, Alper Uysal và cộng sự đã nghiên cứu ứng dụng MQL với dầu cắt nano MoS₂ trên nền dầu thực vật vào quá trình phay thép AISI 420 sử dụng dao carbide không phủ [42]. Kết quả nghiên cứu cho thấy sử dụng dầu cắt nano MoS₂ có thể giảm mòn dụng cụ và nhám bề mặt so với phương pháp MQL sử dụng dầu cắt thông thường. Bizhan Rahmati và cộng sự đã phân tích hiệu quả sử dụng dầu cắt nano MoS₂ trong gia công hợp kim nhôm sử dụng dao phay ngón [43]. Năm 2019 T.M Duc và cộng sự đã đánh giá hiệu quả ứng dụng dầu cắt nano MoS₂ vào quá trình phay cứng sử dụng phương pháp MQCL [44]. Nghiên cứu đã cho thấy dầu cắt nano MoS₂ có thể tạo thành lớp màng giúp cải thiện điều kiện ma sát trong vùng gia công.

1.4.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Trong nước, đã có một số nghiên cứu về MQL, công nghệ gia công vật liệu cứng nói chung và phay cứng và ứng dụng MQL trong gia công vật liệu cứng.

Một số kết quả về nghiên cứu ứng dụng MQL như nghiên cứu ứng dụng một số loại dầu thực vật trong MQL, ảnh hưởng của một số thông số MQL như thành phần hóa học của loại dầu, áp lực, lưu lượng tưới, vị trí đặt vòi phun, phương pháp gia công (gia công hở, gia công nửa kín, gia công kín) đến lực cắt, mòn dụng cụ, chất lượng bề mặt, v.v.

Áp suất phun dung dịch MQL là một trong những thông số công nghệ quan trọng. Nghiên cứu về ảnh hưởng của áp suất phun dung dịch MQL đến tuổi bền của dụng cụ cắt khi tiện thép 9CrSi bằng dao CBN đã cho thấy hiệu quả bôi trơn và làm nguội của dung dịch MQL bị ảnh hưởng đến áp suất phun, và được đánh giá qua lượng mòn dao trên cả mặt trước và mặt sau [45]. Ngoài ra, tác giả cũng chỉ ra loại dung dịch MQL có ảnh hưởng tới mòn, tuổi bền dao và nhám bề mặt. Trong phạm vi nghiên cứu dầu lạc cho thấy được tính năng bôi trơn-làm nguội rất tốt. Đây là loại dầu hoàn toàn không độc hại, không ảnh hưởng đến sức khỏe người lao động và rất thân thiện với môi trường. Việc nghiên cứu thành phần hóa học và cơ chế bôi trơn của dầu thực

vật trong công nghệ bôi trơn tối thiểu (MQL) khi gia công thép hợp kim đã qua nhiệt luyện có độ cứng cao đã được công bố trong [46].

Tuy nhiên, việc nghiên cứu ảnh hưởng của MQL có sử dụng hạt Nano trong gia công vật liệu có độ cứng cao là một hướng nghiên cứu rất mới và những kết quả nghiên cứu công bố còn rất hạn chế.

1.5. Kết luận chương 1

- Các vấn đề tác giả đặt ra trên đây như nghiên cứu về bôi trơn làm nguội tối thiểu MQL, nghiên cứu ứng dụng MQL sử dụng dung dịch Nanofluid, gia công vật liệu cứng đều là các vấn đề khá mới mẻ trong công nghệ gia công cắt gọt. Các nghiên cứu độc lập về các vấn đề này đã được một số tác giả trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu và đã có kết quả rất khả thi.

- Vấn đề nghiên cứu ứng dụng MQL sử dụng dung dịch Nanofluid (trộn hạt Nano vào dung dịch trơn nguội) vào các quá trình gia công cắt gọt là xu hướng nghiên cứu rất mới hiện nay. Trong đó, việc nghiên cứu ứng dụng MQL sử dụng dung dịch Nanofluid vào quá trình gia công vật liệu cứng để nâng cao hiệu quả kinh tế - kỹ thuật và đặc biệt là đảm bảo vệ sinh môi trường trong gia công vật liệu cứng là xu hướng mới. Các kết quả nghiên cứu theo hướng này còn hạn chế, vì vậy rất cần quan tâm nghiên cứu, ứng dụng và triển khai vào thực tiễn sản xuất.

Với sự định hướng như đã nêu trên, với điều kiện cụ thể năng lực bản thân, điều về trang thiết bị và với triển vọng ứng dụng kết quả nghiên cứu vào thực tiễn sản xuất ở Việt Nam, tác giả chọn đề tài nghiên cứu: **“Nghiên cứu ảnh hưởng của thông số công nghệ tới nhám bề mặt và lực cắt khi tiện cứng sử dụng phương pháp MQL với dung dịch nano MoS₂”**.

CHƯƠNG 2. ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CÔNG NGHỆ MQL VÀ MQCL VỚI CÁC HẠT NANO KHÁC NHAU KHI TIỆN CỨNG THÉP 90CRSI

2.1 Đặt vấn đề

Tiện cứng đã được quan tâm nhiều và đang trở thành một giải pháp thay thế cho quá trình mài do năng suất cao, phù hợp với các biên dạng phức tạp, giảm thiểu sử dụng dầu cắt và cho chất lượng bề mặt tốt. Tuy nhiên, điều kiện trong vùng cắt rất khắc nghiệt như ma sát, lực cắt và nhiệt độ trong vùng cắt rất lớn yêu cầu các vật liệu dụng cụ cắt đặc biệt và chế độ cắt bị hạn chế. Phương pháp MQL và MQCL với các dầu cắt nano được sử dụng hỗ trợ cho các quá trình tiện cứng giúp cải thiện hiệu suất cắt trong khi vẫn đảm bảo các đặc tính thân thiện với môi trường.

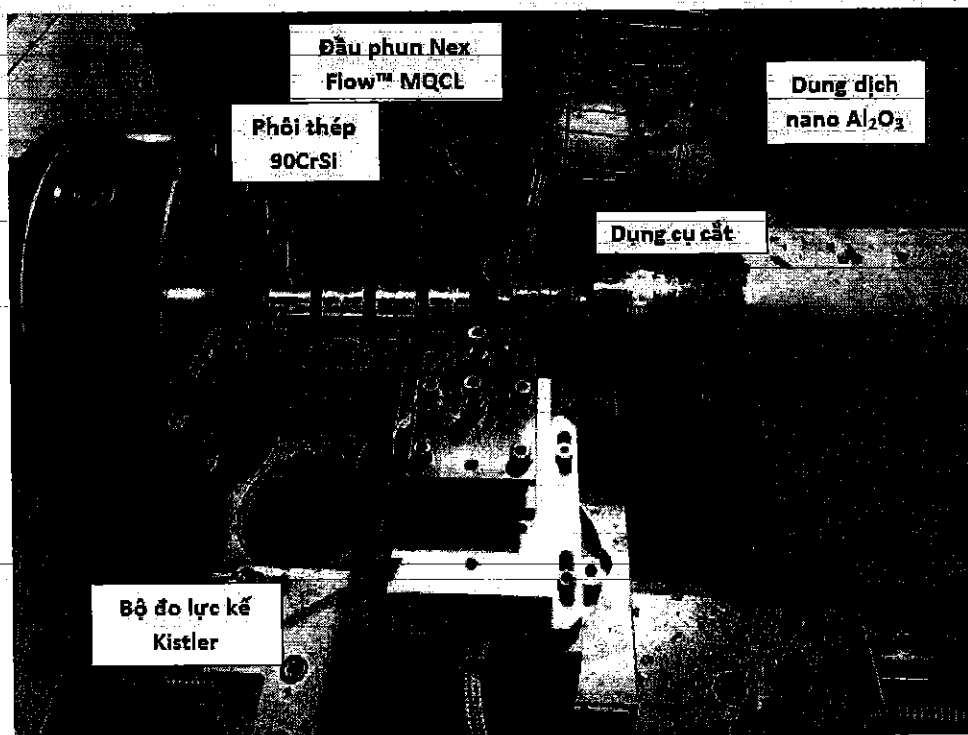
Qua nghiên cứu tổng quan các công bố trước đây, nhiều tác giả đã chứng minh rằng việc sử dụng các loại dầu cắt nano trong gia công cứng sử dụng MQL và MQCL mang lại những hiệu quả tích cực về lực cắt, nhám bề mặt, mòn dụng cụ và tuổi bền dụng cụ. Nguyên nhân chính là do các loại hạt nano đã cải thiện được các tính chất vật lý của dầu cắt thông thường, từ đó nâng cao hiệu quả của các phương pháp MQL và MQCL. Tuy nhiên mỗi phương pháp MQL và MQCL lại mang lại hiệu quả khác nhau khi sử dụng các loại dầu nano và chế độ cắt khác nhau. Vì những lý do đó, các tác giả có tập trung tiến hành các thí nghiệm ứng dụng MQL và MQCL khi tiện cứng thép 90CrSi (60–62 HRC) sử dụng dầu cắt nano, sử dụng hai loại hạt nano Al_2O_3 và MoS_2 bằng các dụng cụ phủ cacbit với các chế độ cắt khác nhau. Kết quả của nghiên cứu này sẽ không chỉ cung cấp các kỹ thuật quan trọng hướng dẫn sử dụng các hạt nano Al_2O_3 và MoS_2 trong tiện cứng MQL và MQCL, mà còn là tiền đề để thực hiện các nghiên cứu sâu hơn.

2.2 Hệ thống và thiết kế thí nghiệm

2.2.1. Hệ thống thí nghiệm

Máy thí nghiệm

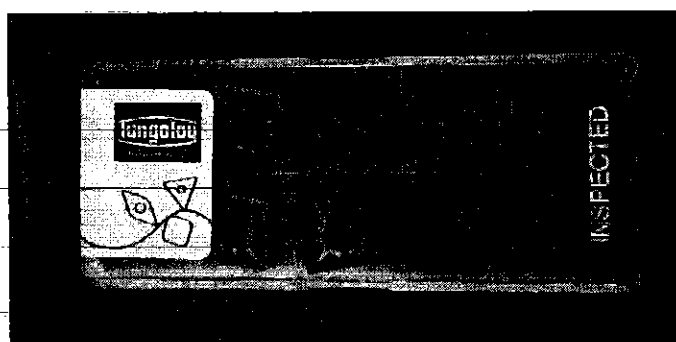
Quá trình thí nghiệm được thực hiện trên máy tiện vạn năng của Đài Loan với ký hiệu CS-460x1000 tại trung tâm thực nghiệm của trường đại học kỹ thuật công nghiệp (như Hình 2. 1).



Hình 2. 1 Sơ đồ thí nghiệm

Dụng cụ cắt

Dụng cụ cắt được sử dụng là mảnh dao hợp kim cứng phủ ký hiệu CNMG120404-TM T9125 (hình 2.2) lắp trên thân dao KYOCERA ký hiệu PCLNR 2020 K-16..



Hình 2. 2 Mảnh dao tiện CNMG120404-TM T9125

Phôi thí nghiệm

Trong nghiên cứu sử dụng phôi thép 90CrSi đường kính 40 mm đã qua tôi đạt độ cứng HRC=60-62 với thành phần hóa học được trình bày trong Bảng 2. 1. Thép 90CrSi có tính tôi và thấm tôi tốt, sau khi tôi có thể làm nguội trong dầu và dụng cụ sau khi tôi ít bị cong vênh, biến dạng. Đối với dụng cụ định hình mà profin không qua mài, điều quan trọng phải giữ cho kích thước không đổi khi tôi như profin ren của tarô, bàn ren tròn. 90CrSi là thép hợp kim ít bị biến dạng. Thép 90CrSi đảm bảo độ cácbit đều đặn, nên được dùng để chế tạo dụng cụ có yếu tố cắt mỏng không những phân bố ở xa tâm như tarô mà phân bố ở gần tâm như bàn ren tròn. Do sự tổ hợp hợp lý các nguyên tố hợp kim (Si, Cr, Mn) và do sự phân bố đều tính bền nóng của thép 90CrSi tăng lên 250°C. Với đặc điểm như trên thép 90CrSi hoàn toàn phù hợp với việc thiết kế và điều kiện làm việc của tarô, bàn ren.

Bảng 2. 1 Thành phần hóa học của thép 90CrSi (theo tiêu chuẩn DIN)

Nguyên tố	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Ti	Cu
Tỷ trọng (%)	0.85 ±0.9 5	1.20 ±1.6 0	0.30 ±0.6 0	Ma x 0.40	Ma x 0.03	Ma x 0.03	0.95 ±1.2 5	Ma x 0.20	Ma x 0.20	Ma x 0.15	Ma x 0.03	Ma x 0.3

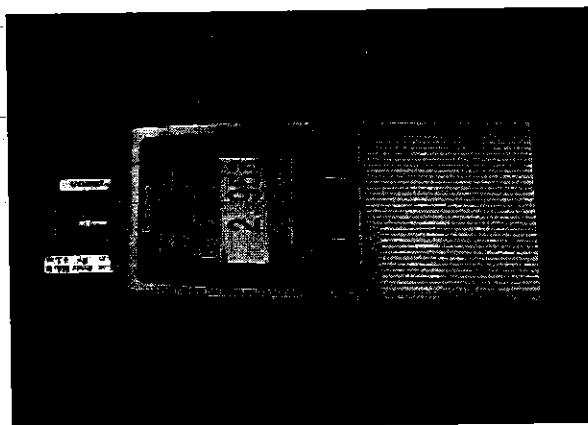
Hệ thống MQL và MQCL

Đầu phun MQL hãng NOGA và một số thiết bị đi kèm gồm: máy nén khí, thiết bị ổn định áp suất, dầu emulsi, dầu đậu nành, hạt nano Al₂O₃ và

MoS₂. Hệ thống MQL sử dụng đầu phun MQL của hãng NOGA (Noga minicool MC1700); Hệ thống MQCL sử dụng đầu phun Frigid-X Sub-Zero Vortex của hãng Nex Flow™ (Canada).

Thiết bị đo

Các thành phần của lực cắt được đo trực tiếp trong quá trình cắt bằng cảm biến lực ba thành phần của hãng Kistler như hình 2.1. Sau mỗi lát gia công, nhám bề mặt được đo bằng máy đo nhám Mitutoyo SJ-210 – Nhật bản (như Hình 2. 3);



Hình 2. 3 Máy đo nhám Mitutoyo SJ-210 – Nhật bản

2.2.2 Thiết kế thí nghiệm

Nhiều công trình nghiên cứu khoa học công nghệ thường đưa đến giải bài toán cực trị, tìm điều kiện tối ưu để tiến hành các quá trình hoặc lựa chọn thành phần tối ưu để tiến hành các quá trình hoặc lựa chọn thành phần tối ưu của hệ nhiều phân tử. Những bài toán này thường giải quyết ở các mức độ nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến hệ, lập mô hình biểu diễn mối phụ thuộc giữa các yếu tố khảo sát, điều khiển các thông số công nghệ theo mục đích cho trước, hoặc đưa về trạng thái tối ưu theo những chỉ tiêu đánh giá đã chọn. Một thiết kế thực nghiệm tốt là thiết kế chỉ ra được các thông số chính ảnh hưởng đến các kết quả đầu ra với số lượng các thí nghiệm hợp lý, các mức của mỗi thông số được thiết lập cụ thể. Trong khi các thí nghiệm truyền thống thường yêu cầu các mức của một thông số có số bước giống nhau để dễ

dàng trong việc lựa chọn bảng quy hoạch thực nghiệm. Do đó, việc đánh giá khả năng cắt của mảnh carbide khi tiện cứng trong điều kiện bôi trơn MQL và MQCL với các hạt nano khác nhau nếu thực nghiệm theo phương pháp truyền thống thì cần một số lượng thí nghiệm rất lớn.

Các thí nghiệm hai mức là các thí nghiệm trong đó mỗi biến thí nghiệm chỉ được khảo sát ở hai mức giá trị. Tổ hợp giá trị của các biến phản ánh xác lập đầu vào đã gây nên giá trị ứng xử tương ứng của hệ thống. Mỗi cách xác lập này tương ứng với một lần tiến hành thí nghiệm. Thí nghiệm hai mức được chia thành hai nhóm chính: + Thí nghiệm hai mức đầy đủ; + Thí nghiệm hai mức riêng phần.

Trong phạm vi của nghiên cứu, sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm với thiết kế quy hoạch thí nghiệm 2^{k-p} với 06 biến khảo sát để xây dựng sơ đồ quy hoạch thực nghiệm ảnh hưởng của loại dung dịch (FT), phương pháp bôi trơn làm nguội (LM), loại hạt nano (NP), nồng độ hạt (NC); vận tốc cắt (V) và lượng chạy dao (f) đến trị số nhám bề mặt R_a và lực cắt tổng F_r . Sơ đồ quy hoạch như Bảng 2. 2.

Bảng 2. 2 Các giá trị thông số đầu vào và biến thí nghiệm

STT	Biến thí nghiệm	Ký hiệu	Mức giá trị		Hàm mục tiêu
			Mức thấp	Mức cao	
1	Loại dung dịch (FT)	A	Emulsion (Em)	Dầu đậu nành (So)	Trị số nhám bề mặt R_a , lực cắt tổng F_r
2	Phương pháp bôi trơn làm nguội (LM)	B	MQL	MQCL	
3	Loại hạt (NP)	C	Al_2O_3	MoS_2	
4	Nồng độ (NC-wt%)	D	1%	3%	
5	Vận tốc cắt (V-m/min)	E	80	160	
6	Lượng chạy dao (f-mm/rev)	F	0.1	0.2	

Phần mềm Design expert 11 được sử dụng cho thiết kế thí nghiệm, ma trận thí nghiệm được xây dựng gồm 30 thí nghiệm. Triển khai thí nghiệm theo trình tự ngẫu nhiên (run order), trị số Ra được đo sau mỗi lượt gia công bằng máy đo độ nhám SJ210 của hãng mitutoyo. Giá trị lực cắt tổng được tính từ giá trị 3 thành phần và được thể hiện hiện trong **Error! Not a valid bookmark self-reference.**

Bảng 2. 3. Ma trận thí nghiệm

Std	Run	A:FT	B:LM	C:NP	D:NC (%)	E:V (m/min)	F:f (mm/rev)	R _a (µm)	Fr (N)
13	1	Em	MQCL	MoS2	1	80	0,1	0,578	286.6
12	2	So	MQL	MoS2	1	80	0,2	1,485	291.2
8	3	So	MQCL	Al2O3	1	80	0,2	0,899	202.6
23	4	So	MQCL	Al2O3	3	80	0,1	0,822	305.9
28	5	So	MQL	MoS2	3	80	0,1	0,625	296.2
21	6	Em	MQCL	Al2O3	3	160	0,1	0,680	150.5
22	7	Em	MQCL	Al2O3	3	160	0,1	0,859	142.4
18	8	Em	MQL	Al2O3	3	80	0,2	1,225	180.5
3	9	So	MQL	Al2O3	1	160	0,1	0,406	388.4
16	10	So	MQCL	MoS2	1	160	0,1	0,869	225.5
14	11	Em	MQCL	MoS2	1	80	0,1	0,554	281.5
9	12	Em	MQL	MoS2	1	160	0,2	1,447	302.0
17	13	Em	MQL	Al2O3	3	80	0,2	1,216	184.1
24	14	So	MQCL	Al2O3	3	80	0,1	0,698	290.6
32	15	So	MQCL	MoS2	3	160	0,2	1,466	265.4
27	16	So	MQL	MoS2	3	80	0,1	0,570	351.8
20	17	So	MQL	Al2O3	3	160	0,2	1,074	369.0

Std	Run	A:FT	B:LM	C:NP	D:NC (%)	E:V (m/min)	F:f (mm/rev)	R _a (μm)	Fr (N)
5	18	Em	MQCL	Al2O3	1	160	0,2	0,654	311.1
									266.8
31	19	So	MQCL	MoS2	3	160	0,2	1,105	223.8
26	20	Em	MQL	MoS2	3	160	0,1	0,774	199.9
7	21	So	MQCL	Al2O3	1	80	0,2	0,894	438.1
1	22	Em	MQL	Al2O3	1	80	0,1	0,626	222.9
30	23	Em	MQCL	MoS2	3	80	0,2	0,981	311.1
6	24	Em	MQCL	Al2O3	1	160	0,2	1,024	219.1
29	25	Em	MQCL	MoS2	3	80	0,2	0,977	399.0
4	26	So	MQL	Al2O3	1	160	0,1	0,405	441.5
2	27	Em	MQL	Al2O3	1	80	0,1	0,633	236.0
15	28	So	MQCL	MoS2	1	160	0,1	0,971	297.3
10	29	Em	MQL	MoS2	1	160	0,2	1,433	286.0
11	30	So	MQL	MoS2	1	80	0,2	1,511	223.9
25	31	Em	MQL	MoS2	3	160	0,1	0,755	384.7
19	32	So	MQL	Al2O3	3	160	0,2	0,85	

2.3. Phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới nhám bề mặt

Phân tích thống kê ANOVA

Kết quả phân tích phương sai ANOVA với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$ bằng phần mềm Design expert 11 được thể hiện trong Bảng 2. 4. Mức độ ảnh hưởng của các biến khảo sát và tương tác giữa chúng tới hàm mục tiêu R_a được thể hiện ở biểu đồ Pareto trên Hình 2. 4. Mức độ phù hợp của mô hình khảo sát và bộ thông số thí nghiệm được thể hiện trên Hình 2. 5. Ảnh hưởng độc lập của các biến khảo sát đến các hàm mục tiêu R_a ở Hình 2. 6. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố tới hàm mục tiêu R_a được cho ở Hình 2. 7.

