

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

**Nghiên cứu ảnh hưởng của dầu cắt nano đến quá trình khoan thép Hardox 500
sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu**

Mã số: T2022-B10

Chủ nhiệm đề tài: TS. Phạm Quang Đồng

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

**Nghiên cứu ảnh hưởng của dầu cắt nano đến quá trình khoan thép Hardox
500 sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu**

Mã số: T2022-B10

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)

Phạm Quang Dũng

Thái Nguyên, tháng 4/ 2023

DANH SÁCH THÀNH VIÊN THAM GIA NGHIÊN CỨU ĐỀ TÀI

1. ThS. Đào Thị Tuyết Nhung – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên
2. ThS. Nguyễn Thuận – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên
3. ThS. Nguyễn Thuận – Trường ĐH Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên



MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ.....	5
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	6
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	7
THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU.....	8
PHẦN MỞ ĐẦU.....	13
1. Tính cấp thiết.....	13
2. Mục đích nghiên cứu.....	13
4. Phương pháp nghiên cứu.....	14
5. Ý nghĩa khoa học, ý nghĩa thực tiễn.....	14
CHƯƠNG 1- TỔNG QUAN VỀ MQCL SỬ DỤNG DẦU CẮT NANO TRONG GIA CÔNG VẬT LIỆU KHÓ GIA CÔNG.....	15
1.1 Gia công vật liệu khó gia công.....	15
1.2 Gia công cắt gọt với chế độ MQCL sử dụng dung dịch nano.....	16
1.3 Tổng quan nghiên cứu.....	16
CHƯƠNG 2- NGUYÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT DÒNG KHÍ, LƯU LƯỢNG DÒNG KHÍ VÀ NỒNG ĐỘ HẠT NANO KHI KHOAN THÉP HARDOX 500.....	19
2.1 Đặt vấn đề.....	19
2.2 Mô hình nghiên cứu.....	19
2.3 Phương pháp nghiên cứu.....	20
2.4 Công cụ nghiên cứu.....	20
2.5 Thiết kế thí nghiệm.....	20
2.6 Triển khai thí nghiệm.....	22
2.7 Kết quả và thảo luận.....	23
2.8 Khảo sát ảnh hưởng của hạt nano Al_2O_3	26
2.9 Kết luận.....	29
KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO.....	30
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	31

DANH MỤC HÌNH VẼ

STT	Hình	Nội dung	Trang
1	1.1	Nhám bề mặt khi tiến với các chế độ khác nhau gồm khô, MQCL và tưới tràn với $V = 150$ m/phút [22]	17
2	1.2	So sánh lực cắt với lượng chạy dao và chế độ khác nhau gồm khô, MQCL và tưới tràn [22]	17
4	2.1	Thiết kế thí nghiệm	20
5	2.2	Đầu đo lực 03 thành phần 9257BA của hãng Kistler	21
6	2.3	Máy đo nhám SJ-210 của hãng Mitutoyo	21
7	2.4	Ảnh chụp SEM của hạt nano MoS_2	21
8	2.5	Ảnh chụp SEM của hạt nano Al_2O_3	22
9	2.6	Ảnh hưởng của các biến khảo sát đến trị số F_y	24
10	2.7	Ảnh hưởng của các biến khảo sát đến trị số R_a	24
11	2.8	Đồ thị bề mặt các ảnh hưởng tương tác giữa p và Q đối với R_a, F_y	25
12	2.9	Đồ thị bề mặt các ảnh hưởng tương tác giữa p và NC đối với R_a, F_y	25
13	2.10	Đồ thị bề mặt các ảnh hưởng tương tác giữa Q và NC đối với R_a, F_y	25
14	2.11	Tối ưu hóa đa mục tiêu đối với R_a, F_y	26
15	2.12	Đồ thị đường mức các ảnh hưởng tương tác giữa Q và p đối với R_a, F_y	28
16	2.13	Đồ thị đường mức các ảnh hưởng tương tác giữa NC và p đối với R_a, F_y	28
17	2.14	Đồ thị đường mức các ảnh hưởng tương tác giữa NC và Q đối với R_a, F_y	28

DANH MỤC BẢNG BIỂU

STT	Bảng	Nội dung	Trang
1	1.1	Thành phần hóa học thép Hardox 500 [19]	15
2	1.2	Tính chất cơ học của thép Hardox 500 [19]	15
4	2.1	Mô hình nghiên cứu quá trình khoan thép Hardox 500	19
5	2.2	Kế hoạch thí nghiệm	22
6	2.3	Kết quả thí nghiệm theo sơ đồ quy hoạch	23
7	2.4	Kết quả thí nghiệm theo sơ đồ quy hoạch khi sử dụng hạt nano Al_2O_3	27

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

- MQL: Minimum Quantity Lubrication
- MQCL: Minimum Quantity Cooling Lubrication
- HRC: Rockwell C hardness
- NCKH: Nghiên cứu khoa học

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: **Nghiên cứu ảnh hưởng của dầu cắt nano đến quá trình khoan thép Hardox 500 sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu**

- Mã số: **T2022-B10**

- Chủ nhiệm đề tài: **TS. Phạm Quang Đông**

- 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:

- Nghiên cứu xác định chế độ công nghệ tối ưu khi khoan sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu MQCL với dầu cắt nano.

- Ứng dụng vào thực tiễn để gia công các sản phẩm cơ khí.

3. Kết quả nghiên cứu:

- Sử dụng thiết kế quy hoạch tối ưu Box - Behnken với 03 biến khảo sát để xây dựng sơ đồ quy hoạch với hỗ trợ của phần mềm Minitab 19 nhằm đánh giá ảnh hưởng của các biến số khảo sát gồm áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano đến kết quả của hàm mục tiêu là lực dọc trục F_y và nhám bề mặt R_a .

- Nghiên cứu đã ứng dụng thành công công nghệ MQCL có sử dụng dầu cắt nano MoS_2 và Al_2O_3 trên nền là dầu gạo vào quá trình khoan thép Hardox 500. Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa rất lớn không chỉ ở mặt kỹ thuật đó là đề xuất giải pháp công nghệ khoan thép khó gia công Hardox 500 bằng mũi khoan hợp kim cứng, mà còn ở mặt môi trường, vì dầu gạo là một trong những loại dầu thực vật thân thiện với môi trường, giảm thiểu việc sử dụng những loại dầu cắt gọt công nghiệp. Công nghệ này sẽ thay thế cho khoan ở chế độ khô và tưới tràn.

- Từ kết quả thực nghiệm thu được, qua phân tích biểu đồ bề mặt và đường mức, những chỉ dẫn công nghệ hợp lý về áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano MoS_2 và Al_2O_3 trong công nghệ MQCL dùng dầu gạo được đề xuất. Hơn nữa, đã xác định bộ thông số công nghệ tối ưu cho áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano MoS_2 đó là $p=6$ bar; $Q = 144,4$ l/phút và $NC = 1,0\%$.

- Từ kết quả nghiên cứu này, căn cứ vào điều kiện gia công cụ thể mà có định hướng để triển khai nghiên cứu và ứng dụng vào thực tiễn sản xuất. Tuy nhiên nghiên cứu mới thực hiện được ở những thông số cơ bản và mang tính chất định hướng, còn rất nhiều vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu tối ưu các thông số công nghệ khác như loại dầu cắt, loại hạt nano, chế độ cắt, v.v. Đây là một hướng nghiên cứu mới, có nhiều triển vọng và có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

4. Sản phẩm:

Đã đăng được 01 bài báo khoa học đăng trên tạp chí quốc tế có chỉ số ISSN: Pham Quang Dong, Dao Thi Tuyen Nhung, and Nguyen Thuan. Investigation of air pressure, air flow rate, and nanoparticle concentration in MQCL drilling of Hardox 500 steel. International Journal of Innovative Research in Sciences and Engineering Studies (IJIRSES), Volume 3, Issue 3, 2023, 24-28.