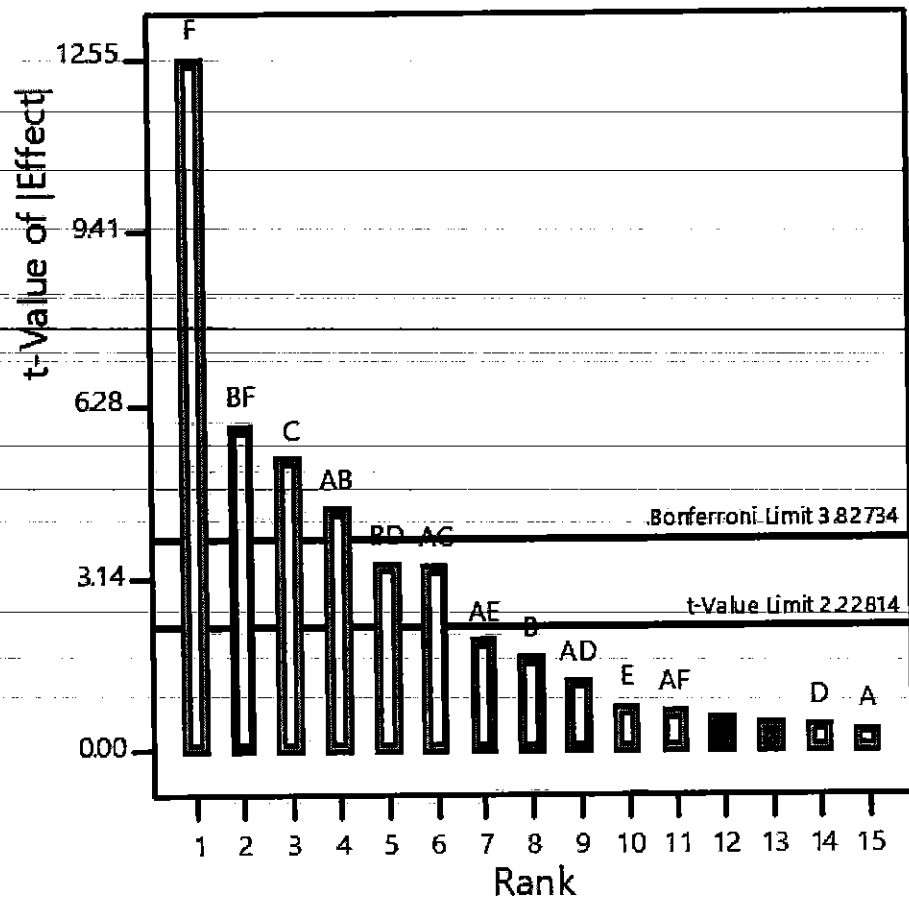
Trong nghiên cứu này, mô hình bậc nhất với các tương tác giữa hai yếu tố (2FI) được đề sử dụng để phân tích ảnh hưởng của các yếu tố và tương tác giữa chúng đến nhám bề mặt, Bảng 2. 4. *Phân tích ANOVA cho nhám bề mặt*. Kết quả phân tích phương sai thể hiện trong bảng cho thấy trong vùng khảo sát, lượng chạy dao f (F), loại hạt nano NP (C) và các tương tác FT*LM (A*B), FT*NP (A*C), LM*NC (B*D) và LM*f (B*F) có giá trị xác suất P nhỏ hơn 0.05 và hệ số fisher lớn, chứng tỏ các yếu tố khảo sát này là có ý nghĩa. Các yếu tố khác và tương tác giữa chúng có giá trị xác suất P lớn nên rất ít có ý nghĩa với hàm mục tiêu R_a .

Bảng 2. 4. Phân tích ANOVA cho nhám bề mặt

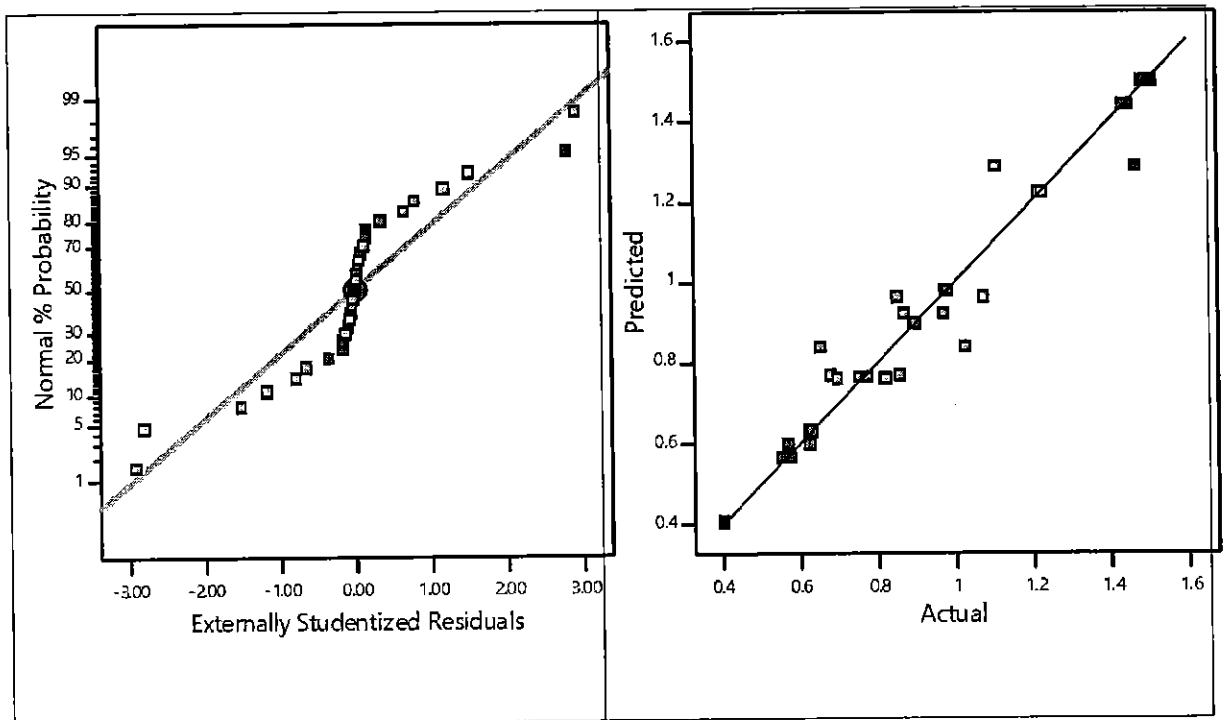
Source	Sum of	df	Mean	F-value	P - value
Model	2,972518	13	0,228655	20,95669	<<0,0001
A-FT	0,001711	1	0,001711	0,156828	0,696749
B-LM	0,031501	1	0,031501	2,887081	0,106509
C-NP	0,307328	1	0,307328	28,1672	<<0,0001
D-NC	0,002592	1	0,002592	0,237562	0,631856
E-V	0,00714	1	0,00714	0,654406	0,429105
F-f	1,718658	1	1,718658	157,5183	<<0,0001
AB	0,21125	1	0,21125	19,36147	0,000345
AC	0,121525	1	0,121525	11,13795	0,003666
AD	0,017485	1	0,017485	1,602488	0,221691
AE	0,044551	1	0,044551	4,083196	0,058444
AF	0,005513	1	0,005513	0,505231	0,48632
BC	0	0			
BD	0,12525	1	0,12525	11,47941	0,003277
BF	0,378015	1	0,378015	34,64581	<<0,0001
Residual	0,196395	18	0,010911		
Lack of Fit	0,006283	2	0,003142	0,264402	0,770954
Pure Error	0,190112	16	0,011882		

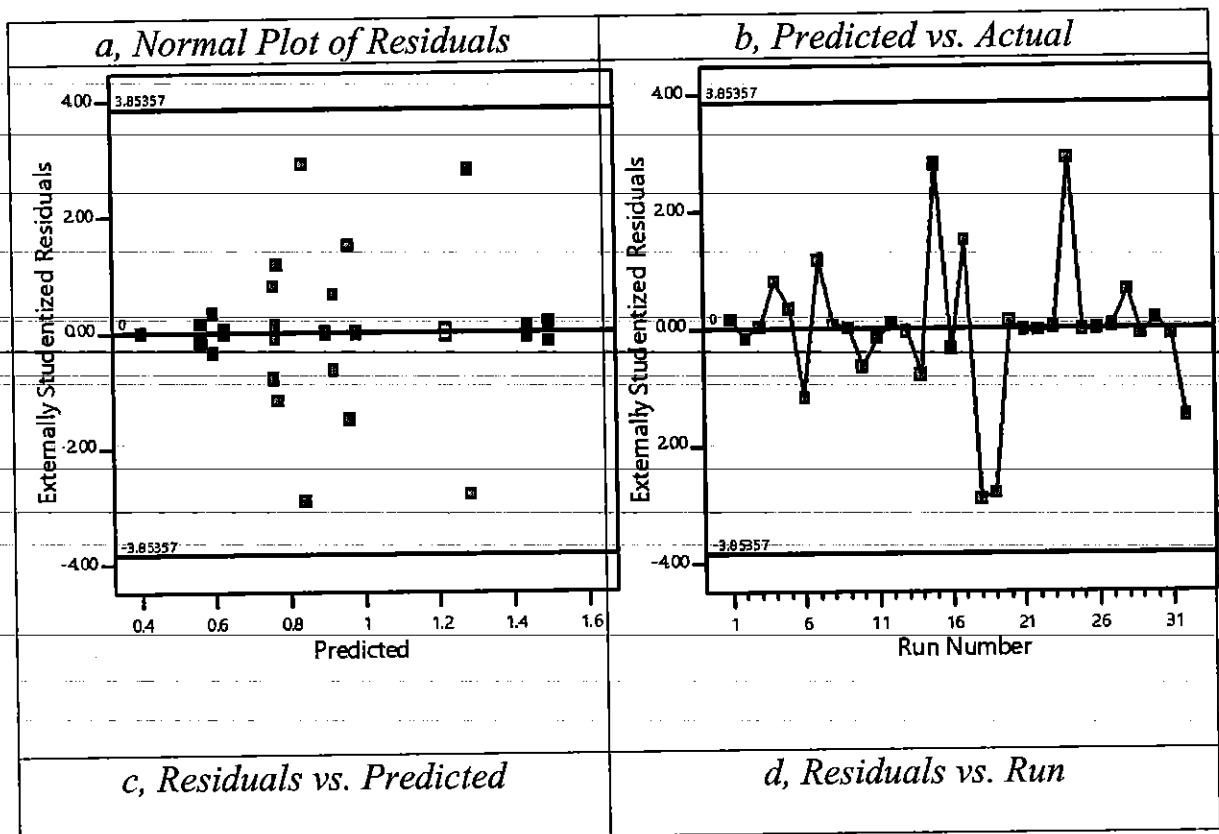
Cor Total	3,168913	31			
-----------	----------	----	--	--	--

Mức độ ảnh hưởng này được thể hiện rõ trong biểu đồ pareto như Hình 2. 4. Kết quả cho thấy các yếu tố F, C và tương tác B*F, A*B, B*D và A*C có thể ảnh hưởng đáng kể tới hàm mục tiêu Ra. Các yếu tố F, C và tương tác B*F, A*B là các yếu tố quan trọng, chắc chắn ảnh hưởng tới hàm mục tiêu Ra do nằm trên đường giới bonferroni. Trong đó lượng chạy dao f là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất tới trị số nhám bề mặt và loại hạt nano cũng ảnh hưởng đáng kể tới trị số nhám bề mặt. Tương tác giữa phương pháp bôi trơn làm nguội với lượng chạy dao (B*F) và tương tác giữa loại dầu với phương pháp bôi trơn làm nguội (A*B) cũng ảnh hưởng đáng kể tới nhám bề mặt. Phương pháp bôi trơn làm nguội (B), vận tốc cắt (E), loại dầu cắt, nồng độ dung dịch (D) và các tương tác A*D, A*E có thể ảnh hưởng nhỏ tới đến nhám bề mặt. Các yếu tố và tương tác khác gần như không ảnh hưởng tới giá trị nhám bề mặt.



Hình 2.4: Biểu đồ pareto





Hình 2. 5. Biểu đồ đánh giá sự phù hợp của mô hình

Kết quả đánh giá mức độ phù hợp của mô hình sử dụng được thể hiện trên các biểu đồ Hình 2. 5. Hình 2. 5a miêu tả biểu đồ xác suất chuẩn (normal plot), biểu đồ cho biết phần dư của các điểm thí nghiệm đều bám theo đường thẳng màu đỏ, do đó phần dư có tuân theo phân phối chuẩn. Biểu đồ Hình 2. 5b cho biết các giá trị trị số nhám bề mặt dự đoán khá sát với các giá trị độ nhám thực tế khi sử dụng mô hình hồi quy đã dự đoán. Biểu đồ phần dư so với dự đoán (Hình 2. 5c) và biểu đồ phần dư tại các điểm thí nghiệm (Hình 2. 5d) cho thấy các giá trị tính toán đều nằm trong vùng giới hạn, nghĩa là mô hình lựa chọn là phù hợp và không cần thực hiện chuyển đổi mô hình. Như vậy, sử dụng mô hình bậc nhất có tương tác giữa hai yếu tố để đánh giá ảnh

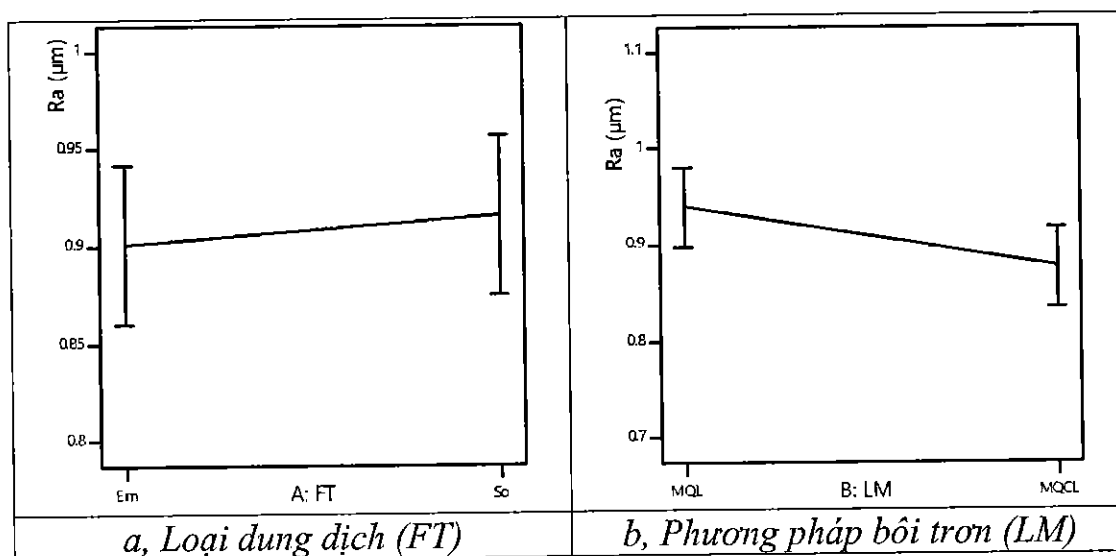
hường của các thông số đầu vào tới trị số nhám bề mặt là phù hợp và có ý nghĩa thống kê.

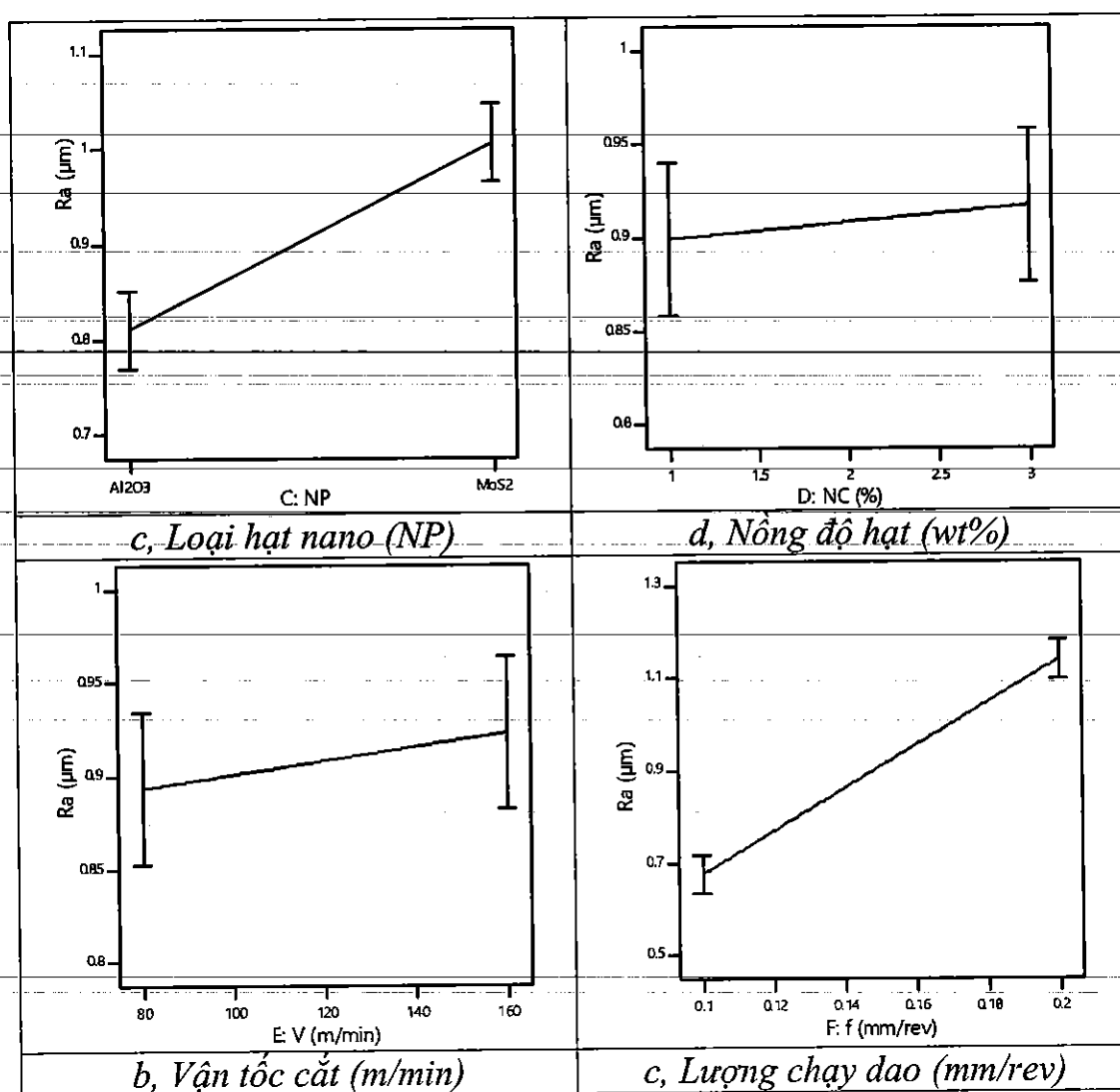
2.3.2 Ảnh hưởng của các biến khảo sát và tương tác giữa chúng tới hàm mục tiêu nhám bề mặt R_a

Ảnh hưởng của từng biến khảo sát tới nhám bề mặt khi tiện cứng thép 90CrSi với các điều kiện công nghệ khác nhau được mô tả trong Hình 2. 6. Ảnh hưởng tương tác giữa các biến khảo sát tới hàm mục tiêu R_a được thể hiện trên hình Hình 2. 7.

Kết quả hiển thị trên Hình 2. 6a cho thấy trị số độ nhám bề mặt trung bình khi sử dụng dầu đậu nành lớn hơn so với sử dụng dầu emulsion. Nguyên nhân là do dầu đậu nành có nhiệt độ cháy thấp nên bị cháy khi nhiệt độ cắt cao và làm mất khả năng bôi trơn. Tuy nhiên, khi thêm hạt nano vào dầu đậu nành làm độ nhớt và tăng khả năng chịu nhiệt của dầu nano từ đó cải thiện hiệu quả bôi trơn.