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

- Kỹ thuật: Khi khoan thép Hardox 500 bằng công nghệ MQCL có sử dụng dung dịch nano sẽ nâng cao được khả năng cắt, năng suất và chất lượng bề mặt gia công

- Kinh tế: Đây là một giải pháp gia công mới, góp phần nâng cao năng suất và hạ giá thành sản phẩm.

- Môi trường: Đây là công nghệ sạch, thân thiện với môi trường.

5.3. Đối với phát triển kinh tế - xã hội

- Đưa ra giải pháp gia công để gia công cắt gọt loại thép khó gia công, và giải pháp gia công này thân thiện với môi trường và con người, biệt 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 chuyên gia 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. Mở rộng được năng lực gia công, sản xuất.

6. Khả năng áp dụng và phương thức chuyển giao kết quả nghiên cứu:

Ngày tháng năm 2023

Cơ quan chủ trì

KT HIỆU TRƯỞNG

PHÓ HIỆU TRƯỞNG



PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

Chủ nhiệm đề tài

TS. Phạm Quang Đông

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: **Study on the effect of nano cutting oil on the drilling process of Hardox 500 steel using Minimum Quantity Cooling Lubrication**

Code number: **T2022-B10**

Coordinator: **PhD. Pham Quang Dong**

Implementing institution: **Thai Nguyen University of Technology**

Duration: **from April, 2022 to April, 2023**

2. Objective(s):

- Study to determine the optimal technology mode when drilling using Minimum quantity cooling lubrication (MQCL) method with nano cutting oil.
- Practical application to machine mechanical products.

3. Research results:

- The Box - Behnken optimal experimental design with 03 survey variables to build the planning diagram with the support of Minitab 19 software was applied to evaluate the influence of survey variables including air pressure, air flow rate, and nanoparticle concentration on the result of the objective functions including the axial cutting force F_y and surface roughness R_a .

- The study has successfully applied MQCL technology using MoS_2 and Al_2O_3 nano-cutting oil based on rice oil in drilling process of Hardox 500 steel. The research results have great significance not only in the technical aspect, proposing the solutions for drilling difficult-to-machine materials like Hardox 500 steel with carbide drill bits, but also in terms of the environment, because rice oil is one of the environmentally friendly vegetable oils, minimizing the use of industrial cutting oils. This technology will replace drilling in dry and flood condition.

- From the experimental results obtained, through the analysis of surface and contour graphs, reasonable technological guidelines on air pressure, air flow rate, nanoparticle concentration of MoS_2 and Al_2O_3 in MQCL technology using rice oil as the based oil. Furthermore, the optimal set of technological parameters for air pressure, air flow rate, MoS_2 nanoparticle concentration has been determined, which is $p=6$ bar; $Q = 144.4$ l/min and $NC = 1.0\%$.

- From these results, based on specific machining conditions, there is an orientation to conduct the further research and apply them to production practice. However, the new study can only be done at basic and directional parameters, so there are still many issues that need to continue to be researched to optimize other technological parameters such as cutting oil type, nanoparticle type, cutting

parameters, and so on. This is a new research direction, which has many prospects and has scientific and practical significance.

4. Products:

Published 01 international papers having ISSN: Pham Quang Dong, Dao Thi Tuyet Nhung, and Nguyen Thuan. Investigation of air pressure, air flow rate, and nanoparticle concentration in MQCL drilling of Hardox 500 steel. International Journal of Innovative Research in Sciences and Engineering Studies (IJIRSES), Volume 3, Issue 3, 2023, 24-28.

5. Effects:

5.1. Education and training

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

5.2. Technology and science

- Technical aspect:
- Economic aspect:
- Environmental aspect: It is the environmental friendly technology.

5.3. Economic and social development

- The study provided the environmental friendly solution and safety for human use, which is suitable with the production condition 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.

6. Transfer alternatives of research results and applicability:

PHẦN MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Thép Hardox 500 được sử dụng rất phổ biến để chế tạo các chi tiết máy làm việc trong các môi trường đặc biệt, các chi tiết chịu mài mòn, chịu ăn mòn, v.v. Tuy nhiên, thép Hardox 500 là loại vật liệu khó gia công, tính khó gia công thể hiện ở chỗ là vừa có độ cứng khá cao; vừa có độ bền, độ dẻo dai cao; vừa có khả năng chịu mài mòn, chịu va đập tốt [1]. Thêm vào đó, ở dạng thương phẩm, thép Hardox 500 có độ cứng HRC = 49 – 50; độ bền, độ dẻo dai cao do việc gia công nhiệt thép Hardox rất phức tạp nên thường sử dụng loại thép này ở dạng thương phẩm do Hãng sản xuất [2]. Từ đòi hỏi của thực tiễn sản xuất, các sản phẩm chế tạo từ thép Hardox 500 cần gia công cắt gọt với khối lượng lớn, trong đó nguyên công khoan được sử dụng rất phổ biến. Vì vậy, cần có giải pháp để cải thiện khả năng cắt khi gia công loại thép này. Trong những năm gần đây, bôi trơn làm nguội tối thiểu MQCL đã được nghiên cứu và thông qua các công bố cho thấy rằng hiệu quả vượt trội trong việc bôi trơn và làm nguội trong vùng cắt. Từ đó, ma sát và nhiệt sinh ra quá trình cắt giảm, góp phần giảm lực, mòn dụng cụ cắt, cải thiện được chất lượng bề mặt gia công [3-4]. Tuy nhiên các nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở việc sử dụng công nghệ bôi trơn tối thiểu với dung dịch nền có đặc tính làm nguội nên hiệu quả vẫn còn thấp, đặc biệt khi gia công những loại vật liệu khó gia công. Ngoài ra các nghiên cứu đã công bố chỉ tập trung vào phương pháp tiện, những công bố về quá trình khoan đến nay còn rất hạn chế, đặc biệt ở Việt Nam. Việc sử dụng dung dịch nano làm dung dịch nền cho bôi trơn làm nguội tối thiểu MQCL là một hướng nghiên cứu mới, góp phần nâng cao hiệu quả bôi trơn làm nguội trong vùng cắt do sự có mặt của các hạt nano trong dung dịch, giúp cải thiện hệ số dẫn nhiệt, hoạt tính dung dịch [5]. Ngoài ra, các hạt nano còn thâm nhập vào vùng cắt góp phần cải thiện đặc tính ma sát trong vùng cắt [6-14]. Trong các loại hạt nano đã được nghiên cứu và ứng dụng, hạt nano MoS₂ có cấu trúc dạng lớp, có đặc tính bôi trơn rất tốt, cho nên việc sử dụng loại dung dịch nano chứa loại hạt này trong MQCL sẽ góp phần nâng cao hiệu quả của quá trình cắt [15-18]. Vì vậy, cần có những nghiên cứu tiếp theo nhằm ứng dụng và phát triển hướng nghiên cứu này, mở ra những công nghệ mới, những giải pháp mới trong gia công.

Xuất phát từ thực tế đó nhóm tác chọn hướng nghiên cứu là xuất một giải pháp công nghệ hữu ích áp dụng để nâng cao hiệu quả nguyên công khoan thép Hardox 500, đó là sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu sử dụng dung dịch nano cho quá trình khoan thép Hardox 500 với tên đề tài: *“Nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực, lưu lượng dòng khí và nồng độ hạt nano đến quá trình khoan thép Hardox 500 sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQCL)”*

2. Mục đích nghiên cứu

- Nghiên cứu xác định chế độ công nghệ tối ưu khi khoan sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu MQCL với dung dịch nano MoS₂.

- Ứng dụng vào thực tiễn để gia công các sản phẩm cơ khí.

3. Nội dung nghiên cứu, đối tượng nghiên cứu

- *Nội dung nghiên cứu:* Tìm hiểu các lý thuyết cơ bản về MQCL, và gia công thép Hardox 500; ứng dụng MQCL vào quá trình gia công vật liệu khó gia công; Nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực, lưu lượng dòng khí và nồng độ hạt nano đến quá trình khoan thép Hardox 500; Ứng dụng vào thực tiễn để gia công một số sản phẩm do một số cơ sở sản xuất đặt hàng nhóm nghiên cứu. Báo cáo các bài báo bằng tiếng Anh (là sản phẩm của đề tài sau khi được chấp nhận đăng) tại hội thảo đơn vị; Báo cáo tổng kết đề tài.

- *Đối tượng nghiên cứu:* - Tác động của phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu MQCL với dung dịch nano MoS₂ đến các quá trình vật lý xảy ra trong vùng cắt khi khoan

- *Phạm vi nghiên cứu:*

- Tác động của phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu MQCL với dung dịch nano MoS₂ đến kết quả của quá trình khoan.

- Nghiên cứu, triển khai ứng dụng cho phương pháp gia công khoan.

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: Khi khoan các loại thép bằng công nghệ MQCL có sử dụng dung dịch nano sẽ nâng cao được khả năng cắt, năng suất và chất lượng bề mặt gia công

- Kinh tế: Mở ra giải pháp gia công mới khi khoan vật liệu khó gia công, góp phần mở rộng khả năng công nghệ của phương pháp khoan, giảm giá thành gia công.

- Môi trường: Đây là công nghệ sạch, thân thiện với môi trường.

CHƯƠNG 1- TỔNG QUAN VỀ MQCL SỬ DỤNG DẦU CẮT NANO TRONG GIA CÔNG VẬT LIỆU KHÓ GIA CÔNG

1.1 Gia công vật liệu khó gia công

Trong những năm gần đây, với sự phát triển nhanh chóng của lĩnh vực khoa học vật liệu đã cho ra đời nhiều loại hợp kim đặc biệt, cùng lúc sở hữu nhiều đặc tính tốt như độ cứng cao, độ bền cao, độ dai cao, khả năng chịu mài mòn tốt, v.v. Trong thực tiễn sản xuất đã cho thấy việc ứng dụng ngày càng rộng rãi các loại vật liệu này, ví dụ như thép hợp kim SKD 11, SKD 61, Hardox 500, hợp kim Inconel, v.v. Tuy nhiên, việc đồng thời sở hữu nhiều nhiều tính chất tốt khiến những loại vật liệu này có tính gia công thấp. Trong đó thép tấm Hardox 500 thương mại được sản xuất bởi hãng SSAB, Thụy Điển [19] đã được gia công nhiệt hoàn chỉnh, thép có độ cứng khá cao, giới hạn bền, giới hạn dẻo cao và khả năng chống mài mòn tốt. Thành phần hóa học và tính chất cơ lý của thép Hardox 500 được cho ở bảng 1.1 và 1.2.

Thép Hardox 500 tuy có độ cứng khá cao nhưng có độ dẻo dai lớn, khả năng chịu mài mòn tốt, có tính gia công bằng biến dạng dẻo tốt, và có tính hàn cao. Vì vậy thép Hardox 500 được sử dụng khá rộng rãi trong các lĩnh vực như cơ khí (cho nhà máy sản xuất xi măng, thủy điện, khai thác khoáng sản, khai thác đá, v.v. để sản xuất các loại sản phẩm như máng trượt, máy đập, búa, tấm lót băng tải, gầu, bánh răng, lưỡi cắt trong các máy cắt vụn, máy nghiền, máy sàng, v.v.).

Bảng 1.1. Thành phần hóa học thép Hardox 500 [19]

Nguyên tố	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Hàm lượng (% max)	0.3	0.7	1.6	0.025	0.01	1.5	1.5	0.6	0.005

Bảng 1.2. Tính chất cơ học của thép Hardox 500 [19]

Độ dẻo (MPa)	Độ bền kéo (MPa)	Độ dẫn dài (%)	Độ cứng (HBW)	Độ cứng (HRC)
1250	1400	10	470 - 530	49 - 50

Tuy nhiên, thép Hardox 500 được xếp vào nhóm vật liệu khó gia công và nhà sản xuất khuyến cáo nên dùng vật liệu dụng cụ cắt như hợp kim cứng, CBN, v.v. chất lượng cao của các hãng sản xuất dụng cụ nổi tiếng như Sandvik, Mitsubishi, SECO, v.v. kết hợp với chế độ trơn nguội hợp lý. Trong điều kiện sản xuất cơ khí hiện nay ở nước ta, việc nghiên cứu, tìm giải pháp để gia công được và gia công có hiệu quả thép Hardox 500 là rất cần thiết.

Định hướng nghiên cứu mà nhóm tác giả hướng đến là ứng dụng công nghệ MQCL nên những vấn đề cơ bản về MQCL được trình bày ở phần tiếp theo.

1.2 Gia công cắt gọt với chế độ MQCL sử dụng dung dịch nano

Trong lĩnh vực gia công cắt gọt, chi phí sử dụng và xử lý của dung dịch trơn nguội sau khi sử dụng chiếm khoảng 15% tổng chi phí sản xuất. Chi phí này phụ thuộc vào dạng chi tiết, chủng loại hệ thống làm mát, và phương pháp gia công [20]. Những quy định ngày càng khắt khe khiến cho những vấn đề liên quan tới ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người từ việc sử dụng dung dịch trơn nguội đã thúc đẩy các nhà sản xuất hướng tới giảm thiểu tối đa việc sử dụng hoặc loại bỏ hoàn toàn các loại dung dịch này. Bởi vậy, bôi trơn tối thiểu (Minimum quantity lubrication- viết tắt là MQL) đã được đề xuất vào những năm 1990 [20] là phương pháp đưa trực tiếp dung dịch trơn nguội vào vùng cắt với áp lực cao dưới dạng sương mù. Công nghệ này được nghiên cứu và phát triển như là một giải pháp thay thế cho gia công khô và tưới tràn. Những kết quả nghiên cứu về MQL cho thấy đây là phương pháp có hiệu quả bôi trơn cao, góp phần làm giảm độ mòn của dụng cụ, dẫn đến tuổi bền dụng cụ tăng, chất lượng bề mặt gia công được cải thiện, v.v. Hơn nữa, lượng sử dụng dung dịch trơn nguội giảm thiểu rõ rệt và được coi là công nghệ thân thiện môi trường [4]. Cho đến nay, công nghệ MQL được ứng dụng phổ biến để gia công những loại thép có độ cứng thấp, trước nhiệt luyện và cho thấy hiệu quả rõ rệt khi so sánh với công nghệ khô và tưới tràn [5, 11,13,16]. Khi ứng dụng công nghệ này để gia công những loại vật liệu khó gia công, vật liệu có độ cứng cao thì hiệu quả chưa được như kỳ vọng do lực cắt và nhiệt sinh ra từ vùng cắt rất lớn.