Kết quả hiển thị trên Hình 2. 6b cho thấy việc sử dụng MQCL cho trị số nhám bề mặt nhỏ hơn so với khi sử dụng MQL. Nguyên nhân là do ngoài việc làm tăng hiệu quả bôi trơn thì MQCL còn có khả năng làm nguội vùng cắt rất tốt.





Hình 2. 6. Ảnh hưởng độc lập của các thông số khảo sát tới hàm mục tiêu R_a

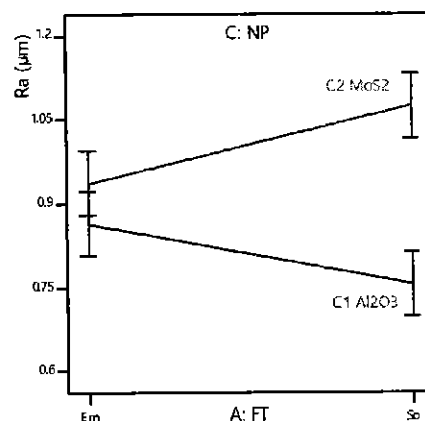
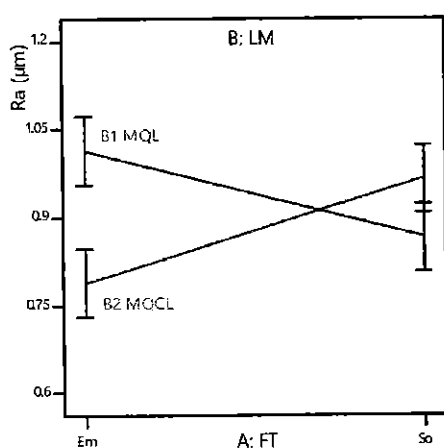
Kết quả hiển thị trên Hình 2. 6c cho thấy loại hạt nano ảnh hưởng lớn tới trị số nhám bề mặt. Khi sử dụng dầu Al₂O₃ NF cho trị số nhám bề mặt nhỏ hơn so với khi sử dụng dầu MoS₂ NF. Nguyên nhân là do hạt Al₂O₃ có hệ số dẫn nhiệt lớn làm tăng khả năng chịu nhiệt của dầu cắt nano nên tăng hiệu quả bôi trơn của dầu. Ngoài ra, hạt nano Al₂O₃ có độ cứng cao hơn, đồng thời có dạng cầu tạo các “viên bi” trong vùng cắt làm giảm vết cào xước nên R_a giảm, còn hạt nano MoS₂ có cấu trúc dạng lớp nên có tác dụng chính làm giảm ma sát trong vùng cắt.

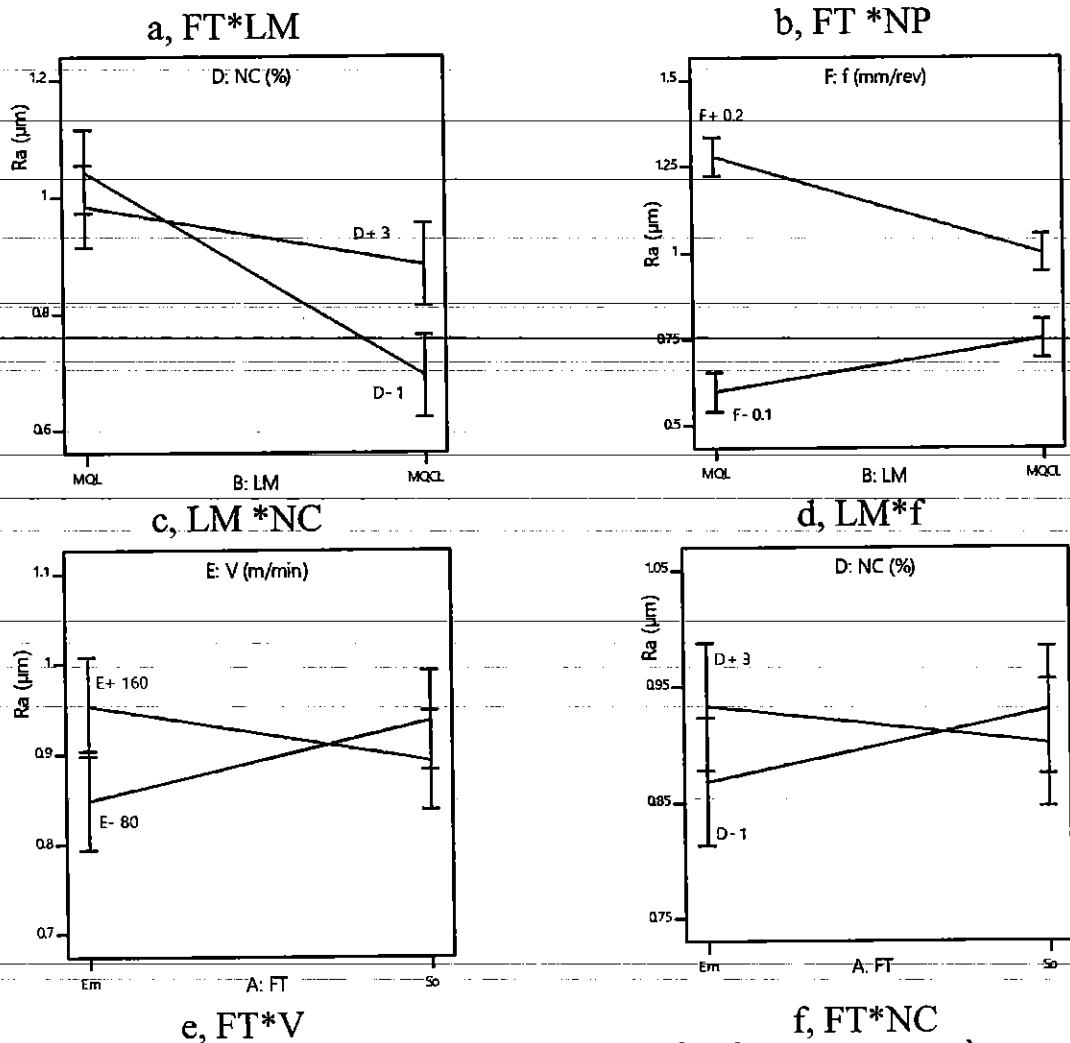
Nồng độ hạt trong dầu cắt nano cũng ảnh hưởng tới trị số nhám bề mặt, khi gia công với nồng độ hạt 1% cho trị số nhám nhỏ hơn khi gia công với

nồng độ hạt 3% (Hình 2. 6d). Nguyên nhân là do việc tăng nồng độ hạt Al_2O_3 gây ra hiện tượng chèn ép các “viên bi” gây cào xước bề mặt nên tăng trị số R_a , còn việc tăng nồng độ hạt nano MoS_2 làm tăng mật độ hạt bám dính vào vùng đỉnh lưỡi cắt gây cào xước bề mặt nên tăng trị số R_a . Tuy nhiên cần có những nghiên cứu bổ sung để phân tích rõ ảnh hưởng và xác định nồng độ hạt nano tối ưu để đạt được giá trị nhỏ nhất của trị số nhám bề mặt.

Kết quả hiển thị trên Hình 2. 6e cho thấy trị số nhám bề mặt trung bình khi gia công với vận tốc 80 m/ph nhỏ hơn khi gia công với vận tốc cao 160 m/ph. Nguyên nhân là do trong quá trình tiện cứng, lực cắt tăng khi vận tốc cắt tăng gây ra rung động làm tăng trị số nhám bề mặt. Tuy nhiên, khi sử dụng dầu cắt nano với phương pháp MQL hoặc MQCL cho phép tăng vận tốc cắt lớn hơn so với quá trình tiện cứng thông thường mà vẫn đảm bảo trị số nhám bề mặt. Để phân tích rõ ảnh hưởng của vận tốc cắt với các điều kiện khác nhau và xác định được vùng vận tốc cắt tối ưu thì cần có nghiên cứu bổ sung.

Kết quả hiển thị trên Hình 2. 6f cho thấy trị số nhám bề mặt tăng mạnh khi tăng lượng chạy dao, chứng tỏ trong quá trình tiện cứng trị số nhám bề mặt ảnh hưởng rất lớn bởi các yếu tố hình học. Điều này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đây, nhưng để xác định được ảnh hưởng tương tác giữa lượng chạy dao với các yếu tố khác và để đánh giá hiệu quả gia công trong các điều kiện gia công thô hoặc gia công tinh thì cần phân tích ảnh hưởng của lượng chạy dao tới trị số nhám bề mặt là cần thiết.





Hình 2. 7. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố tới độ nhám bề mặt

Ảnh hưởng tương tác giữa loại dầu cắt và phương pháp bôi trơn làm nguội (FT*LM): Kết quả cho thấy giá trị nhám bề mặt bị ảnh hưởng lớn khi thay đổi phương pháp bôi trơn làm nguội và loại dầu cắt. Dầu đục nhám cho trị số nhám bề mặt nhỏ hơn so với dầu emulsion khi áp dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQL (Hình 2. 7a). Khi sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQCL, trị số nhám bề mặt nhỏ khi dung dịch bôi trơn làm nguội có độ nhớt nhỏ như Emulsion. Nguyên nhân là do dung dịch Emulsion có độ nhớt thấp hơn nên dễ dàng bị phân tách thành các hạt nhỏ để xâm nhập vào vùng cắt, nhất là khi sử dụng MQCL có nhiệt độ thấp.

*Ảnh hưởng tương tác giữa loại dầu cắt và loại hạt nano (FT*NP), Hình 2. 7b:* Khi thay đổi loại hạt nano trộn vào dầu cắt làm thay đổi xu hướng ảnh hưởng tới trị số nhám bề mặt. Khi sử dụng hạt nano MoS_2 trộn vào dầu emulsion sẽ cho trị số nhám bề mặt nhỏ hơn so với khi trộn vào dầu đậu nành. Trong khi trộn hạt Al_2O_3 vào dầu đậu nành lại cho trị số nhám bề mặt nhỏ hơn. Nguyên nhân là do hạt MoS_2 có dạng lớp nên dễ dàng tồn tại ở dạng huyền phù trong môi trường dầu Emulsion và tạo thành lớp màng, tăng khả năng bôi trơn của dầu emulsion. Trong khi dầu đậu nành có độ nhớt cao nhưng nhiệt độ cháy thấp nên khi trộn hạt Al_2O_3 có hệ số dẫn nhiệt cao làm tăng khả năng chịu nhiệt dầu nên cải thiện khả năng bôi trơn và làm giảm nhám bề mặt.

*Ảnh hưởng tương tác giữa phương pháp bôi trơn làm nguội và nồng độ hạt (LM*NC), Hình 2. 7c:* khi tăng nồng độ hạt từ 1% lên 3% thì trị số nhám bề mặt thay đổi rất ít khi sử dụng MQL và tăng mạnh khi sử dụng MQCL. Trị số nhám bề mặt cũng đạt giá trị nhỏ hơn khi dùng MQCL so với MQL.

*Ảnh hưởng tương tác giữa phương pháp bôi trơn làm nguội và lượng chạy dao (LM*f), Hình 2. 7d:* Khi gia công với lượng chạy dao nhỏ (gia công tinh), sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQL cho trị số nhám bề mặt nhỏ hơn so với sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội MQCL. Khi gia công với lượng chạy dao 0.2 mm/rev, sử dụng phương pháp MQCL cho trị số nhám bề mặt nhỏ hơn. Nguyên nhân là do tăng lượng chạy dao lớn làm cho nhiệt cắt lớn và phương pháp MQCL vừa có hiệu quả bôi trơn vừa có hiệu quả làm nguội.

*Ảnh hưởng tương tác giữa loại dầu cắt và vận tốc cắt (FT*V), Hình 2. 7e:* Khi tăng vận tốc cắt từ 80 m/min lên 160 m/min thì trị số nhám bề mặt thay đổi khác nhau với các loại dầu cắt khác nhau. Khi sử dụng dầu emulsion thì trị số nhám bề mặt tăng đáng kể khi tăng vận tốc cắt. Trong khi sử dụng dầu đậu nành trị số nhám bề mặt giảm ít khi tăng vận tốc cắt.

*Ảnh hưởng tương tác giữa lượng chạy dao và nồng độ hạt (f*NC), Hình 2. 7f: tương tác giữa lượng chạy dao và nồng độ hạt ảnh hưởng ít tới trị số nhám bề mặt. Sử dụng dầu emulsion cho trị số nhám bề mặt tăng khi nồng độ hạt nano tăng. Trong khi sử dụng dầu đậu nành thì trị số nhám bề mặt trung bình thay đổi không nhiều khi tăng nồng độ hạt.*

2.4 Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ tới lực cắt tổng

Phân tích ANOVA cho giá trị lực cắt tổng với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$ được thực hiện trên phần mềm Design expert 11. Kết quả phân tích ANOVA được thể hiện trong bảng 2.5.

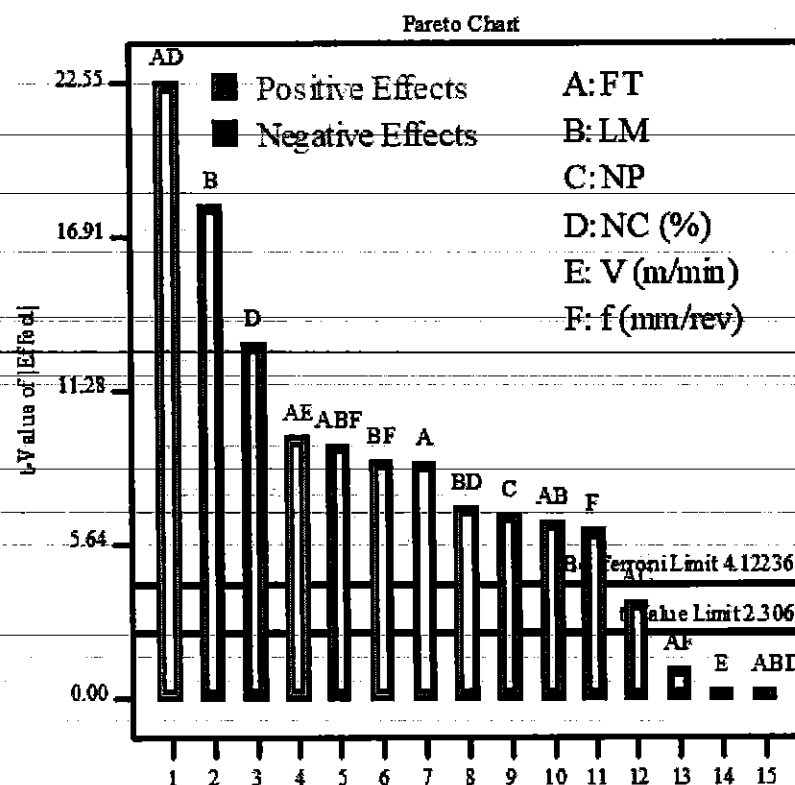
Kết quả phân tích cho thấy giá trị hệ số Fisher cho mô hình khá lớn 19.39 và giá trị P rất nhỏ so với 0.05, điều đó chứng tỏ mô hình dự đoán là phù hợp và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu. Trong đó các yếu tố khảo sát A, B, C, D, F và các tương tác AB, AD, AE, BD, BF ảnh hưởng chính tới hàm mục tiêu Fr. Ngoài ra, hệ số R2 (93%) và hệ số adj R2 (88,5%) lớn, cũng chứng tỏ mức độ phù hợp của mô hình khảo sát.

Mức độ ảnh hưởng của các biến khảo sát và tương tác giữa chúng tới giá trị lực cắt tổng Fr cũng được thể hiện trên biểu đồ Pareto, hình 2.8. Đường giới hạn bonferroni có giá trị 4.122 (màu đỏ) và đường giới hạn T có giá trị 3.01 (màu đen). Tất cả các biến và tương tác giữa chúng mà nằm trên đường giới hạn bonferroni thì chắc chắn ảnh hưởng tới giá trị hàm mục tiêu Fr. Trong khi các yếu tố nằm trên đường giới hạn T thì có khả năng cao ảnh hưởng tới giá trị hàm mục tiêu Fr.

Bảng 2. 5. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt tổng

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	178060.8	13	13696.98	19.3943	5.91E-08
A-FT	9205.893	1	9205.893	13.03512	0.002
B-LM	40582.32	1	40582.32	57.46269	5.23E-07
C-NP	5599.635	1	5599.635	7.928825	0.011442
D-NC (%)	21024.16	1	21024.16	29.76924	3.5E-05

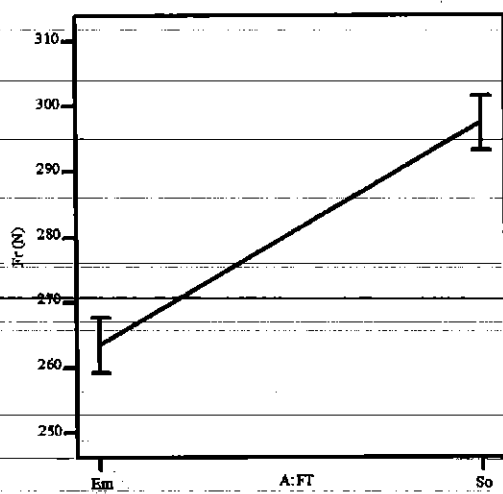
E-V (m/min)	10.48815	1	10.48815	0.014851	0.904357
F-f (mm/rev)	4705.019	1	4705.019	6.66209	0.018832
AB	5192.014	1	5192.014	7.351652	0.014301
AC	1500.983	1	1500.983	2.125322	0.162109
AD	63336.5	1	63336.5	89.68156	2.05E-08
AE	11361.56	1	11361.56	16.08744	0.00082
AF	143.3587	1	143.3587	0.202989	0.657698
BC	0	0			
BD	6020.322	1	6020.322	8.524498	0.009148
BE	0	0			
BF	9378.541	1	9378.541	13.27958	0.001856
CD	0	0			
CE	0	0			
CF	0	0			
DE	0	0			
DF	0	0			
EF	0	0			
Residual	12712.28	18	706.2377		
Lack of Fit	10719.63	2	5359.814	43.03666	3.64E-07
Pure Error	1992.65	16	124.5407		



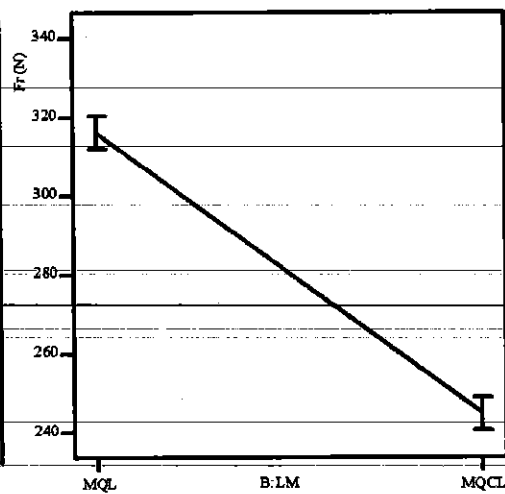
Hình 2. 8 Biểu đồ Pareto cho hàm mục tiêu Fr

Ảnh hưởng độc lập của các yếu tố khảo sát được thể hiện trên hình 2.9. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố khảo sát tới lực cắt tổng Fr được thể hiện trên hình 2.10. Kết quả thể hiện trên hình 2.9a cho thấy khi gia công với dầu nano thì sử dụng dầu cắt Emulsion có lực cắt nhỏ hơn khi sử dụng dầu đậu nành. Hình 2.9b cho thấy phương pháp MQCL cho lực cắt nhỏ hơn phương pháp MQL. Tuy nhiên khi sử dụng MQL, dầu em cho lực cắt nhỏ hơn nhiều so với dầu So, còn khi sử dụng MQCL thì lực cắt Fr ít chịu ảnh hưởng của loại dầu, hình 2.10a.