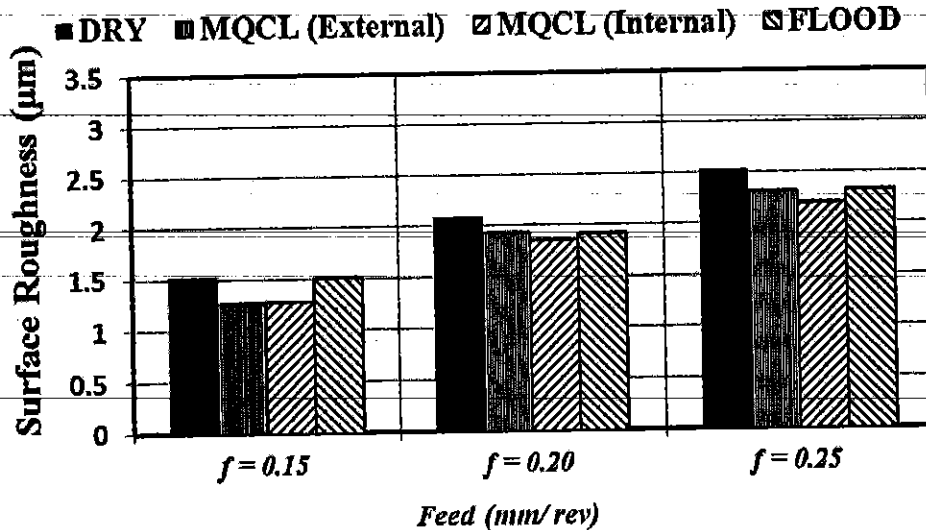
Có giải pháp được đề xuất để khắc phục vấn đề này, trong đó là sử dụng công nghệ MQL và MQCL (Minimum quantity cooling lubrication- viết tắt là MQCL) với dầu cắt nano. Việc sử dụng dầu cắt nano đã giúp cải thiện được hiệu quả bôi trơn và làm nguội của dầu cắt nên cũng như tương tác ma sát trong vùng cắt [21].

Trong đó, việc ứng dụng công nghệ MQCL có sử dụng dầu cắt nano là một hướng nghiên cứu mới, đang thu hút được sự quan tâm đặc biệt của các nhà khoa học trên thế giới, tuy nhiên ở Việt Nam còn ít được quan tâm và nghiên cứu. Các nghiên cứu về việc ứng dụng công nghệ MQCL có sử dụng dầu cắt nano trong gia công khoan các loại vật liệu khó gia công như thép Hardox 500 vẫn còn rất hạn chế, đặc biệt ở nước ta còn ít được quan tâm và nghiên cứu, do đó nhóm tác giả đề xuất hướng nghiên cứu với tên đề tài: Nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực, lưu lượng dòng khí và nồng độ hạt nano đến quá trình khoan thép Hardox 500 sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQCL).

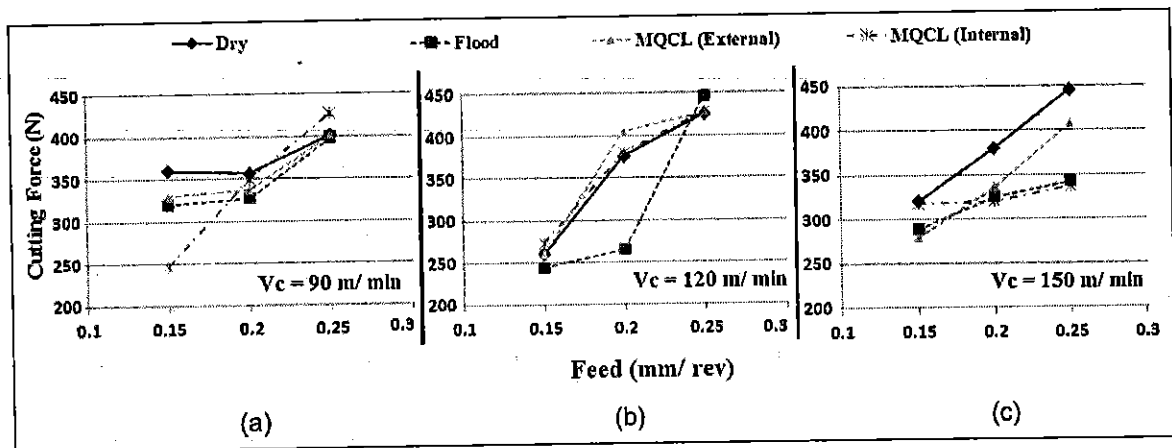
1.3 Tổng quan nghiên cứu

Trên thế giới, việc nghiên cứu công nghệ MQCL ứng dụng cho gia công vật liệu khó gia công là hướng nghiên cứu đang thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học. Nghiên cứu về ảnh hưởng của MQCL khi tiện hợp kim Ti6Al4V được trình bày trong tài liệu [22]. Kết quả nghiên cứu cho thấy trị số nhám bề mặt, lực cắt và mòn dụng cụ giảm do hiệu quả bôi trơn và làm nguội trong vùng cắt được cải thiện khi so sánh với chế độ khô và tưới tràn. Hình 1.1 minh họa trị số nhám bề mặt khi tiện

với các chế độ khác nhau gồm khô, MQCL và tưới tràn với $V = 150$ m/phút, $t = 0.8$ mm, $f = 0,15; 0,20; 0,25$ mm/vòng. Kết quả chỉ ra rằng khi tiện với chế độ MQCL cho chất lượng bề mặt tốt hơn. Trong hình 1.2a, chế độ MQCL phun từ bên ngoài cho hiệu quả ở lượng chạy dao thấp 0,15 mm/vòng, nhưng ở lượng chạy dao cao hơn $S = 0,25$ mm/vòng thì lực cắt lại lớn hơn các chế độ khác. Ở hình 1.2b, chế độ tưới tràn cho hiệu quả tốt hơn ở dải lượng chạy dao 0,15-0,20 mm/vòng. Tuy nhiên ở giá trị $S = 0,25$ mm/vòng thì chế độ bôi trơn khác tốt hơn. Hình 1.2c với $V = 120$ m/phút, chế độ tưới tràn và MQCL có giá trị lực cắt nhỏ hơn so với chế độ khô ở các mức lượng chạy dao được khảo sát.



Hình 1.1. Nhám bề mặt khi tiện với các chế độ khác nhau gồm khô, MQCL và tưới tràn với $V = 150$ m/phút [22]



Hình 1.2. So sánh lực cắt với lượng chạy dao và chế độ khác nhau gồm khô, MQCL và tưới tràn [22]

Trong nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ của MQCL cho quá trình tiện cứng thép AISI 1045, nhóm tác giả chỉ ra rằng việc hình thành dạng sương mù của dầu cắt emulsi trong MQCL đóng vai trò rất quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả bôi trơn và làm nguội vùng cắt [23]. Đường kính giọt dầu cắt nhỏ hơn có xu hướng hình thành lớp màng bôi trơn và xâm nhập vào vùng cắt tốt hơn. Việc hình thành lớp màng bôi trơn trên bề mặt tiếp xúc giữa dao và phôi góp phần làm giảm ma sát và mòn dụng cụ [23]. Nhóm tác giả cũng tiến hành nghiên cứu quá trình hình thành phôi khi tiện thép 316L với chế độ MQCL [4]. Kết quả nghiên cứu chỉ ra quá trình hình thành phôi thuận lợi hơn và hệ số co rút phôi giảm, điều này chứng tỏ hiệu quả bôi trơn và

làm nguội tốt hơn. Hơn nữa, kết quả thực nghiệm chỉ ra chất lượng bề mặt và topography bề mặt cải thiện khi so sánh với tiện khô. Điều này có được là do sự xâm nhập sâu vào vùng cắt của các hạt sương mù emulsi đã đẩy nhanh quá trình thoát nhiệt và góp phần giảm sự biến dạng bề mặt gia công. Tuy nhiên, tác giả cũng chỉ ra đường kính giọt ảnh hưởng lớn bởi khoảng cách vòi phun, và đường kính cũng như số lượng giọt có thể điều khiển được bằng lưu lượng dòng khí, áp suất dòng khí và khoảng cách vòi phun.