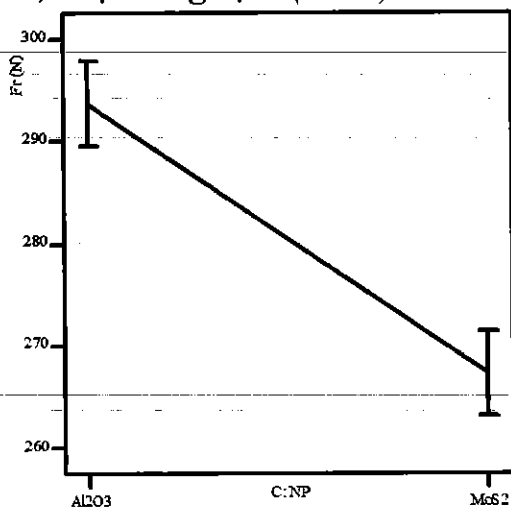
Kết quả phân tích cũng cho thấy khi sử dụng hạt MoS₂ cho lực cắt nhỏ hơn khi sử dụng hạt Al₂O₃ (hình 2.9c). Trong khi lực cắt tổng Fr cũng giảm khi tăng nồng độ hạt nano. Kết quả trên hình 4d cho thấy trong phạm vi khảo sát, lực cắt tổng ít bị ảnh hưởng bởi vận tốc cắt. Tuy nhiên, lực cắt lại giảm khi tăng lượng chạy dao từ 0.1 đến 0.2 mm/rev. Nguyên nhân có thể là do, khi tăng lượng chạy dao tạo điều kiện thuận lợi cho dầu nano xâm nhập vào vùng cắt và giảm lực cắt Fr.



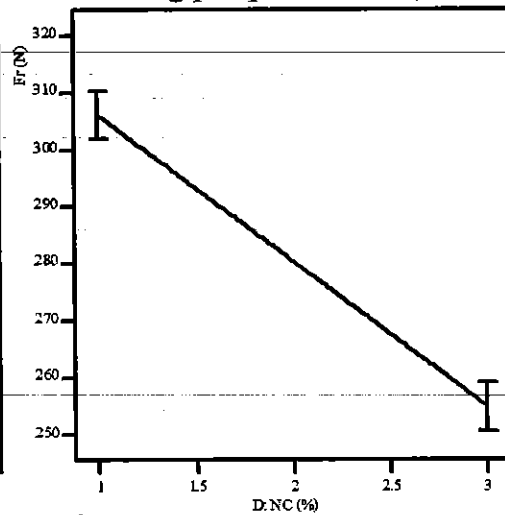
a, Loại dung dịch (A-FT)



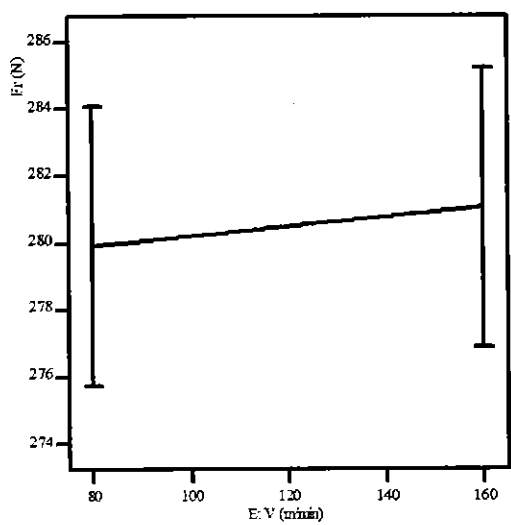
b, Phương pháp bôi trơn (B:LM)



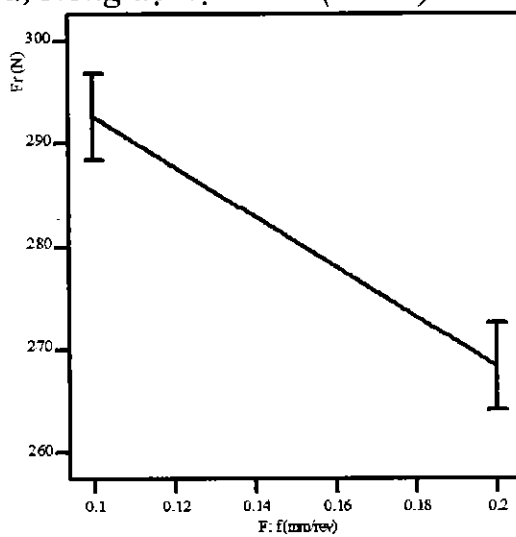
c, Hạt nano (C-FT)



d, Nồng độ hạt nano (D-NC)

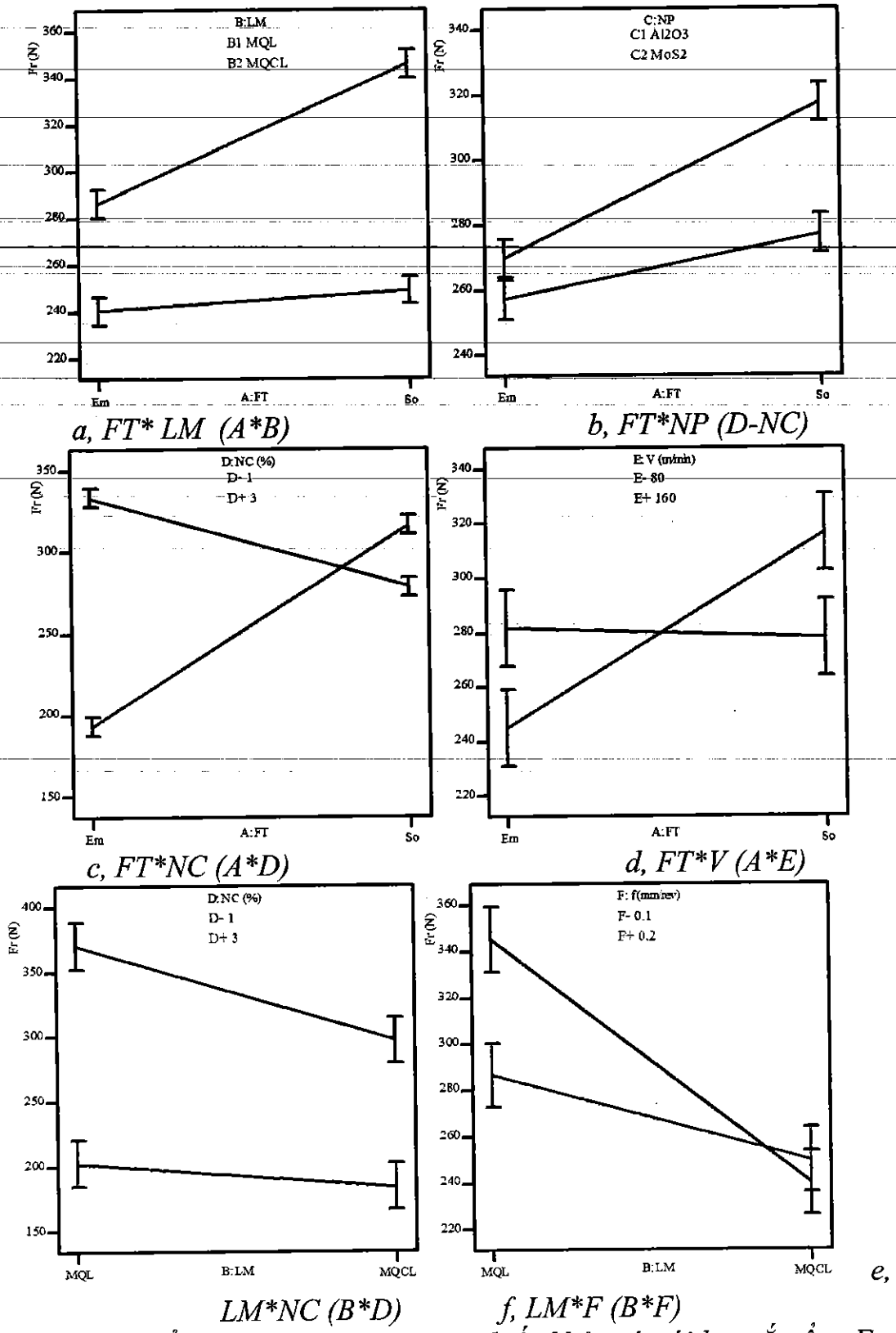


e, Vận tốc cắt (V-FT)



f, Lượng chạy dao (D-NC)

Hình 2. 9 Ảnh hưởng của các biến khảo sát tới lực cắt tổng Fr



Hình 2. 10 Ảnh hưởng tương tác giữa biến khảo sát tới lực cắt tổng Fr

2.4 Kết luận chương 2

Phân tích phương sai (ANOVA) cho trị số nhám bề mặt trong thí nghiệm phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ (loại dầu, phương pháp bôi trơn làm nguội, loại hạt nano, tỷ lệ hạt, vận tốc cắt và lượng chạy dao) tới trị số nhám bề mặt được thực hiện trên phần mềm design expert 11. Nghiên cứu đã cho thấy mô hình 2FI là phù hợp để phân tích mức độ và xu hướng ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát tới trị số nhám bề mặt và lực cắt tổng Fr.

Nghiên cứu đã đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố khảo sát và tương tác giữa chúng tới hàm mục tiêu là nhám bề mặt và lực cắt tổng Fr. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi loại hạt nano và lượng chạy dao là hai yếu tố ảnh hưởng lớn tới trị số nhám bề mặt, trong khi ảnh hưởng độc lập của các yếu tố khác tới trị số nhám bề mặt là nhỏ hơn. Các tương tác FT*LM, FT*NP LM*NC và LM*f ảnh hưởng đáng kể tới giá trị nhám bề mặt. Trong khi, phương pháp bôi trơn, nồng độ hạt, loại dung dịch, loại hạt, lượng chạy dao và tương tác giữa chúng ảnh hưởng lớn tới lực cắt tổng Fr

Kết quả phân tích cho thấy sử dụng phương pháp MQL với dầu emulsion trộn hạt nano MoS₂ hoặc phương pháp MQCL với dầu đậu nành trộn hạt nano Al₂O₃ có thể giảm trị số nhám bề mặt khi tiện cứng thép hợp kim 90CrSi. Phân tích cũng cho thấy khi gia công với dầu nano thì sử dụng dầu cắt Emulsion có lực cắt nhỏ hơn khi sử dụng dầu đậu nành, sử dụng phương pháp MQCL cho lực cắt nhỏ hơn phương pháp MQL. Nhưng khi sử dụng MQL, dầu em cho lực cắt nhỏ hơn nhiều so với dầu So.

Tuy nhiên, ứng với mỗi loại dầu cắt, phương pháp bôi trơn làm nguội và loại hạt nano nhất định thì vận tốc cắt, tỷ lệ hạt và lượng chạy dao có xu hướng ảnh hưởng khác nhau tới giá trị nhám bề mặt và lực cắt Fr. Do đó cần tiến hành các thí nghiệm bổ sung để xác định mức giá trị tối ưu với từng phương pháp bôi trơn làm nguội.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ HẠT NANO VÀ CHẾ ĐỘ CẮT ĐẾN NHÁM BỀ MẶT KHI TIỆN CỨNG THÉP 90CrSi SỬ DỤNG MoS₂ NF MQL

3.1 Phương pháp nghiên cứu

Mục tiêu chính của các nghiên cứu thực nghiệm là tìm giá trị cực trị hoặc vùng tối ưu cho một quá trình hay các điều kiện tối ưu để vận hành một hệ thống. Có nhiều phương pháp được sử dụng trong các bài toán tối ưu hóa, trong đó tối ưu hóa sử dụng phương pháp bề mặt chỉ tiêu được sử dụng phổ biến.

Khi mô hình thí nghiệm 2 mức không đáp ứng được, thì mô hình thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu được sử dụng để mô tả chính xác quan hệ giữa hàm mục tiêu và các thông số thí nghiệm. Mô hình thí nghiệm 3 mức được xây dựng nhằm xác định được mô hình mô tả và dự đoán được giá trị của hàm mục tiêu.

Phương pháp bề mặt chỉ tiêu rất hiệu quả trong việc phát triển và nâng cao hiệu quả của các quá trình gia công. Nội dung chính của phương pháp bề mặt chỉ tiêu là sử dụng một chuỗi các thí nghiệm với các mục đích sau:

- Chỉ ra một tập hợp các biến đầu vào sao cho tạo ra ứng xử của đối tượng nghiên cứu là tốt nhất.
- Xác định các biến đầu vào nhằm đạt được các yêu cầu cụ thể về ứng xử của đối tượng nghiên cứu.
- Xác định các điều kiện vận hành mới đảm bảo cải thiện chất lượng hoạt động của đối tượng so với tình trạng hiện tại.
- Mô hình hóa quan hệ giữa biến đầu vào với ứng xử của đối tượng nghiên cứu làm cơ sở để dự đoán hay điều khiển quá trình hay hệ thống.

Để đạt được mục đích trên phương pháp bề mặt chỉ tiêu thực hiện việc xây dựng hàm mô tả bề mặt chỉ tiêu phụ thuộc vào các thông số đầu vào.

Trong nghiên cứu sử dụng phương pháp thiết kế thí nghiệm Box-kehn

với 3 thông số khảo sát (Nồng độ hạt, vận tốc cắt và lượng chạy dao), được phát triển với 30 thí nghiệm. Với các mức giá trị của biến khảo sát được thể hiện trong Bảng 3. 1 **Bảng 3. 1. Các giá trị thông số đầu vào và biến thí nghiệm.**

Bảng 3. 1. Các giá trị thông số đầu vào và biến thí nghiệm trong mô hình Box - Behnken

TT	Tên biến	Ký hiệu	Mức thấp	Mức cao	Hàm mục tiêu
1	Nồng độ hạt (%)	NC	1	3	Nhám bề mặt R_a , lực cắt tổng Fr
2	Vận tốc cắt (m/min)	V	80	160	
3	Lượng chạy dao (mm/rev)	f	0,1	0,2	

Sử dụng phần mềm quy hoạch và xử lý số liệu thí nghiệm Design Expert 11 xây dựng ma trận 30 thí nghiệm theo mô hình quy hoạch tối ưu Box - Behnken với 03 biến, hai mức, lặp 2. Triển khai thí nghiệm theo trình *RunOrder*, trị số R_a được đo sau mỗi lượt gia công bằng máy đo độ nhám SJ210; Ba thành phần lực cắt được đo trong mỗi thí nghiệm bằng cảm biến lực cắt Kistler. Kết quả các thông số đánh giá theo sơ đồ quy hoạch thực nghiệm được thể hiện trong Bảng 3. 2.

Bảng 3. 2. Sơ đồ quy hoạch và kết quả thí nghiệm

Std	Run	A: NC (wt%)	B: V (m/min)	C:f (mm/rev)	Ra (μ m)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
1	27	1	80	0.15	0.766	46,96	408,31	48,41
2	14	3	80	0.15	0.730	50,22	414,58	50,34
3	5	1	160	0.15	0.600	54,01	409,39	46,89

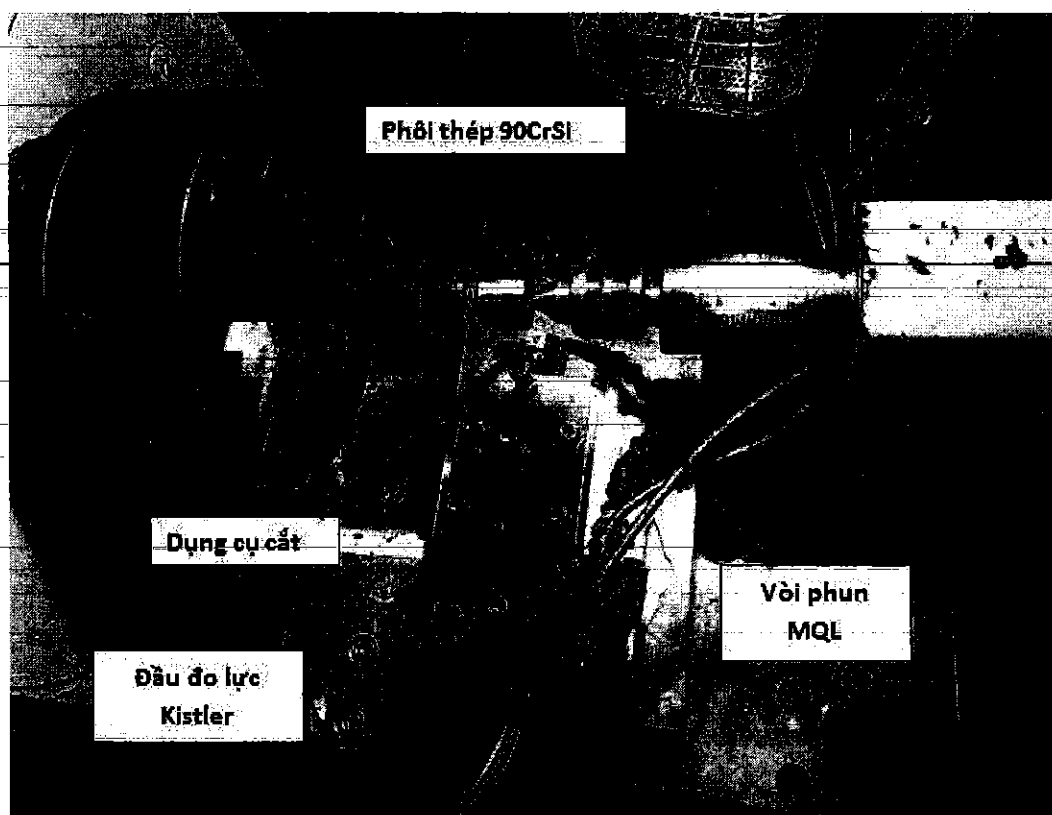
Std	Run	A: NC (wt%)	B: V (m/min)	C:f (mm/rev)	Ra (μm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
4	9	3	160	0.15	0.686	46,25	371,28	46,23
5	15	1	120	0.1	0.504	52,68	540,16	62,51
6	26	3	120	0.1	1.157	44,9	549,45	62,09
7	24	1	120	0.2	1.767	42,11	471,38	51,92
8	18	3	120	0.2	1.111	36,89	448,13	48,32
9	23	2	80	0.1	0.614	49,97	319,12	42,79
10	3	2	160	0.1	0.432	58,26	668,85	58,41
11	29	2	80	0.2	0.948	94,14	398,16	43,22
12	4	2	160	0.2	1.397	67,69	390,49	54,44
13	16	2	120	0.15	0.805	61,73	422,22	52,74
14	8	2	120	0.15	0.912	44,12	338,99	38,09
15	19	2	120	0.15	0.452	47,87	377,35	49,58
16	6	1	80	0.15	0.843	45,97	441,03	52,36
17	1	3	80	0.15	0.858	49,01	418,38	51,21
18	12	1	160	0.15	0.573	49,01	418,38	51,21
19	2	3	160	0.15	0.654	53,24	391,74	45,15
20	28	1	120	0.1	0.548	46,68	367,69	45,65
21	22	3	120	0.1	1.050	46,68	367,69	45,65
22	10	1	120	0.2	1.599	55,56	540,14	62,28
23	21	3	120	0.2	1.432	49,68	557,1	60,52
24	13	2	80	0.1	0.589	42,57	491,93	51,35
25	25	2	160	0.1	0.381	35,98	454,14	47,55

Std	Run	A: NC (wt%)	B: V (m/min)	C:f (mm/rev)	Ra (μm)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
26	17	2	80	0.2	0.820	54,77	333,81	44,78
27	30	2	160	0.2	1.037	34,69	686,34	52,9
28	20	2	120	0.15	0.535	90,25	375,36	42,91
29	7	2	120	0.15	0.939	67,6	386,63	55,91
30	11	2	120	0.15	0.821	40,57	342,9	43,48

3.2. Hệ thống thí nghiệm

Với mục đích phân tích ảnh hưởng của các thông số công nghệ (nồng độ hạt nano, vận tốc cắt và lượng chạy dao) khi tiện cứng thép 90CrSi sử dụng MoS₂ NF MQL, một hệ thống thí nghiệm được xây dựng theo sơ đồ hình *Hình 3. 1*. Máy tiện CS-460x1000 do Đài loan sản xuất được sử dụng trong các thí nghiệm. Phôi thí nghiệm làm bằng thép 90CrSi có đường kính 40 mm đã được nhiệt luyện đạt độ cứng 60-62 HRC. Các thí nghiệm đều sử dụng mảnh dao tiện hợp kim cứng có phủ của hãng Tungalloy sản xuất. Hệ thống MQL sử dụng đầu phun MQL của hãng NOGA (Noga minicool MC1700). Vòi phun được gá sao cho dòng dung dịch được phun vào mặt sau của dụng cụ cắt. Trong đó, dầu cắt nano MoS₂ trên nền là dầu emusil (MoS₂ NF) được lựa chọn sử dụng trong các thí nghiệm. Hạt nano MoS₂ được trộn vào dung dịch dầu emusil và được rung siêu âm với tần số 40Khz trong thùng chỉ 30 – 45 ph bằng bể rung Ultrasons –HD ultrasonicator. Hạt nano MoS₂ có cấu trúc dạng lớp với kích thước trung bình 30nm được sản xuất bởi hãng Luoyang Trung Quốc. Trong quá trình thí nghiệm, một số thông số được cố định bao gồm Áp suất dòng khí P=6 Bar và lưu lượng dòng khí 200 l/min; chiều sâu cắt t= 0.15 mm; Trị số nhám của bề mặt gia công được đo ba lần với chiều dài chuẩn 0,8 mm trên máy đo độ nhám SJ210 của hãng mitutoyo,

Nhật Bản.



Hình 3. 1. Mô hình thí nghiệm

3.3. Phân tích ảnh hưởng của thông số công nghệ tới nhám bề mặt

Phân thống kê (ANOVA)

Kết quả phân tích phương sai ANOVA trên phần mềm Design expert 11 cho trị số nhám bề mặt với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$ được thể hiện trong **Bảng 3. 3**; Kết quả phân tích cho thấy hệ số Fisher (F-Value) tính cho mô hình khảo sát lớn (15.65) và giá trị xác suất P nhỏ hơn 0.05 chứng tỏ mô hình bậc 2 đã lựa chọn là phù hợp, và chỉ có 0,01% khả năng mô hình này còn chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố nhiễu. Lượng chạy dao (f), tương tác nồng độ hạt và vận tốc cắt ($NC \cdot V$), tương tác giữa vận tốc cắt và lượng chạy dao ($V \cdot f$), các tương tác bậc 2 NC^2 , V^2 và f^2 có hệ số Fisher lớn và giá trị xác suất P nhỏ hơn 0.05, chứng tỏ có ý nghĩa thống kê và ảnh hưởng đáng kể tới hàm mục tiêu R_a . Các biến có giá trị xác suất P lớn hơn 0.1 thì ít có ý nghĩa trong mô hình

dự đoán. Hệ số Fisher F-value tính cho “Lack of Fit” khá nhỏ (1.14) cho thấy rằng mô hình dự đoán là phù hợp và ít bị ảnh hưởng bởi nhiễu.

Một mô hình hồi quy dự đoán nhám bề mặt đã được xây dựng (Mức độ phù hợp của mô hình hồi quy xác định trị số nhám bề mặt (phương trình 3.1) được đánh giá thông qua hệ số xác định R^2 (Bảng 3. 4). Kết quả cho thấy hệ số xác định $R^2 = 87.57\%$ và hệ số xác định điều chỉnh $R^2 = 81.97\%$ là khá lớn, điều đó chứng tỏ mô hình hồi quy là phù hợp với bộ dữ liệu thí nghiệm. Hệ số xác định dự đoán Predicted sai lệch không lớn so với hệ số xác định điều chỉnh $Adj R^2 = 74.70\%$ và hệ số kiểm tra độ chính xác (Adeq Precision) = 15.796, cũng chứng tỏ mô hình dự đoán trị số nhám bề mặt là phù hợp và có thể dự đoán trị số nhám bề mặt.

$$Ra = 0.67575 + 0.024125NC + 0.0182125V - 19.915f + 0.0005875NC * V - 4.945NC * f + 0.066V * f + 0.16925 + NC^2 - 0.0001246875V^2 + 93.1f^2 \quad (3.1)$$

Bảng 3. 3. Kết quả phân tích ANOVA

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	3,078313	9	0,342035	15,65286	<<0,0001
A-NC	0,01428	1	0,01428	0,653521	0,428369
B-V	0,010404	1	0,010404	0,476128	0,498111
C-f	1,461681	1	1,461681	66,89229	<<0,0001
AB	0,004418	1	0,004418	0,202185	0,657798
AC	0,489061	1	0,489061	22,38134	0,000128
BC	0,139392	1	0,139392	6,379128	0,020098
A ²	0,211536	1	0,211536	9,680743	0,005501
B ²	0,29391	1	0,29391	13,45046	0,001529
C ²	0,400044	1	0,400044	18,30757	0,000367
Residual	0,437025	20	0,021851		
Lack of Fit	0,073218	3	0,024406	1,140449	0,361035
Pure Error	0,363807	17	0,0214		
Cor Total	3,515338	29			

Bảng 3. 4. Hệ số đánh giá mô hình

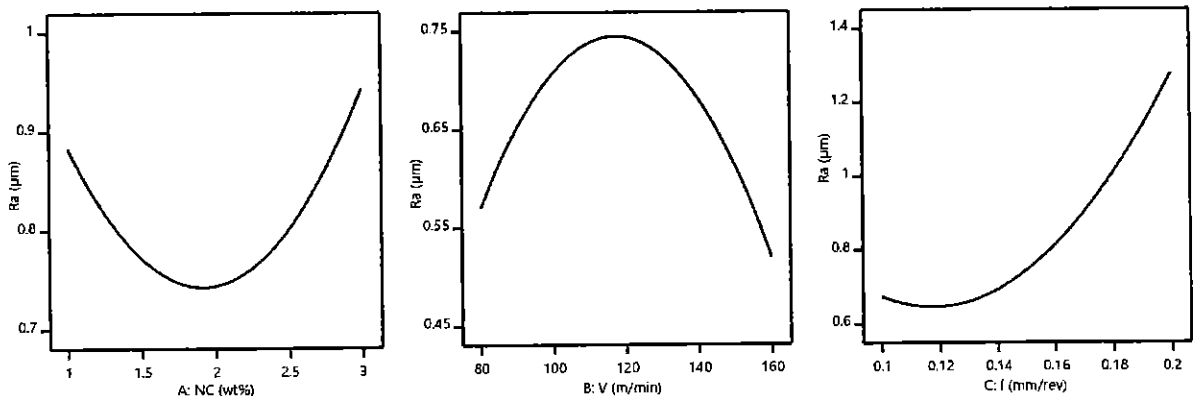
R^2	0,87568
Hệ số R^2 điều chỉnh	0,819737

R ² dự đoán	0,747006
Độ chính xác	15,7962

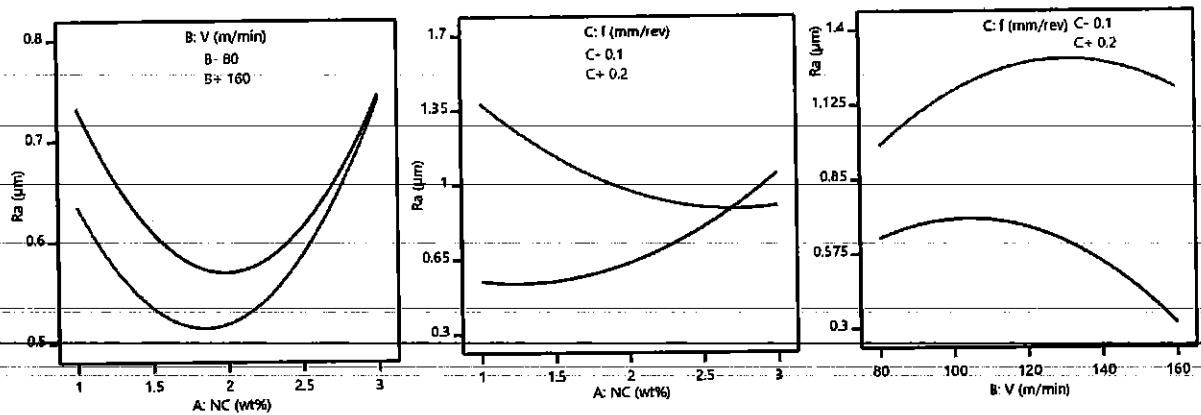
Ảnh hưởng độc lập của các biến khảo sát tới nhám bề mặt Ra

Hình 3.2 Hình 3. 2. Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát tới giá trị trung bình của nhám bề mặt cho thấy đồ thị ảnh hưởng độc lập của các biến khảo sát tới hàm mục tiêu nhám bề mặt R_a. Trong đó, đồ thị ảnh hưởng của nồng độ hạt, vận tốc cắt và lượng chạy dao đến trị số nhám bề mặt đều có điểm uốn chứng tỏ vùng giá trị các biến nồng độ và lượng chạy dao là phù hợp.

Kết quả thể hiện trên Hình 3. 2a cho thấy trị số nhám bề mặt tăng khi tăng nồng độ hạt đạt giá trị nhỏ nhất khi sử dụng nồng độ hạt nano trung bình (2%). Nguyên nhân là do quá trình tiện là một quá trình gia công có vùng cắt hở, góc sau động lớn, nên một phần lượng dầu cắt NF tản ra môi trường, một phần sẽ thoát theo mặt trước tạo điều kiện cho phoi thoát ra dễ dàng, hình 1. Đồng thời, hạt nano MoS₂ có khả năng bôi trơn và có cấu trúc dạng tấm nên với nồng độ hợp lý, hạt nano dễ dàng bám dính vào bề mặt tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành màng dầu NF trong vùng cắt làm giảm ma sát và hiện tượng cào xước do đó làm giảm trị số nhám bề mặt. Tuy nhiên khi tỷ lệ hạt MoS₂ lớn (2-3%) thì có thể xảy ra hiện tượng chèn ép hạt nano MoS₂, hạt nano tích tụ trên lưỡi cắt gây ra hiện tượng cào xước lên bề mặt gia công và làm tăng trị số nhám bề mặt.



a, Ảnh hưởng của nồng độ hạt nano MoS₂ b, Ảnh hưởng của vận tốc cắt c, Ảnh hưởng của lượng chạy dao

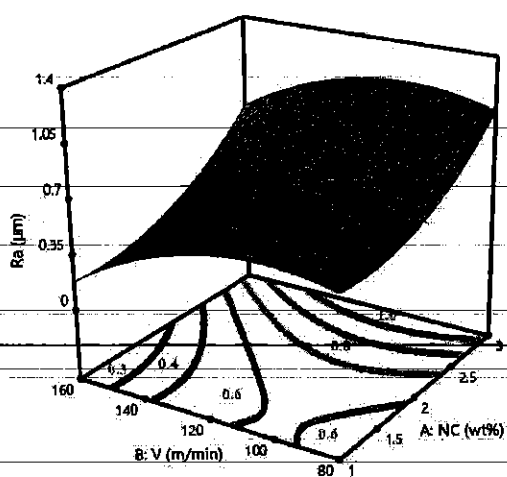


a, Tương tác giữa vận tốc cắt và nồng độ hạt MoS_2 b, Tương tác giữa lượng chạy dao và nồng độ hạt MoS_2 c, Tương tác giữa lượng chạy dao và vận tốc cắt

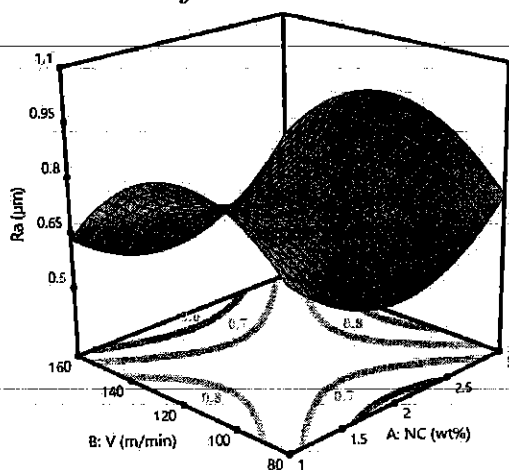
Hình 3.3. Ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố khảo sát tới giá trị nhám bề mặt

Hình 3.3b miêu tả ảnh hưởng tương tác giữa nồng độ hạt và lượng chạy dao. Nhám bề mặt đạt giá trị nhỏ nhất với nồng độ nhỏ và lượng chạy dao nhỏ. Giá trị nhám bề mặt tỷ lệ thuận với nồng độ hạt khi sử dụng lượng chạy dao nhỏ (0.1 mm/rev), nhưng tỷ lệ nghịch với nồng độ hạt khi sử dụng lượng chạy dao lớn (0.2 mm/rev), hình 3b. Nguyên nhân là do khi lượng chạy dao lớn thì diện tích lớp cắt lớn, lượng dầu NF bám trên bề mặt vùng cắt lớn hơn nên khi tăng nồng độ hạt MoS_2 lên đến 3% vẫn chưa xảy ra hiện tượng chèn ép hạt nano và có hiệu quả làm giảm nhám bề mặt. Tương tác giữa lượng chạy dao và vận tốc cắt cũng ảnh hưởng đáng kể tới giá trị nhám bề mặt, hình 3.3c. Kết quả cho thấy nhám bề mặt đạt giá trị nhỏ khi cắt với vận tốc cắt lớn và lượng chạy dao nhỏ. Như vậy, khi cắt thô với lượng chạy dao lớn thì nên chọn vận tốc cắt nhỏ và nồng độ hạt lớn, khi gia công tinh thì nên chọn vận tốc cắt lớn, lượng chạy dao nhỏ và nồng độ hạt nhỏ hơn.

Ảnh hưởng đồng thời giữa vận tốc cắt và nồng độ hạt MoS_2 tới trị số nhám bề mặt ứng với các giá trị vận tốc cắt khác nhau được thể hiện trong biểu đồ hình 3.4-3.6. Biểu đồ bề mặt cho thấy trong vùng khảo sát thì nhám bề mặt đạt giá trị nhỏ hơn khi vận tốc cắt lớn và nồng độ hạt trung bình. Biểu đồ đồng mức cho thấy xu hướng ảnh hưởng của vận tốc cắt và nồng độ hạt nano tới giá trị nhám bề mặt, đồng thời cho biết miền giá trị nhám tối ưu tương ứng với bộ thông số công nghệ phù hợp.

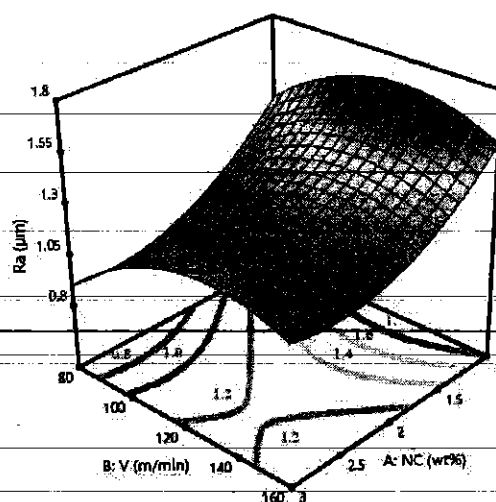


Hình 3. 4. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và nồng độ hạt nano tới nhám bề mặt với $f=0.1 \text{ mm/rev}$



Hình 3. 5. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và nồng độ hạt nano tới nhám bề mặt với $f=0.15 \text{ mm/vòng}$

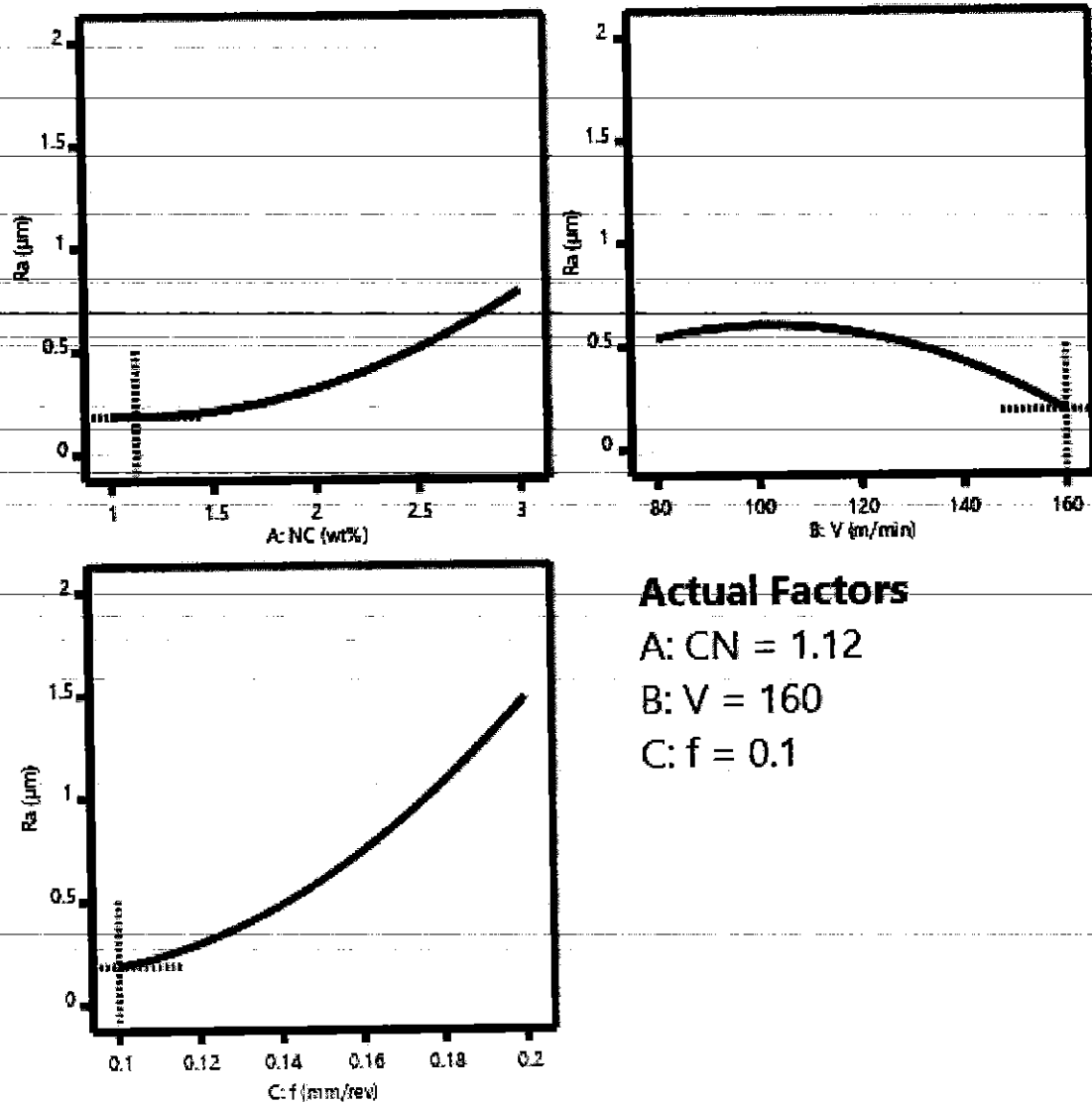
Kết quả hiển thị trên hình 3.4 cho thấy khi gia công tinh ($f=0.1\text{mm/vòng}$), miền giá trị nhám bề mặt nhỏ hơn $0.3 \mu\text{m}$ khi vận tốc cắt lớn hơn 150 m/min và nồng độ hạt trong khoảng $1-2 \text{ wt\%}$. Kết quả hiển thị trên hình 3.5 cho thấy khi gia công với lượng chạy dao trung bình $f=0.15\text{mm/rev}$, chỉ có thể gia công đạt trị số nhám bề mặt nhỏ hơn $0.6 \mu\text{m}$ khi vận tốc cắt lớn hơn 150 m/min và nồng độ hạt trong khoảng 2 wt\% . Kết quả hiển thị trên hình 3.6 cho thấy khi gia công thô ($f=0.2\text{mm/rev}$), chỉ có thể gia công đạt trị số nhám bề mặt nhỏ hơn $0.8 \mu\text{m}$ khi sử dụng vận tốc cắt nhỏ hơn 90 m/min và nồng độ hạt trong khoảng $2-3 \text{ wt\%}$.



Hình 3. 6. Ảnh hưởng của vận tốc cắt và nồng độ hạt nano tới nhám bề mặt với $f=0.2 \text{ mm/vòng}$

Tối ưu hóa nhám bề mặt

Các thông số công nghệ tối ưu cho giá trị nhám bề mặt khi tiện cứng thép 90CrSi sử dụng phương pháp MoS₂ NF MQL được xác định thông qua modul tối ưu hóa trên phần mềm Design Expert 11. Mục tiêu tối thiểu hóa được lựa chọn, vì giá trị nhám bề mặt nhỏ hơn là tốt hơn. Kết quả tối ưu hóa được thể hiện trong hình 3.7. Giá trị nhám bề mặt đạt đến giá trị tối thiểu (0,21 μm) với nồng độ dung dịch nano MoS₂ 1,2%, vận tốc cắt 160 m/phút và lượng chạy dao 0,1 mm/vòng.



Hình 3. 7. Kết quả tối ưu cho nhám bề mặt

3.4. Phân tích ảnh hưởng của thông số công nghệ tới các thành phần của lực cắt

Ảnh hưởng của các thông số công nghệ tới các thành phần của lực cắt được phân tích trên phần mềm Design expert 11. Kết quả phân tích ANOVA cho các thành phần của lực cắt với độ tin cậy 95% được thể hiện trong bảng Bảng 3. 5- 3.7. Kết quả phân tích ANOVA cho Fx được trình bày trong Bảng 3.5. Giá trị F của Mô hình cho Fx là 2,12 cho thấy có 7,78% khả năng xảy ra giá trị F lớn như vậy do nhiều. Giá trị P nhỏ hơn 0,0500 cho biết mức độ ảnh hưởng tới mô hình là đáng kể. Trong trường hợp này, tương tác bậc hai A², B²

là ảnh hưởng đáng kể tới mô hình lực Fx. Các giá trị lớn hơn 0,1000 cho biết các biến hoặc tương tác giữa chúng ảnh hưởng nhỏ tới giá trị lực cắt Fx.