Đây cũng là những nghiên cứu ban đầu về ảnh hưởng của các thông số công nghệ MQCL nên có thể thấy rằng đây là một hướng nghiên cứu mới, còn ít được quan tâm và nghiên cứu, bởi vậy nhóm nghiên cứu lựa chọn đề tài: **“Nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực, lưu lượng dòng khí và nồng độ hạt nano đến quá trình khoan thép Hardox 500 sử dụng phương pháp bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQCL)”**. Trong nội dung nghiên cứu, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu vào thông số công nghệ MQCL (áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí và nồng độ hạt nano) sử dụng dung dịch nano khí khoan thép Hardox 500. Thông số đánh giá là lực dọc trục và nhám bề mặt.

CHƯƠNG 2- NGUYÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ÁP SUẤT DÒNG KHÍ, LƯU LƯỢNG DÒNG KHÍ VÀ NỒNG ĐỘ HẠT NANO KHI KHOAN THÉP HARDOX 500

2.1 Đặt vấn đề

Thép Hardox 500 là loại vật liệu khó gia công, tính khó gia công thể hiện ở chỗ là vừa có độ cứng khá cao; vừa có độ bền, độ dẻo dai cao; vừa có khả năng chịu mài mòn, chịu va đập tốt. Vì vậy thép Hardox 500 được sử dụng rất phổ biến để chế tạo các chi tiết máy làm việc trong các môi trường đặc biệt, các chi tiết chịu mài mòn, chịu ăn mòn, v.v.

Do việc gia công nhiệt thép Hardox rất phức tạp nên thường sử dụng loại thép này ở dạng thương phẩm do Hãng sản xuất. Ở dạng thương phẩm thép Hardox 500 độ cứng HRC = 49 – 50; độ bền, độ dẻo dai cao. Từ đòi hỏi của thực tiễn sản xuất, các sản phẩm chế tạo từ thép Hardox 500 cần gia công cắt gọt với khối lượng lớn, trong nguyên công khoan được sử dụng rất phổ biến. Tuy nhiên, đây là một loại thép khó gia công nên khi gia công ở chế độ khô, lực và nhiệt cắt sinh ra rất lớn, đẩy nhanh quá trình mòn dụng cụ, ảnh hưởng xấu đến chất lượng bề mặt gia công và tuổi bền của dụng cụ, từ đó làm giảm hiệu quả của quá trình cắt. Đặc biệt đối với quá trình khoan, đây là phương pháp gia công có không gian kín nên việc thoát phoi và thoát nhiệt gặp nhiều khó khăn, do vậy, cần phải có giải pháp bôi trơn làm nguội phù hợp để có thể đưa được dầu cắt vào sâu trong vùng cắt. Trong các giải pháp được đề xuất, việc ứng dụng công nghệ MQCL có sử dụng dầu cắt nano là một hướng nghiên cứu mới, đã cho thấy hiệu quả trong việc cải thiện khả năng cắt trong các nghiên cứu gần đây [1,2].

Hiệu quả của việc sử dụng dầu cắt nano trong công nghệ MQCL phụ thuộc vào rất nhiều thông số như: áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, loại dung dịch, loại hạt, loại dung dịch nền, chế độ cắt, v.v. Do vậy, việc đánh giá các thông số công nghệ này cũng như hiệu quả của dung dịch nano trong MQCL sử dụng cho quá trình khoan là cấp thiết, cần được nghiên cứu để triển khai ứng dụng trong thực tiễn.

2.2 Mô hình nghiên cứu

Bảng 2.1 mô tả mô hình nghiên cứu thực nghiệm quá trình khoan thép Hardox 500 sử dụng chế độ bôi trơn làm nguội tối thiểu (MQCL) với 03 thông số đầu vào và 02 thông số đánh giá đầu ra.

Bảng 2.1. Mô hình nghiên cứu quá trình khoan thép Hardox 500

Đầu vào (Input)	Quá trình (Process)	Đầu ra (Output)
1. Áp suất dòng khí 2. Lưu lượng dòng khí 3. Nồng độ hạt nano	Khoan thép Hardox 500	1. Lực cắt dọc trục F_y 2. Nhám bề mặt: R_a

2.3 Phương pháp nghiên cứu

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

2.4 Công cụ nghiên cứu

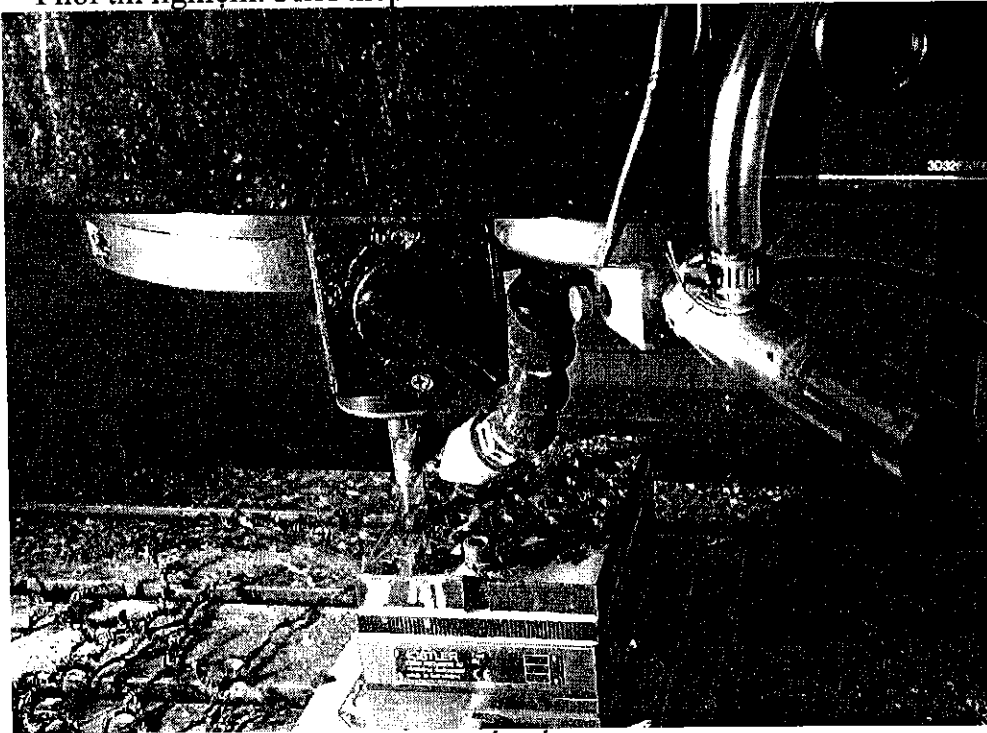
Sử dụng thiết kế quy hoạch tối ưu Box - Behnken với 03 biến khảo sát để xây dựng sơ đồ quy hoạch với hỗ trợ của phần mềm Minitab 19 để xử lý số liệu và khảo sát được tương tác giữa các thông số đầu vào đến kết quả của quá trình gia công.