Kết quả phân tích ANOVA cho Fy được trình bày trong Bảng 3.6. Giá trị F của Mô hình cho Fy là 7,95 cho thấy mô hình này là phù hợp. Giá trị P nhỏ hơn 0,0500 cho biết mức độ ảnh hưởng tới mô hình là đáng kể. Trong trường hợp này, các biến B, C, tương tác BC và tương tác bậc hai A², C² là ảnh hưởng đáng kể tới mô hình lực Fy.

Bảng 3. 5. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt Fx

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	2585,681	9	287,2978	2,118178	0,077838
A-CN	70,09876	1	70,09876	0,516821	0,480517
B-V	174,7023	1	174,7023	1,288038	0,269829
C-f	367,8724	1	367,8724	2,712235	0,115205
AB	53,14805	1	53,14805	0,391848	0,538409
AC	0,427812	1	0,427812	0,003154	0,95577
BC	174,0045	1	174,0045	1,282894	0,270759
A ²	833,327	1	833,327	6,14392	0,02222
B ²	598,4308	1	598,4308	4,412087	0,048569
C ²	185,0464	1	185,0464	1,364303	0,256529
Residual	2712,688	20	135,6344		
Lack of Fit	2064,312	3	688,1041	18,04165	1,58E-05
Pure Error	648,3759	17	38,13976		
Cor Total	5298,369	29			

Bảng 3. 6. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt Fy

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	190469,4	9	21163,26	7,951422	6,25E-05
A-CN	802,7306	1	802,7306	0,3016	0,588961
B-V	19857,04	1	19857,04	7,46065	0,012861
C-f	37903,22	1	37903,22	14,24093	0,001194
AB	261,9761	1	261,9761	0,098429	0,756972
AC	952,443	1	952,443	0,35785	0,556417
BC	61015,72	1	61015,72	22,92472	0,000112

AA²	13925,53	1	13925,53	5,232075	0,033204
BA²	2468,588	1	2468,588	0,927493	0,347016
CA²	53945,77	1	53945,77	20,26841	0,000218
Residual	53231,39	20	2661,569		
Lack of Fit	46229,56	3	15409,85	37,41418	1,05E-07
Pure Error	7001,824	17	411,872		
Cor					
Total	243700,7	29			

Bảng 3. 7. Kết quả phân tích ANOVA cho lực cắt Fz

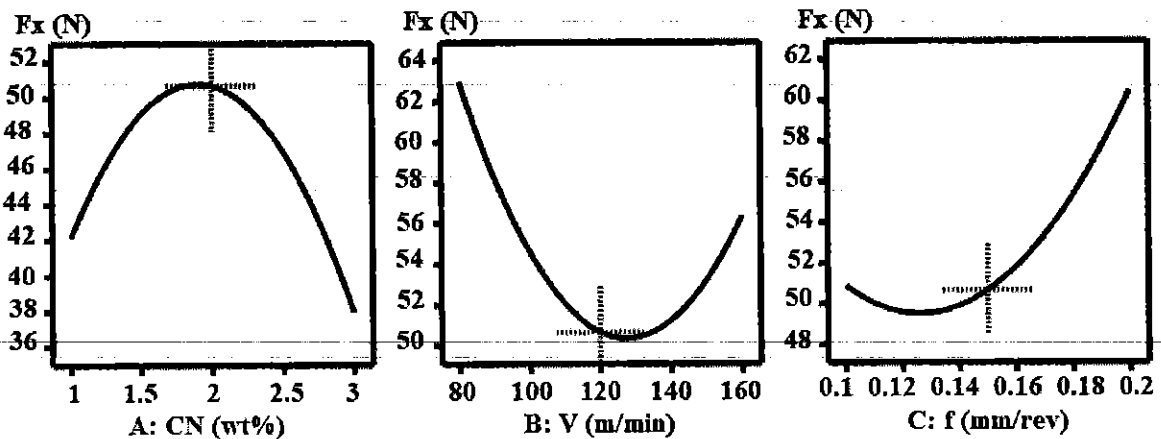
Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	608,6097	9	67,6233	2,299411	0,058063
A-CN	5,0176	1	5,0176	0,170615	0,683961
B-V	-54,6121	1	54,6121	1,856988	0,188121
C-f	160,4022	1	160,4022	5,454195	0,030051
AB	0,11045	1	0,11045	0,003756	0,951742
AC	3,40605	1	3,40605	0,115817	0,737165
BC	0,0288	1	0,0288	0,000979	0,975346
AA²	134,1442	1	134,1442	4,561336	0,045253
BA²	33,67388	1	33,67388	1,145021	0,297339
CA²	215,5016	1	215,5016	7,327751	0,013569
Residual	588,1793	20	29,40896		
Lack of Fit	413,1768	3	137,7256	13,37887	9,85E-05
Pure Error	175,0024	17	10,29426		
Cor					
Total	1196,789	29			
Cor					
Total	243700,7	29			

Kết quả phân tích ANOVA cho Fz được trình bày trong Bảng 3.7. Giá trị F của Mô hình cho Fz là 2,3 cho thấy mô hình này là phù hợp và có 5,81% khả năng xảy ra giá trị F lớn như vậy do nhiễu. Giá trị P nhỏ hơn 0,0500 cho biết mức độ ảnh hưởng tới mô hình là đáng kể. Trong trường hợp này, các biến C, và tương tác bậc hai A², C² là ảnh hưởng đáng kể tới mô hình lực Fz.

Ảnh hưởng của các yếu tố tới lực cắt Fx

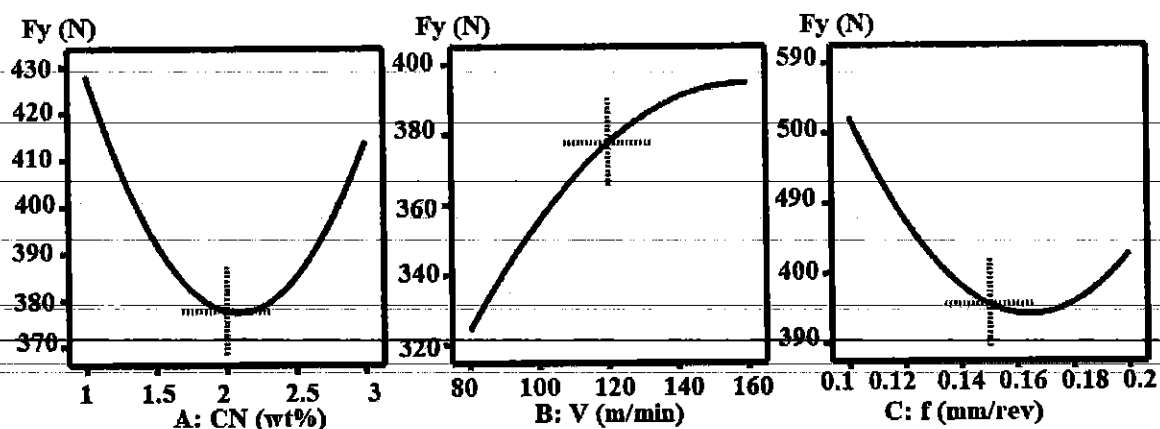
Hình 3.8 cho thấy ảnh hưởng của các yếu tố tới giá trị trung bình của lực chạy dao Fx. Thành phần lực cắt Fx có phương trùng với phương của

chuyển động chạy dao, do đó ảnh hưởng mạnh nhất bởi lượng chạy dao và tăng khi tăng lượng chạy dao. Tuy nhiên, trong vùng lượng chạy dao nhỏ (0.1-0.12 mm/rev), lực cắt F_x có xu hướng giảm nhẹ khi tăng lượng chạy dao. Đồng thời, nồng độ hạt nano cũng ảnh hưởng đáng kể tới lực cắt chạy dao. Khi tăng nồng độ hạt đến 2% thì lực chạy dao F_x có xu hướng tăng, và tiếp tục tăng nồng độ hạt thì lực F_x giảm. Vận tốc cắt cũng ảnh hưởng đáng kể tới lực cắt F_x , khi vận tốc cắt tăng từ 80 đến 130 thì lực cắt F_x có xu hướng giảm. Nếu tiếp tục tăng vận tốc cắt lên tới 160 m/ph thì lực cắt lại tăng. Điều này phù hợp với những kết quả đã công bố về ảnh hưởng của vận tốc cắt tới lực cắt F_x . Tuy nhiên trong phạm vi khảo sát thì lực cắt F_x chỉ biến thiên một lượng nhỏ do đó ảnh hưởng không nhiều tới chất lượng và độ chính xác gia công, nhất là khi gia công tinh với lượng chạy dao nhỏ.



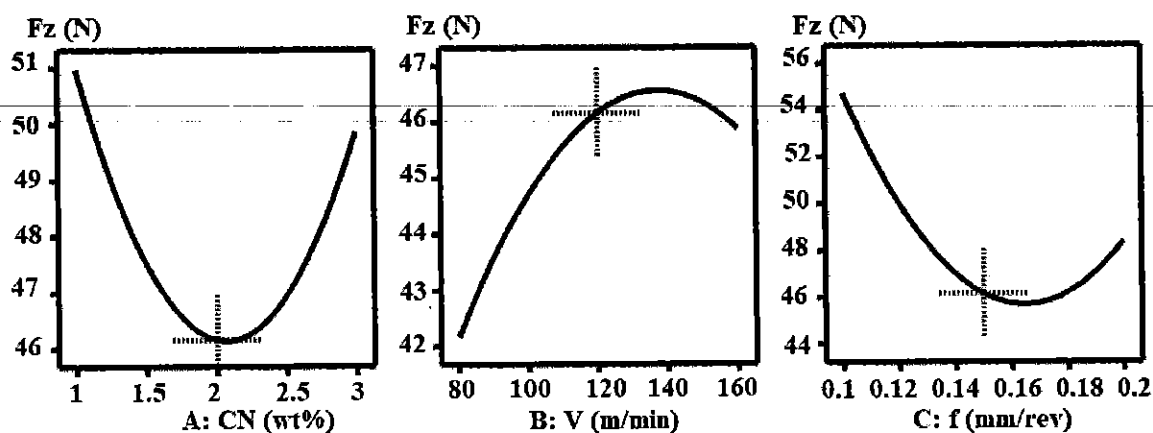
Hình 3. 8. Ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát tới lực cắt F_x

Ảnh hưởng của các thông số khảo sát tới hàm mục tiêu F_y được thể hiện trên hình 3.9. Lực F_y là thành phần lực cắt có phương vuông góc với bề mặt gia công, và ảnh hưởng lớn tới chất lượng và độ chính xác gia công. Lực F_y có xu hướng tăng khi tăng nồng độ hạt nano. Tuy nhiên khi nồng độ hạt tăng đủ lớn, thì lực cắt F_y có xu hướng tăng dần. Nguyên nhân là do khi nồng độ hạt lớn, làm các hạt nano có xu hướng co cụm, khó xâm nhập vùng cắt dẫn tới tăng lực cắt. Trong khi, lượng chạy dao ảnh hưởng lớn tới giá trị lực cắt F_y , lượng chạy dao tăng làm tăng diện tích lớp cắt và là nguyên nhân chính làm tăng lực cắt F_y .



Hình 3. 9. Ảnh hưởng của các yếu tố tới lực cắt F_y

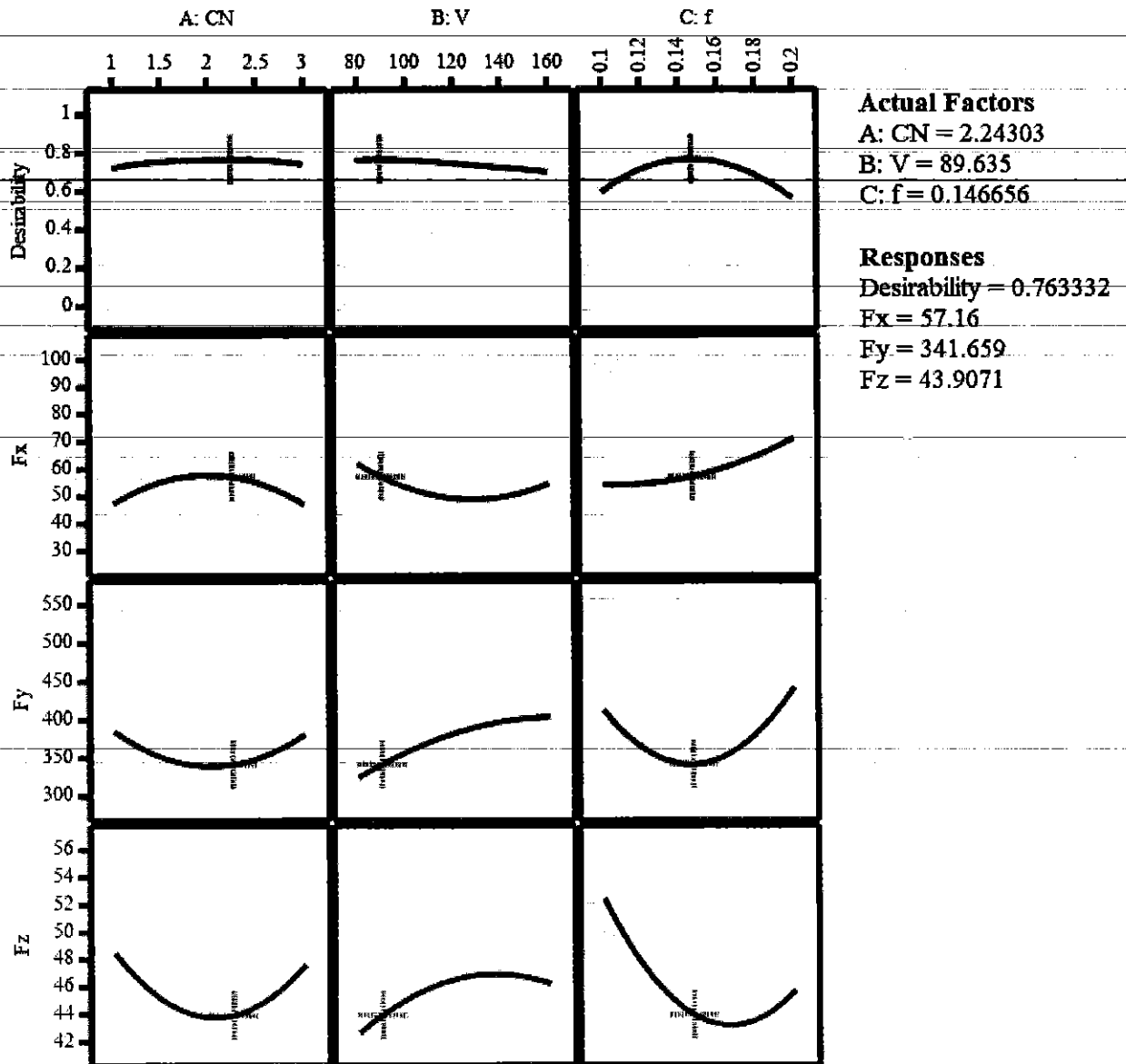
Hình 3.10 biểu diễn ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát tới lực cắt tiếp tuyến F_z . Lực cắt F_z giảm khi tăng nồng độ hạt nano từ 1-2%, nhưng phạm vi thay đổi không lớn (51-46N). Trong quá trình gia công hạt nano MoS_2 cùng với các giọt dầu xâm nhập vào vùng cắt, hạt nano có dạng các tấm và có khả năng bôi trơn mạnh, dẫn đến làm giảm ma sát trong vùng cắt. Kết quả nghiên cứu cũng có thấy lực cắt tiếp tuyến F_z tăng khi tăng vận tốc cắt.



Hình 3. 10. Ảnh hưởng của các yếu tố tới lực cắt F_z

Các thông số công nghệ tối ưu cho các thành phần lực cắt khi tiện cứng thép 9XC sử dụng MQL với hạt nano MoS_2 được xác định thông qua modul tối ưu hóa trên phần mềm Design expert 11. Mục tiêu tối thiểu hóa được lựa chọn cho cả ba hàm mục tiêu (F_x , F_y và F_z) với mức độ quan trọng như nhau và trọng số bằng 1. Kết quả tối ưu hóa được thể hiện trong hình 3.11. Các thành phần lực cắt đạt giá trị nhỏ nhất $F_z=43,9$ N và $F_y=341,7$ N và $F_x=57,2$

N khi gia công với nồng độ hạt nano MoS₂ 2,24%, vận tốc cắt 89,6 m/phút và lượng chạy dao 0,147 mm/rev.



Hình 3. 11. Tối ưu hóa đồng thời ba hàm mục tiêu Fx, Fy và Fz

Kết luận chương 3

- Tác giả đã xây dựng được mô hình thí nghiệm phân tích ảnh hưởng của thông số công nghệ tới nhám bề mặt và các thành phần lực cắt khi tiện cứng thép 90CrSi sử dụng phương pháp MQL với dụng dịch nano MoS₂.

- Hiệu quả của quá trình tiện cứng thép 90CrSi sử dụng phương pháp MQL có trộn hạt nano MoS₂ đã được phân tích bằng cách sử dụng mô hình thí nghiệm Boxken. Ma trận thí nghiệm gồm 30 thí nghiệm đã được xây dựng để phân tích ảnh hưởng của nồng độ dung dịch, vận tốc cắt và lượng chạy dao tới giá trị nhám của bề mặt gia công.

- Kết quả phân tích ANOVA cho nhám bề mặt cho thấy mức độ ảnh hưởng của các yếu tố và tương tác giữa chúng tới yếu tố đầu ra là nhám bề mặt. Các yếu tố lượng chạy dao, tương tác CN&f, f&V, CN², V² là ảnh hưởng mạnh tới nhám bề mặt. Biểu đồ bề mặt và contour cho phép phân tích ảnh hưởng đồng thời các yếu tố tới nhám bề mặt và giúp các nhà kỹ thuật lựa chọn bộ thông số công nghệ phù hợp với giá trị nhám bề mặt yêu cầu. Khi gia công tinh nên chọn vận tốc cắt lớn và nồng độ hạt nano trộn vào dầu cắt trong khoảng từ 1-2%. Khi gia công thô nên chọn vận tốc cắt nhỏ và nồng độ hạt nano trộn vào dầu cắt trong khoảng từ 2-3% Một mô hình dự đoán nhám bề mặt đã được xác định và kết quả phân tích cho thấy mô hình này là phù hợp để dự đoán nhám bề mặt. Qua đó xác định được bộ thông số công nghệ tối ưu (nồng độ dung dịch nano MoS₂ 1,2%, vận tốc cắt 160 m/phút và lượng chạy dao 0,1 mm / vòng) đảm bảo nhám bề mặt là nhỏ nhất (Ra 0,21 μm).

- Kết quả phân tích ANOVA với các thành phần lực cắt cũng cho thấy mô hình bậc 2 phù hợp để phân tích và dự báo mức độ ảnh hưởng của các tham số khảo sát đến các thành phần của lực cắt khi tiện cứng thép 90CrSi sử dụng NFMQL. Nghiên cứu cũng đã xác định được bộ thông số đảm bảo các giá trị F_x, F_y, F_z là nhỏ nhất. Thành phần lực cắt đạt giá trị nhỏ nhất F_z=43,9 N và F_y=341,7 N và F_x=57,2 N khi gia công với nồng độ hạt nano MoS₂ 2,24%, tốc độ cắt 89,6 m/phút và tốc độ chạy dao 0,147 mm/vòng.

PHẦN KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. KẾT LUẬN CHUNG

Qua 3 chương đề tài đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Nghiên cứu được tổng quan về quá trình tiện cứng, các phương pháp bôi trơn làm mát khi tiện cứng.

- Nghiên cứu đánh giá được hiệu quả của các công nghệ MQL và MQCL với các hạt nano khác nhau khi tiện cứng thép 90CrSi.

- Xây dựng được ma trận thí nghiệm sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để phân tích ảnh hưởng của dầu bôi trơn làm mát tới lực cắt tổng và độ nhám bề mặt gia công.

- Nghiên cứu đã cho thấy sử dụng dung dịch bôi trơn tối thiểu MQL có bổ sung hạt nano MoS_2 vào quá trình tiện cứng có thể giảm lực cắt và giảm độ nhám bề mặt gia công.

- Nghiên cứu đã đưa ra được những chỉ dẫn công nghệ phù hợp đảm bảo lực cắt nhỏ hoặc nhám bề mặt nhỏ cho quá trình tiện cứng thép 90CrSi.

- Kết quả nghiên cứu đã công bố được 01 bài báo khoa học trên tạp chí quốc tế có chỉ số xuất bản ISSN.

B. HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Đây là một hướng nghiên cứu mới, tác giả chỉ mới đặt vấn đề và nghiên cứu được một số vấn đề rất cơ bản. Còn rất nhiều vấn đề đặt ra nhưng chưa được nghiên cứu và ứng dụng, đặc biệt là ở Việt Nam.

Đề tiếp tục hoàn thiện về lý thuyết và triển khai ứng dụng có hiệu quả vào thực tiễn sản xuất, cần có các nghiên cứu, phát triển tiếp theo. Tác giả cùng nhóm nghiên cứu đã và tiếp tục nghiên cứu, phát triển theo hướng này. Rất mong có sự giúp đỡ và cộng tác của các đồng nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Paulo Davim J. Machining of hard materials. London: Springer-Verlag London Limited, 2011.

- [2] Barry J, Byrne G (2002). The mechanisms of chip formation in machining hardened steels. *Trans ASME J Manuf. Sci. Eng.* 124, 528–535.
- [3] Umbrello D., Filice L.: Improving Surface Integrity in Orthogonal Machining of Hardened AISI 52100 Steel by Modeling White and Dark Layers Formation. *Annals of CIRP*, 58(1):73-76, 2009.
- [4] Khaider Bouacha, Mohamed Athmane Yallese, Tarek Mabrouki, Jean-François Rigal. Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100-bearing steel with CBN tool. *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 28 (2010) 349–361.
- [5] Y.Y. Yang, H.S. Fang, W.G. Huang. A study on wear resistance of the white layer. *Tribology International* 29 (1996) 425-428.
- [6] Cappellini C, Attanasio A, Rotella G, Umbrello D. Formation of white and dark layers in hard cutting: influence of tool wear. *Int J Mater Form* (2010) 3: 455-458.
- [7] Virendra bhokse, Satish Chinchankar, Prashant Aneraob, Atul Kulkarni. *Materials Today: Proceedings* 2 (2015) 3268 – 3276.
- [8] Tamizharasan T, Selvaraj T, Haq AN. Analysis of tool wear and surface finish in hard turning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2006) 28: 671 -679.
- [9] Tran Minh Duc, Tran The Long, Chien Tran, Performance Evaluation of MQL Parameters Using Al₂O₃ and MoS₂ Nanofluids in Hard Turning 90CrSi Steel. *Lubricants*, 7 (5), 1-17. Doi: 10.3390/lubricants7050040.
- [10] Kyung-Hee Park, Jorge A Olortegui-Yumel, Shantanu Joshil, Patrick Kwonl, Moon-Chul Yoon, Gyu-Bong Lee and Sung-Bum Park. Measurement of Droplet Size and Distribution for Minimum Quantity Lubrication (MQL). *International Conference on Smart Manufacturing Application* (2008) 447-454.

- [11] V.N. Gaitonde, S.R. Karnik, J. Paulo Davim. Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass. *Journal of Materials Processing Technology*. 2008; 204: 459-464
- [12] Lee PH, Nam JS, Li C, et al. An experimental study on micro-grinding process with nanofluid minimum quantity lubrication (MQL). *Int J Precis Eng Man* 13: 331–338, 2012.
- [13] Wang, Y., Li, C., Zhang, Y., Li, B., Yang, M., Zhang, X., Guo, S., Liu, G. Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in MQL grinding with different nanofluids. *Tribol. Int.* 99 (2016): 198-210.
- [14] Alper Uysala, Furkan Demirena, Erhan Altana. Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Milling of Martensitic Stainless Steel by Using Nano MoS₂ Reinforced Vegetable Cutting Fluid. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 195 (2015) 2742 – 2747.
- [15] Chaudhari, S. S., Chakule, R. R., & Talmale, P. S. (2019). Experimental Study of Heat Transfer Characteristics of Al₂O₃ and CuO Nanofluids for Machining Application. *Materials Today: Proceedings*, 18, 788–797. doi:10.1016/j.matpr.2019.06.499.
- [16] Duc Tran Minh, Long Tran The and Ngoc Tran Bao. Performance of Al₂O₃ Nanofluid in minimum quantity lubrication in hard milling of 60Si₂Mn steel using cemented carbide tools. *Advances in Mechanical Engineering*, 9 (2017), 1 -9.
- [17] Manoj Kumar Sinha, Rajeshkumar Madarkar, Sudarsan Ghosh, P. Venkateswara Rao. Application of eco-friendly nanofluids during grinding of Inconel 718 through small quantity lubrication. *Journal of Cleaner Production* 141 (2017) 1359-1375.
- [18] Tamizharasan T, Selvaraj T, Haq AN. Analysis of tool wear and surface finish in hard turning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2006) 28: 671 -679.

- [19] Benkai Lia, Changhe Lia, Yanbin Zhang, Yaogang Wang, Dongzhou Jia, Min Yanga, Naiqing Zhang, Qidong Wu, Zhiguang Han and Kai Sun. Heat transfer performance of MQL grinding with different nanofluids for Ni-based alloys using vegetable oil. *Journal of Cleaner Production* 154 (2017) 1-11.
- [20] A. K. Sharma, A. K. Tiwari, A. R. i Dixit (2016). Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A review. *Journal of Cleaner Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.146.
- [21] Gurraj Singh, Catalin Iulian Pruncu, Munish Kumar Gupta, Mozammel Mia, Aqib Mashood-Khan, Muhammad Jamil, Danil Yurievich Pimenov, and Binayak Sen and Vishal S. Sharma, Investigations of Machining Characteristics in the Upgraded MQL-Assisted Turning of Pure Titanium Alloys Using Evolutionary Algorithms. *Materials*, 2019.
- [22] Hegab, H.; Umer, U.; Deiab, I.; Kishawy, H. Performance evaluation of Ti-6Al-4V machining using nano-cutting fluids under minimum quantity lubrication. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018, 95, 4229–4241. doi:10.1007/s00170-017-1527-z.
- [23] Phạm Quang Đồng. Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ làm lạnh kết hợp với bôi trơn tối thiểu đến quá trình cắt khi phay cứng. Luận án tiến sĩ năm 2020.
- [24] Salman Pervaiz, Amir Rashid, Ibrahim Deiab & Cornel Mihai Nicolescu, An experimental investigation on effect of minimum quantity cooling lubrication (MQCL) in machining titanium alloy (Ti6Al4V), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* volume 87, pages1371–1386 (2016)
- [25] Maruda, R.W.; Krolczyk, G.M.; Feldshtein, E.; Pusavec, F.; Szydłowski, M.; Legutko, S.; Sobczak-Kupiec, A. A (2016), “Study on droplets sizes, their distribution and heat exchange for minimum

- quantity cooling lubrication (MQCL). *Int. J. Mach. Tools Manuf*, 100, pp. 81–92.
- [26] Maruda, R.; Krolczyk, G.; Niesłony, P.; Krolczyk, J.; Legutko, S.; Krolczyk, G (2016), “Chip Formation Zone Analysis During the Turning of Austenitic Stainless Steel 316L under MQCL Cooling Condition”, *Procedia Eng*, 149, pp. 297–304.
- [27] Kyung-Hee Park, Jorge Olortegui-Yume, Moon-Chul Yoon, Patrick Kwon. A study on droplets and their distribution for minimum quantity lubrication (MQL). *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 50 (2010) 824–833.
- [28] T. Tawakoli, M.J. Hadad, M.H. Sadeghi. Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding process. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 50 (2010) 521–531.
- [29] Hegab, H.; Kishawy, H.A.; Gadallah, M.H.; Umer, U.; Deiab, I. On machining of Ti-6Al-4V using multi-walled carbon nanotubes-based nano-fluid under minimum quantity lubrication. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018, 97, 1593–1603. doi:10.1007/s00170-018-2028-4.
- [30] S. Chinchankar, S. S. Kore, and P. Hujare, “A review on nanofluids in minimum quantity lubrication machining,” *J. Manuf. Process.*, vol. 68, no. PA, pp. 56–70, 2021, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.05.028.
- [31] P. Sharma, B. S. Sidhu, and J. Sharma, “Investigation of effects of nanofluids on turning of AISI D2 steel using minimum quantity lubrication,” *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 72–79, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.07.122.
- [32] B. Shen, A. J. Shih, and S. C. Tung, “Peer-reviewed: Application of nanofluids in minimum quantity lubrication grinding,” *Tribol. Lubr. Technol.*, vol. 65, no. 3, pp. 73–80, 2009.
- [33] D. Setti, M. K. Sinha, S. Ghosh, and P. Venkateswara Rao, “Performance evaluation of Ti-6Al-4V grinding using chip formation and coefficient of friction under the influence of nanofluids,” *Int. J.*

- Mach. Tools Manuf.*, vol. 88, pp. 237–248, 2015, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2014.10.005.
- [34] V. Vasu and G. P. K. Reddy, “Effect of minimum quantity lubrication with Al₂O₃ nanoparticles on surface roughness, tool wear and temperature dissipation in machining Inconel 600 alloy,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part N J. Nanoeng. Nanosyst.*, vol. 225, no. 1, pp. 3–15, 2012, doi: 10.1177/1740349911427520.
- [35] X. Li and H. Zhu, “Two-dimensional MoS₂: Properties, preparation, and applications,” *J. Mater.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–44, 2015, doi: 10.1016/j.jmat.2015.03.003.
- [36] R. S. Vajjha and D. K. Das, “A review and analysis on influence of temperature and concentration of nanofluids on thermophysical properties, heat transfer and pumping power,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 15–16, pp. 4063–4078, 2012, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.03.048.
- [37] P. Kalita, A. P. Malshe, and K. P. Rajurkar, “Study of tribo-chemical lubricant film formation during application of nanolubricants in minimum quantity lubrication (MQL) grinding,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 61, no. 1, pp. 327–330, 2012, doi: 10.1016/j.cirp.2012.03.031.
- [38] P. Kalita, A. P. Malshe, S. Arun Kumar, V. G. Yoganath, and T. Gurumurthy, “Study of specific energy and friction coefficient in minimum quantity lubrication grinding using oil-based nanolubricants,” *J. Manuf. Process.*, vol. 14, no. 2, pp. 160–166, 2012, doi: 10.1016/j.jmapro.2012.01.001.
- [39] D. Zhang, C. Li, D. Jia, Y. Zhang, and X. Zhang, “Specific grinding energy and surface roughness of nanoparticle jet minimum quantity lubrication in grinding,” *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 28, no. 2, pp. 570–581, 2015, doi: 10.1016/j.cja.2014.12.035.
- [40] Y. Wang *et al.*, *Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in minimum quantity lubrication*

- (MQL) grinding using different types of vegetable oils, vol. 127. Elsevier Ltd, 2016.
- [41] Y. Zhang, C. Li, D. Jia, D. Zhang, and X. Zhang, "Experimental evaluation of MoS₂ nanoparticles in jet MQL grinding with different types of vegetable oil as base oil," *J. Clean. Prod.*, vol. 87, no. C, pp. 930–940, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.10.027.
- [42] A. Uysal, F. Demiren, and E. Altan, "Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Milling of Martensitic Stainless Steel by Using Nano Mos₂ Reinforced Vegetable Cutting Fluid," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 2742–2747, 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.384.
- [43] B. Rahmati, A. A. D. Sarhan, and M. Sayuti, "Morphology of surface generated by end milling AL6061-T6 using molybdenum disulfide (MoS₂) nanolubrication in end milling machining," *J. Clean. Prod.*, vol. 66, pp. 685–691, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.048.
- [44] P. Q. Dong, T. M. Duc, and T. T. Long, "Performance evaluation of mql hard milling of skd 11 tool steel using mos₂ nanofluid," *Metals (Basel)*, vol. 9, no. 6, 2019, doi: 10.3390/met9060658.
- [45] Trần Minh Đức, Phạm Quang Đồng. Ảnh hưởng của áp suất nén dung dịch MQL đến tuổi bền của dụng cụ cắt khi tiện thép 9CrSi bằng dao CBN, TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ. Đại học Thái Nguyên. Tập 88, Số 12/2011, Tr185 – 190.
- [46] Trần Minh Đức. Ảnh hưởng của phương pháp tưới và dung dịch đến mòn và tuổi bền của dao khi tiện cắt đứt, TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ các trường đại học kỹ thuật. Số 67/2008. Tr 99 -102.

Effect of Technology Parameters on the Components of Cutting Force in Hard Turning 9xc Steel With Carbide Insert Using MoS₂ NFMQL

^{*1} Minh Tuan Ngo

^{*1} Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Thai Nguyen University of Technology, 3/2 street, Tich Luong ward, Thai Nguyen City, Vietnam.
Corresponding Author: minhtuango@tnut.edu.vn

Abstract

The method of minimum quantity lubrication (MQL) is widely applied in machining because of its many advantages, especially in contributing to environmental protection. The lubricating efficiency of the MQL method is significantly improved when nanofluid is used. Nanofluids are prepared by mixing nanoparticles into conventional cutting oils. In this study, the MQL method with MoS₂ nano-cutting oil was applied to the hard turning of 9XC steel. The Box - Behnken experimental design method was selected to analyze the influence of technological parameters on cutting force and determine the optimal set of parameters. The study performed the Multi-objective optimization Fx, Fy and Fz and determined the optimal set of technological parameters. The cutting force components reached the minimum value Fz=43.9 N and Fy=341.7 N and Fx=57.2 N when machining with the concentration of MoS₂ nanoparticles 2.24%, cutting speed 89.6 m/min and feed rate 0.147 mm/rev. In particular, based on the contour diagrams, the research has also provided technological indications in different machining conditions.

Keywords: Hard turning, 9XC, Nanofluids, MQL, Cutting force

Date of Submission: 02-04-2023

Date of acceptance: 14-04-2023

I. INTRODUCTION

In recent years, clean machining and sustainable machining are becoming the development trend of cutting metal and are interesting to many researchers. Following this trend, machining processes are trying to use the minimum amount of cutting oil, avoiding the need to recycle cutting oil and avoiding waste of cutting oil after use in the environment. Therefore, the method of minimum quantity lubrication (MQL) is widely studied and applied [1-3]. In the MQL method, a small amount of metal cutting oil is introduced into the work area as a mist to improve the frictional conditions in the cutting zone. Studies show that using the MQL method gives better surface quality, and longer tool life than overflow and dry machining methods [4].

To continue to improve the efficiency of MQL in machining hard materials, a new direction is currently of great interest, which is the use of Nanofluid solution (mix nanoparticles having high hardness or good ability with normal lubricant). Nanofluids are being studied for applications in machining because of their many advantages in terms of thermal properties and lubricating properties [5]. The application of nano-cutting oil to lubricate and cool the cutting area has been studied by many authors. Sharma et al. have analyzed and evaluated the effectiveness of the application of MQL with nano-cutting oil in the machining process [6]. The research results have shown that the nanofluid minimum quantity lubrication method (NFMQL) shows promising results compared with the conventional cutting oil MQL method in terms of cutting zone temperature and surface roughness.

In recent years, the application of cooling lubricants mixed with MoS₂ nanoparticles in machining has been interested by a number of researchers. Studies on the application of MoS₂ nanofluids in the grinding process show that it is possible to reduce the specific energy and reduce the surface roughness when grinding [7]. Parash

Kalita has studied and applied the MQL method with MoS₂ nanofluid to the cast iron grinding process [8]. Research has shown that the MQL-NFMoS₂ method has the ability to reduce specific energy and improve surface quality compared to the overflow machining method. ZHANG Dongkun et al (2014) analyzed the effect on surface roughness and unit cutting force when applying nanofluid with 3 different types of nanoparticles (MoS₂, ZrO₂ and Carbon nanotube) [9]. The analysis results show that the application of nanoparticles can reduce the unit cutting force and reduce the surface roughness of the machined surface. In which, using MoS₂ nanofluid gives a more noticeable effect than the other two types. Yanbin Zhang et al analyzed the lubricating efficiency of MoS₂/CNT nano hybrid oil when grinding TiTan alloy [10]. Research results show that a Hybrid nanofluid is more effective than using a type of nanoparticle. In 2015, Yanbin Zhang also studied the application of NF-MoS₂ nano-cutting oil to the grinding process. Research results show that MoS₂ particles increase the lubricating efficiency of cutting oil, thereby contributing to reducing cutting heat and cutting force during grinding [11].

However, most of the studies only stop at surveying and evaluating the efficiency of the machining process using MoS₂ nanofluid compared to other machining processes without giving a set of optimal machining parameters. At the same time, the studies on applying the MQL method with MoS₂ nano-cutting oil to the hard turning process are limited. In this study, we mainly focus on analyzing the influence of MoS₂ nanoparticle concentration, cutting speed and feed amount on the cutting force when turning 90CrSi steel using hard alloy coated inserts.

II. EXPERIMENT AND METHOD

In this research, all experiments are arranged as shown in Figure 1. The workpiece is made of 9XC steel with a diameter of 40 mm and is heat treated to a hardness of 60-62 HRC. The cutting tool used is a coated carbide insert with the symbol CNMG120404-TM T9125 (Figure 2.2) mounted on the KYOCERA body with the code PCLNR 2020 K-16. The experimental process was carried out on a Taiwan universal lathe CS-460x1000. The MQL system uses NOGA's MQL nozzle (Noga mini cool MC1700); The components of the cutting force are measured directly during the cutting process with a three-component Kistler force sensor as shown in Figure 1. Nanofluid was made by Mixing MoS₂ nanoparticles into emulsi oil solution and ultrasonically vibrated with frequency of 40Khz in usually only 30-45 min using Ultrasons -HD ultrasonicator. MoS₂ nanoparticle has a layered structure with an average size of 30 nm manufactured by China Luoyang.

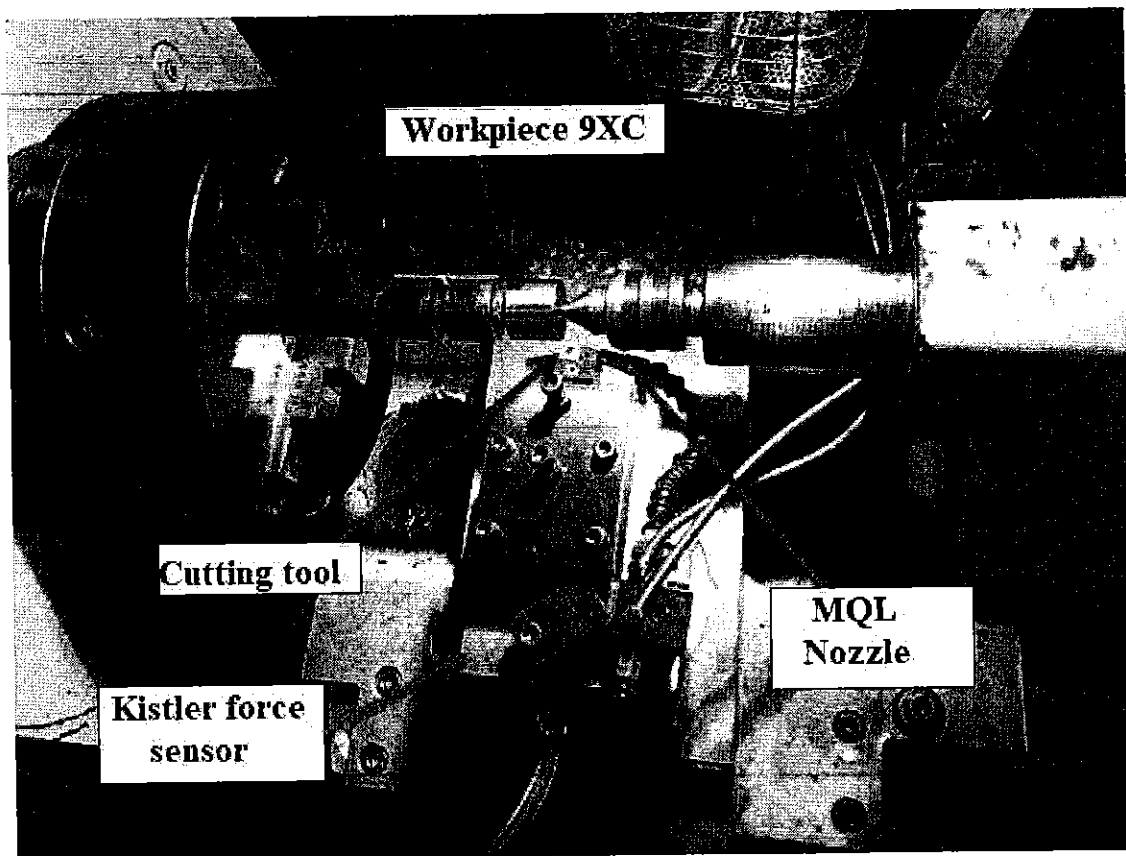


Figure 1. The experimental setup

Effect of Technology Parameters on the Components of Cutting Force in Hard Turning 9xc Steel ..