2.5 Thiết kế thí nghiệm

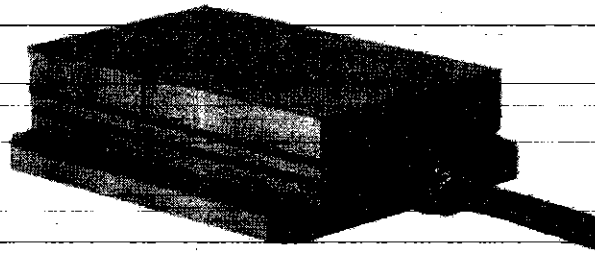
2.5.1 Thiết bị thí nghiệm

Thiết kế thí nghiệm để phục vụ cho quá trình nghiên cứu như hình 2.1. Trang thiết bị thí nghiệm gồm:

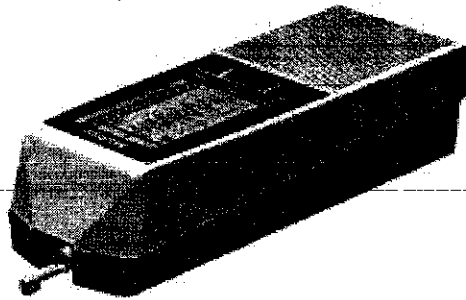
- Máy: Trung tâm gia công thông minh Mazak 530C.
- Dụng cụ cắt: Mũi khoan Multi Drill MDS127SK, vật liệu: ACZ70 - phủ TiAlCN; Hãng Sumitomo Electric Industries, Nhật bản.
- Hệ thống MQL: Đầu phun MQCL và một số thiết bị đi kèm gồm: máy nén khí, van điều chỉnh áp suất, van điều chỉnh lưu lượng khí, dầu gạo hạt nano MoS₂ và Al₂O₃ (Hình 2.4, 2.5)
- Thiết bị đo: Đầu đo lực 03 thành phần 9257BA của hãng Kistler (hình 2.2), máy đo nhám SJ-210 của hãng Mitutoyo (hình 2.3)
- Thiết bị xử lý số liệu: Hệ thống thu thập và khuếch đại tín hiệu A/D DQA-N16210, phần mềm DasyLab 10.0
- Phôi thí nghiệm: Phôi thép Hardox 500



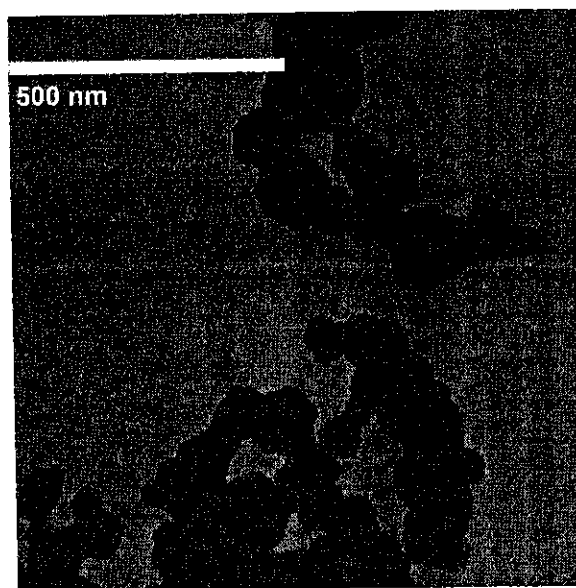
Hình 2.1. Thiết kế thí nghiệm



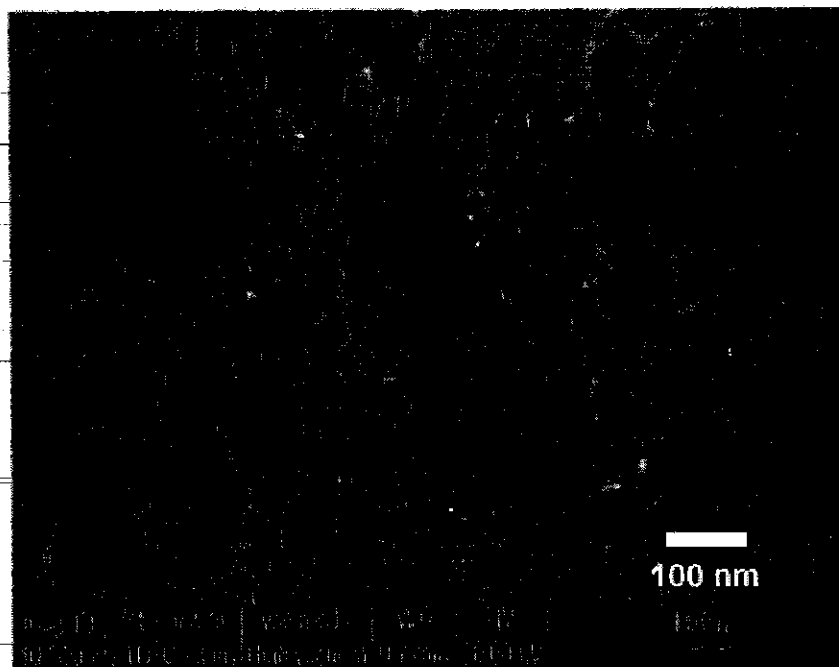
Hình 2.2. Đầu đo lực 03 thành phần 9257BA của hãng Kistler



Hình 2.3. Máy đo nhám SJ-210 của hãng Mitutoyo



Hình 2.4. Ảnh chụp SEM của hạt nano MoS₂



Hình 2.5. Ảnh chụp SEM của hạt nano Al_2O_3

2.5.2 Kế hoạch thí nghiệm

Sử dụng phương pháp quy hoạch tối ưu Box - Behnken với 03 biến đầu vào với mỗi biến ở hai mức được trình bày trong Bảng 2.2

Bảng 2.2. Kế hoạch thí nghiệm

STT	Thông số	Ký hiệu	Mức thấp	Mức cao
1	Áp suất dòng khí (bar)	p	4	6
2	Lưu lượng dòng khí (l/phút)	Q	100	200
3	Nồng độ hạt nano (%)	NC	0.2	1.0

Thông số đánh giá: Trị số nhám R_a ; lực dọc trục F_y

2.6 Triển khai thí nghiệm

Sử dụng Minitab 19 để xây dựng ma trận thí nghiệm như bảng 2.3. Triển khai thí nghiệm theo sơ đồ quy hoạch, đo các thông số đánh giá R_a , F_y cho kết quả ở bảng 2.3. Thông số được giữ cố định là $V = 15$ m/phút, $S = 0,02$ mm/vòng. Dầu cắt nano MoS_2 trên nền là dầu gạo.

Bảng 2.3 Kết quả thí nghiệm theo sơ đồ quy hoạch

Std Order	Run Order	PfType	Blocks	p (bar)	Q (l/min)	NC (%)	Ra (µm)	Fy (N)
2	1	2	1	6	100	0.6	0.173	510.2
13	2	0	1	5	150	0.6	0.178	509.1
8	3	2	1	6	150	1	0.222	540.6
5	4	2	1	4	150	0.2	0.225	528.4
14	5	0	1	5	150	0.6	0.176	507.7
11	6	2	1	5	100	1	0.245	545.6
1	7	2	1	4	100	0.6	0.22	547.6
6	8	2	1	6	150	0.2	0.223	536.8
9	9	2	1	5	100	0.2	0.243	550.7
15	10	0	1	5	150	0.6	0.213	530.6
3	11	2	1	4	200	0.6	0.19	520.3
10	12	2	1	5	200	0.2	0.233	527.8
12	13	2	1	5	200	1	0.246	553.5
4	14	2	1	6	200	0.6	0.162	498.7
7	15	2	1	4	150	1	0.248	556.4

2.7 Kết quả và thảo luận

Sau khi tiến hành thí nghiệm theo sơ đồ quy hoạch, với các giá trị lực cắt và nhám bề mặt đo được, sử dụng phần mềm Minitab để xử lý số liệu để thiết lập được phương trình hồi quy thực nghiệm của lực cắt dọc trục F_y và nhám bề mặt R_a như sau:

$$F_y = 134 + 198*p - 1.67*Q + 168*NC - 18.9 p*p + 0.00633 Q*Q - 14.3 NC*NC - 0.018 p*Q - 26.4 p*NC - 0.189 Q*NC$$

(2.1)

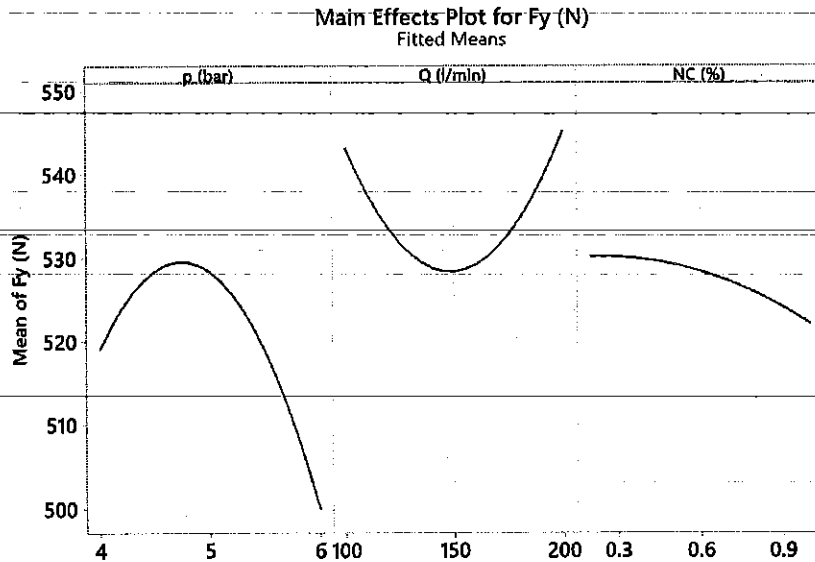
$$R_a = -0.269 + 0.298 p - 0.00434 Q + 0.413 NC - 0.0296 p*p + 0.000012 Q*Q + 0.005 NC*NC + 0.000145 p*Q - 0.0856 p*NC - 0.000088 Q*NC$$

(2.2)

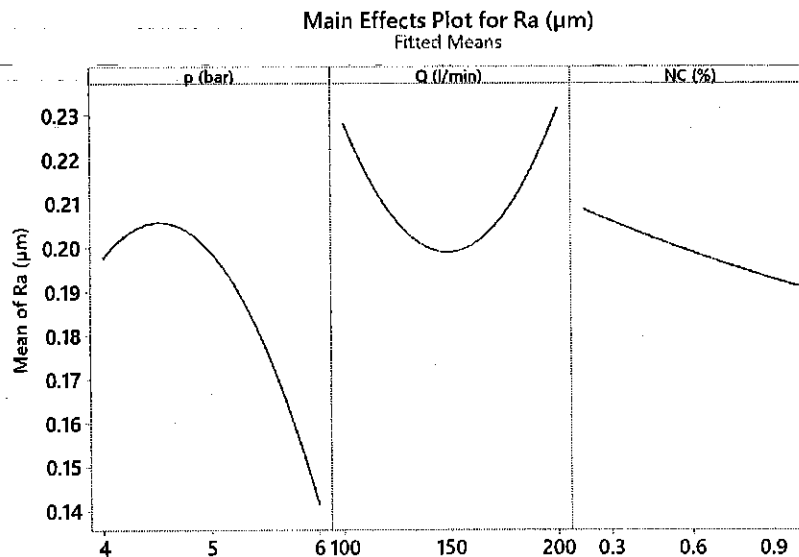
Mức độ phù hợp của mô hình thí nghiệm với số liệu thí nghiệm thu thập được được đánh giá thông qua hệ số quyết định. Hệ số quyết định R^2 đối với giá trị nhám bề mặt R_a và lực cắt dọc trục F_y lần lượt là 81.52% và 66.39% chứng tỏ mô hình thí nghiệm phù hợp với kết quả thực nghiệm.

Quan sát đồ thị ảnh hưởng chính của các thông số khảo sát lên R_a và F_y trên hình 2.6, 2.7 có thể thấy khi tăng áp suất dòng khí và nồng độ hạt nano sẽ góp phần làm giảm lực cắt và trị số nhám bề mặt. Điều này có thể giải thích rằng khi tăng áp suất dòng khí sẽ góp phần đưa dầu cắt dưới dạng sương mù vào sâu hơn trong vùng cắt giúp cải thiện điều kiện bôi trơn và làm nguội trong vùng cắt [22]. Bên cạnh đó, khi tăng nồng độ hạt nano MoS_2 sẽ góp phần cải thiện khả năng bôi trơn trong vùng cắt giúp giảm lực cắt và biến dạng của bề mặt gia công [23]. Đồ thị ảnh hưởng của lưu lượng dòng khí có điểm uốn cho thấy tại giá trị $Q=150$ l/phút là giá trị phù hợp để đạt được trị số lực cắt dọc trục và nhám bề mặt nhỏ hơn.

Ảnh hưởng tương tác giữa các thông số đầu vào đến biến khảo sát được minh họa bằng đồ thị bề mặt trên hình 2.8-2.10. Khi cố định nồng độ hạt nano $NC = 0,6\%$, nên sử dụng áp suất dòng khí ở mức cao (6 bar) kết hợp với Q ở mức trung bình (150 l/phút) (hình 2.8). Khi cố định $Q = 150$ l/phút, nên sử dụng nồng độ hạt nano và áp suất dòng khí ở mức cao ($NC = 1.0\%$ và $p = 6$ bar) để đạt được nhám bề mặt tốt và lực dọc trục nhỏ (hình 2.9). Ở hình 2.10, khi cố định áp suất dòng khí $p = 5$ bar, lưu lượng dòng khí $Q = 150$ l/phút kết hợp với nồng độ hạt nano $NC = 1.0\%$ sẽ đạt được F_y và R_a nhỏ.

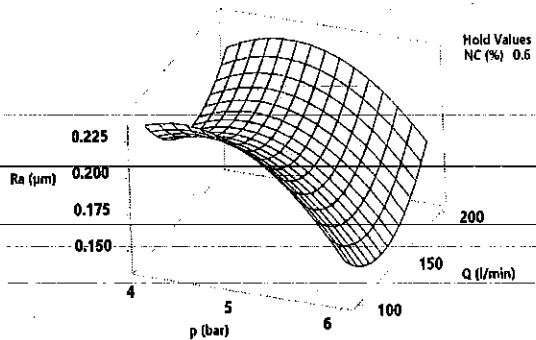


Hình 2.6. Ảnh hưởng của các biến khảo sát đến trị số F_y



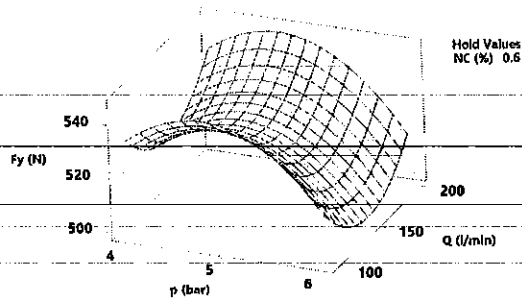
Hình 2.7. Ảnh hưởng của các biến khảo sát đến trị số R_a

Surface Plot of Ra (μm) vs Q (l/min), p (bar)