The study focuses on analyzing the influence of nanoparticle concentration, cutting speed and feed rate on 3 components of cutting force when turning 9XC steel using the MQL method. The survey parameters and their values are shown in Table 1. Design Expert 11 was used to design a matrix of 30 experiments according to the Box - Behnken optimal model with 03 variables, three levels, and iteration 2. Experiments were carried out according to the RunOrder process, and the value of 3 components of cutting force is measured directly; The results of the evaluation parameters according to the experimental planning scheme are shown in Table 2. *Table 1 Input parameter values and experimental variables*

Input parameter	Symbols	Levels	
		Low	High
nanoparticle concentration (CN-%)	A	1	3
Cutting speed (V-m/min)	B	80	160
Feed rate (f-mm/rev)	C	0,1	0,2

Table 2. Experiments and results

Std	Run	A:CN	B:V	C:f	F _x (N)	F _y (N)	F _z (N)
17	1	3	80	0,15	49,01	418,38	51,21
19	2	3	160	0,15	46,68	367,69	45,65
10	3	2	160	0,1	58,26	668,85	58,41
12	4	2	160	0,2	67,69	390,49	54,44
3	5	1	160	0,15	54,01	409,39	46,89
16	6	1	80	0,15	45,97	441,03	52,36
29	7	2	120	0,15	51,39	378,18	43,55
14	8	2	120	0,15	44,12	338,99	38,09
4	9	3	160	0,15	46,25	371,28	46,23
22	10	1	120	0,2	42,57	491,93	51,35
30	11	2	120	0,15	58,3	406,31	49,48
18	12	1	160	0,15	53,24	391,74	45,15
24	13	2	80	0,1	54,77	333,81	44,78
2	14	3	80	0,15	50,22	414,58	50,34
5	15	1	120	0,1	52,68	540,16	62,51
13	16	2	120	0,15	61,73	422,22	52,74
26	17	2	80	0,2	90,25	375,36	42,91
8	18	3	120	0,2	36,89	448,13	48,32
15	19	2	120	0,15	47,87	377,35	49,58
28	20	2	120	0,15	40,57	342,9	43,48
23	21	3	120	0,2	35,98	454,14	47,55
21	22	3	120	0,1	49,68	557,1	60,52
9	23	2	80	0,1	49,97	319,12	42,79
7	24	1	120	0,2	42,11	471,38	51,92
25	25	2	160	0,1	34,69	686,34	52,9
6	26	3	120	0,1	44,9	549,45	62,09
1	27	1	80	0,15	46,96	408,31	48,41
20	28	1	120	0,1	55,56	540,14	62,28
11	29	2	80	0,2	94,14	398,16	43,22
27	30	2	160	0,2	67,6	386,63	55,91
17	1	3	80	0,15	49,01	418,38	51,21
19	2	3	160	0,15	46,68	367,69	45,65

III. RESULT AND DISCUSSION

ANOVA analysis for components of cutting force was performed on Design Expert 11 software with 95% confidence level. The significance level of the research models is evaluated through Fisher's coefficient and the probability P value for the model. The results of the ANOVA analysis for Fx are shown in Table 3. The Model F-value for Fx of 2.12 implies there is a 7.78% chance that an F-value this large could occur due to noise. P-values less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case A², B² are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model. The Lack of Fit F-value of 18.04 implies the Lack of Fit is significant. There is only a 0.01% chance that a Lack of Fit F-value this large could occur due to noise.

Table 3. ANOVA for Fx

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	2585,681	9	287,2978	2,118178	0,077838
A-CN	70,09876	1	70,09876	0,516821	0,480517
B-V	174,7023	1	174,7023	1,288038	0,269829
C-f	367,8724	1	367,8724	2,712235	0,115205
AB	53,14805	1	53,14805	0,391848	0,538409
AC	0,427812	1	0,427812	0,003154	0,95577
BC	174,0045	1	174,0045	1,282894	0,270759
A ²	833,327	1	833,327	6,14392	0,02222
B ²	598,4308	1	598,4308	4,412087	0,048569
C ²	185,0464	1	185,0464	1,364303	0,256529
Residual	2712,688	20	135,6344		
Lack of Fit	2064,312	3	688,1041	18,04165	1,58E-05
Pure Error	648,3759	17	38,13976		
Cor Total	5298,369	29			

The results of the ANOVA analysis for Fy are shown in Table 4. The Model F-value for Fy of 7.95 implies the model is significant. There is only a 0.01% chance that an F-value this large could occur due to noise. P-values less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case B, C, BC, A², C² are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model. The Lack of Fit F-value of 37.41 implies the Lack of Fit is significant. There is only a 0.01% chance that a Lack of Fit F-value this large could occur due to noise.

Table4. ANOVA for Fy

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	190469,4	9	21163,26	7,951422	6,25E-05
A-CN	802,7306	1	802,7306	0,3016	0,588961
B-V	19857,04	1	19857,04	7,46065	0,012861
C-f	37903,22	1	37903,22	14,24093	0,001194
AB	261,9761	1	261,9761	0,098429	0,756972
AC	952,443	1	952,443	0,35785	0,556417
BC	61015,72	1	61015,72	22,92472	0,000112

A ²	13925,53	1	13925,53	5,232075	0,033204
B ²	2468,588	1	2468,588	0,927493	0,347016
C ²	53945,77	1	53945,77	20,26841	0,000218
Residual	53231,39	20	2661,569		
Lack of Fit	46229,56	3	15409,85	37,41418	1,05E-07
Pure Error	7001,824	17	411,872		
Cor Total	243700,7	29			

The results of the ANOVA analysis for Fz are shown in Table 5. The Model F-value of 2.30 implies there is a 5.81% chance that an F-value this large could occur due to noise. P-values less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case C, A², C² are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model. The Lack of Fit F-value of 13.38 implies the Lack of Fit is significant. There is only a 0.01% chance that a Lack of Fit F-value this large could occur due to noise. Table 5. ANOVA for Fz

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
Model	608,6097	9	67,6233	2,299411	0,058063
A-CN	5,0176	1	5,0176	0,170615	0,683961
B-V	54,6121	1	54,6121	1,856988	0,188121
C-f	160,4022	1	160,4022	5,454195	0,030051
AB	0,11045	1	0,11045	0,003756	0,951742
AC	3,40605	1	3,40605	0,115817	0,737165
BC	0,0288	1	0,0288	0,000979	0,975346
A ²	134,1442	1	134,1442	4,561336	0,045253
B ²	33,67388	1	33,67388	1,145021	0,297339
C ²	215,5016	1	215,5016	7,327751	0,013569
Residual	588,1793	20	29,40896		
Lack of Fit	413,1768	3	137,7256	13,37887	9,85E-05
Pure Error	175,0024	17	10,29426		
Cor Total	1196,789	29			
Cor Total	243700,7	29			

Figure 2 shows the influence of input factors on the mean value of the cutting force Fx. The cutting force Fx has the same direction as the direction of the feed movement, so it is most strongly influenced by the feed rate and increases with the increase of the feed. However, in the small feed rate region (0.1-0.12 mm/rev), the cutting force Fx tends to decrease slightly with increasing feed rate. At the same time, the nanoparticle concentration also significantly affects the cutting force Fx. When increasing the nanoparticle concentration to 2%, the cutting force Fx tends to increase, and continuing to increase the particle concentration, the force Fx decreases. The cutting speed also significantly affects the cutting force Fx, when the cutting speed increases from 80 to 130, the cutting

force F_x tends to decrease. If the cutting speed continues to increase up to 160 m/min, the cutting force increases again. This is in agreement with published results on the effect of cutting speed on cutting force F_x . However, within the scope of the survey, the cutting force F_x only varies a small amount, so it does not affect the quality and machining accuracy much, especially when finishing with small feeds.

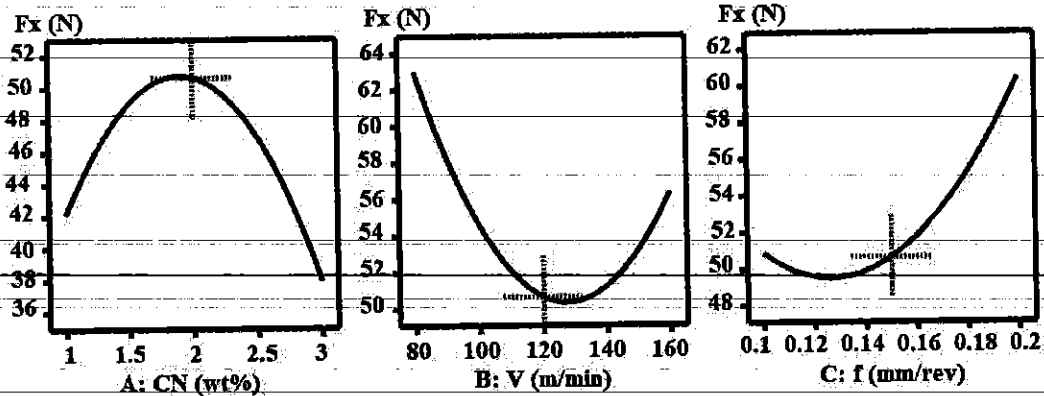


Figure 2. Effect of input factors on cutting force F_x

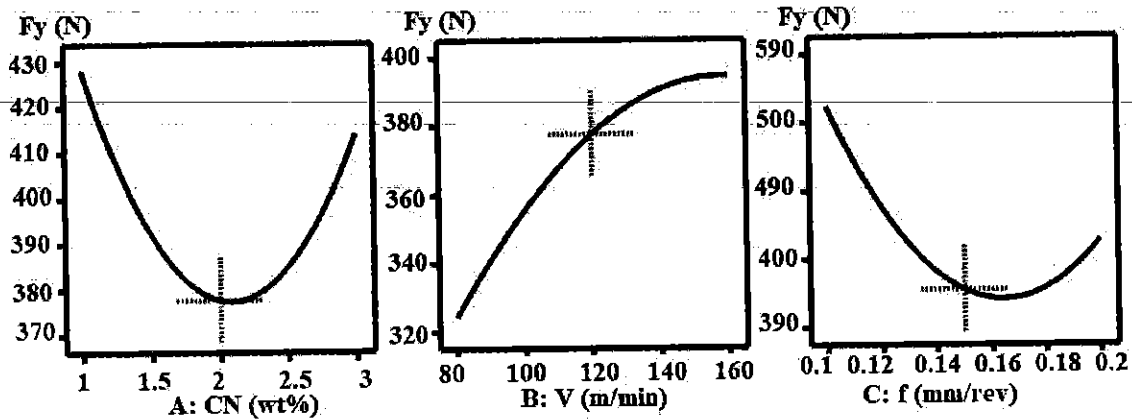


Figure 3. Effect of input factors on cutting force F_y

The influence of the survey parameters on the objective function F_y is shown in Figure 3. Cutting Force F_y is a component of the cutting force perpendicular to the machined surface, and greatly affects the quality and machining accuracy. The F_y force tends to decrease with increasing nanoparticle concentration. However, when the nanoparticle concentration increases sufficiently high, the shear force F_y tends to increase gradually. The reason is that when the nanoparticle concentration is large, the nanoparticles tend to cluster, making it difficult to penetrate the cutting area, leading to an increase in the cutting force. While the feed rate has a great influence on the value of the cutting force F_y , the increase in the feed rate increases the cutting area and is the main cause of the increase in the cutting force F_y .

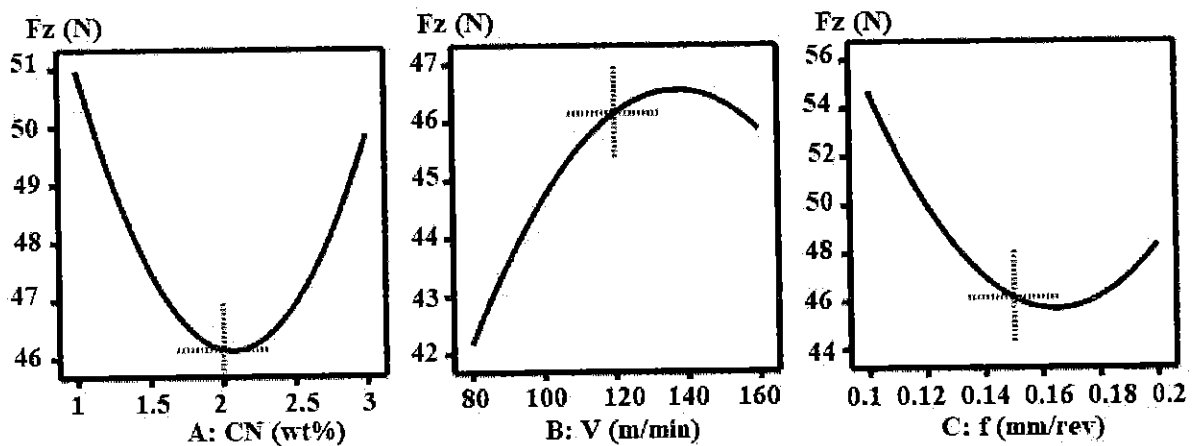


Figure 4. Influence of factors on cutting force Fz

Figure 4 shows the influence of the survey factors on the cutting force Fz. The cutting force Fz decreased with increasing nanoparticle concentration from 1-2%, but the change range was not large (51-46N). During the machining process of MoS2 nanoparticles, along with oil droplets entering the cutting zone, the nanoparticles have the form of plates and have a strong lubricating ability, resulting in reduced friction in the cutting zone. Research results also show that the tangential shear force Fz increases with increasing cutting speed.

The optimal technological parameters for cutting force components when turning 9XC steel using MQL with MoS2 nanoparticles are determined through the optimization module on Design expert software 11. The minimization objective is selected for all three objective functions (Fx, Fy and Fz) with equal importance and weight equal to 1. The optimization results are shown in Figure 5. The cutting force components reach the minimum value Fz=43.9 N and Fy=341.7 N and Fx=57.2 N when machining with a concentration of 2.24% MoS2 nanoparticles, a cutting speed of 89.6 m/min and a feed rate of 0.147 mm/rev.

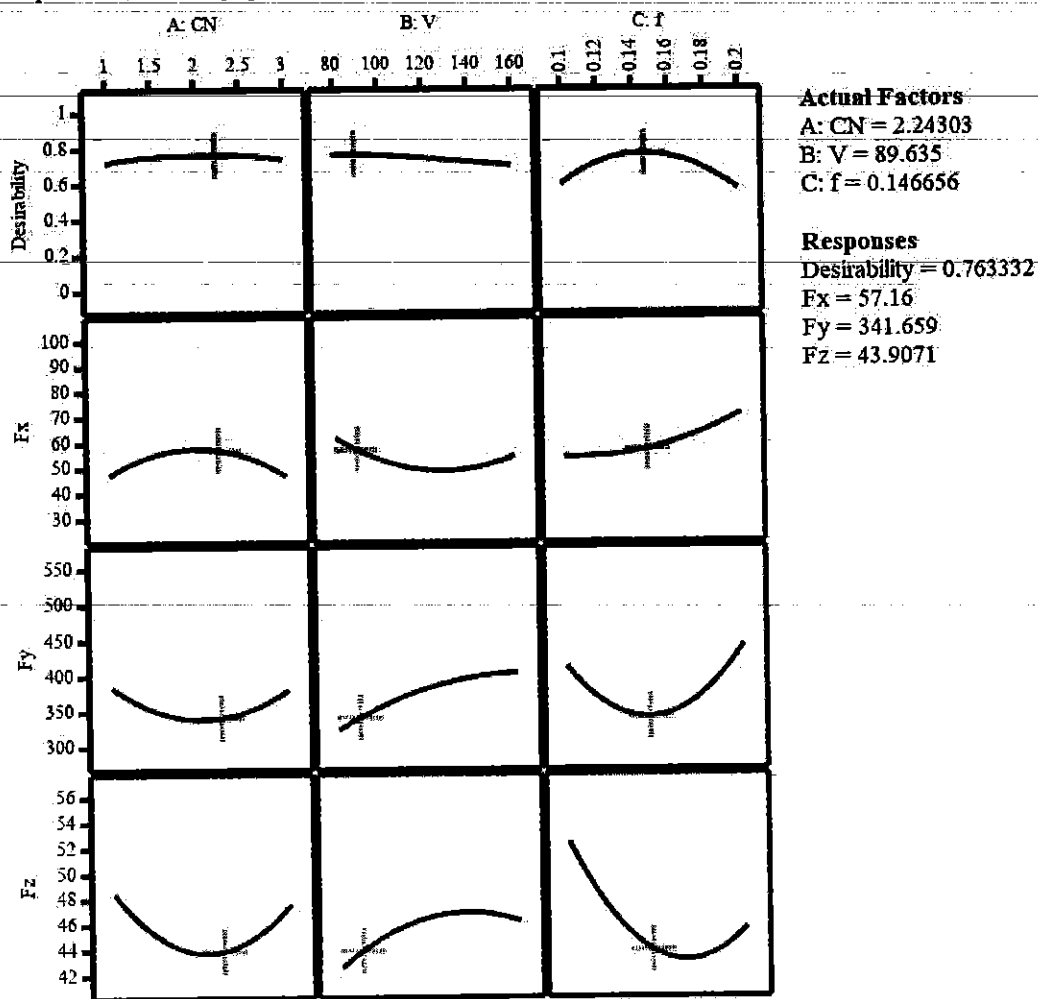


Figure 5. Multi-objective optimization Fx, Fy and Fz

IV. CONCLUSION

The efficiency of the 9XC steel hardening process using the MQL method mixed with MoS2 nanoparticles was analyzed using the Boxken experimental model. An experimental matrix of 30 experiments was built to analyze the effect of solution concentration, cutting speed and feed rate on the cutting force components. The results of ANOVA analysis show that a second order model is suitable to analyze and predict the influence of the survey parameters on the cutting components in this study.

The study performed the Multi-objective optimization Fx, Fy and Fz and determined the optimal set of technological parameters. The cutting force components reached the minimum value Fz=43.9 N and Fy=341.7 N and Fx=57.2 N when machining with the concentration of MoS2 nanoparticles 2.24%, cutting speed 89.6 m/min and feed rate 0.147 mm/rev.

ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the device support under Thai Nguyen University of Technology

REFERENCES

- [1]. J. P. Davim and V. P. Astakhov, *Machining of Hard Metals*. 2011.
- [2]. M. J. Hadad, T. Tawakoli, M. H. Sadeghi, and B. Sadeghi, "Temperature and energy partition in minimum quantity lubrication-MQL grinding process," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 54–55, pp. 10–17, 2012, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2011.11.010.
- [3]. S. Chinchani, S. S. Kore, and P. Hujare, "A review on nanofluids in minimum quantity lubrication machining," *J. Manuf. Process.*, vol. 68, no. PA, pp. 56–70, 2021, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.05.028.
- [4]. P. Sharma, B. S. Sidhu, and J. Sharma, "Investigation of effects of nanofluids on turning of AISI D2 steel using minimum quantity lubrication," *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 72–79, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.07.122.
- [5]. X. Li and H. Zhu, "Two-dimensional MoS₂: Properties, preparation, and applications," *J. Mater.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–44, 2015, doi: 10.1016/j.jmat.2015.03.003.
- [6]. R. S. Vajjha and D. K. Das, "A review and analysis on influence of temperature and concentration of nanofluids on thermophysical properties, heat transfer and pumping power," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 55, no. 15–16, pp. 4063–4078, 2012, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.03.048.
- [7]. P. Kalita, A. P. Malshe, and K. P. Rajurkar, "Study of tribo-chemical lubricant film formation during application of nanolubricants in minimum quantity lubrication (MQL) grinding," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 61, no. 1, pp. 327–330, 2012, doi: 10.1016/j.cirp.2012.03.031.
- [8]. P. Kalita, A. P. Malshe, S. Arun Kumar, V. G. Yoganath, and T. Gurumurthy, "Study of specific energy and friction coefficient in minimum quantity lubrication grinding using oil-based nanolubricants," *J. Manuf. Process.*, vol. 14, no. 2, pp. 160–166, 2012, doi: 10.1016/j.jmapro.2012.01.001.
- [9]. D. Zhang, C. Li, D. Jia, Y. Zhang, and X. Zhang, "Specific grinding energy and surface roughness of nanoparticle jet minimum quantity lubrication in grinding," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 28, no. 2, pp. 570–581, 2015, doi: 10.1016/j.cja.2014.12.035.
- [10]. Y. Wang et al., *Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in minimum quantity lubrication (MQL) grinding using different types of vegetable oils*, vol. 127. Elsevier Ltd, 2016.
- [11]. Y. Zhang, C. Li, D. Jia, D. Zhang, and X. Zhang, "Experimental evaluation of MoS₂ nanoparticles in jet MQL grinding with different types of vegetable oil as base oil," *J. Clean. Prod.*, vol. 87, no. C, pp. 930–940, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.10.027.