(a)

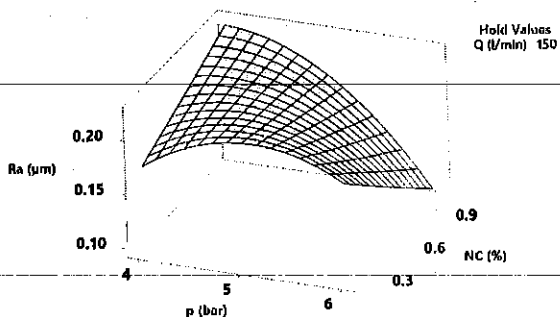
Surface Plot of Fy (N) vs Q (l/min), p (bar)



(b)

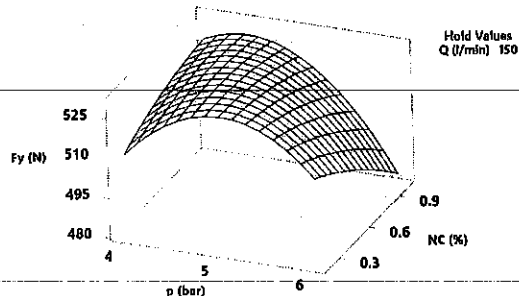
Hình 2.8. Đồ thị bề mặt các ảnh hưởng tương tác giữa p và Q đối với Ra, Fy

Surface Plot of Ra (μm) vs NC (%), p (bar)



(a)

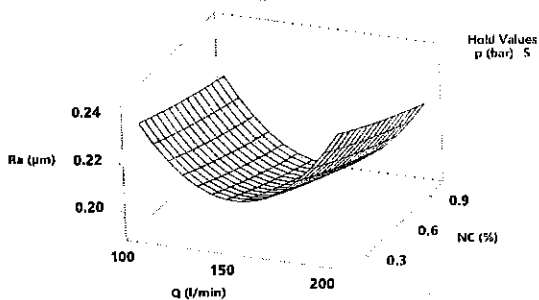
Surface Plot of Fy (N) vs NC (%), p (bar)



(b)

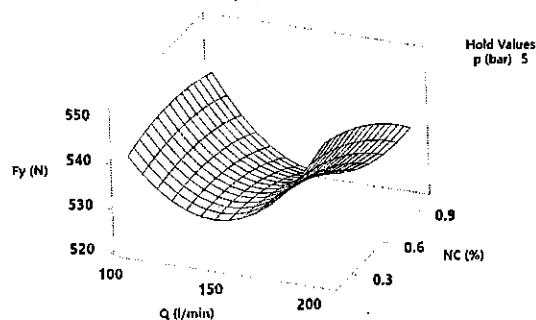
Hình 2.9. Đồ thị bề mặt các ảnh hưởng tương tác giữa p và NC đối với Ra, Fy

Surface Plot of Ra (μm) vs NC (%), Q (l/min)



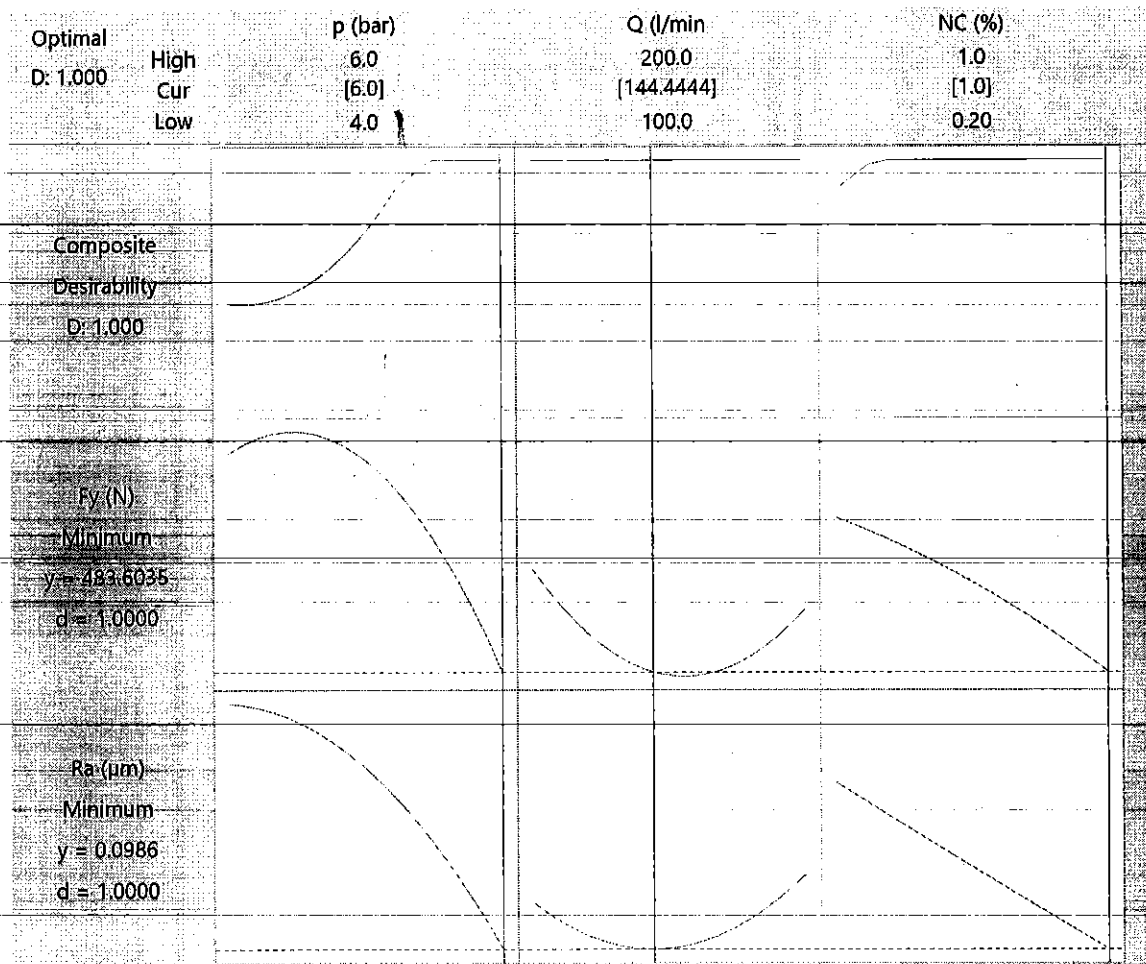
(a)

Surface Plot of Fy (N) vs NC (%), Q (l/min)



(b)

Hình 2.10. Đồ thị bề mặt các ảnh hưởng tương tác giữa Q và NC đối với Ra, Fy



Hình 2.11. Tối ưu hóa đa mục tiêu đối với R_a , F_y

Tiến hành tối ưu hóa đa mục tiêu với R_a , F_y , kết quả được cho ở hình 2.11. Từ kết quả tối ưu hóa có thể thấy rằng bộ thông số tối ưu đó là $p=6$ bar; $Q = 144,4$ l/phút và $NC = 1,0\%$ sẽ cho trị số lực dọc trục nhỏ nhất được dự đoán là $F_y = 483,6$ N và trị số R_a nhỏ nhất dự đoán là $0,099 \mu\text{m}$.

2.8 Khảo sát ảnh hưởng của hạt nano Al_2O_3

Ở trong nội dung phần này, tác giả tiến hành nghiên cứu thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của hạt nano Al_2O_3 với cùng một chế độ và quy hoạch thực nghiệm giống với hạt nano MoS_2 . Mục đích ở đây nhằm tiến hành khảo sát ảnh hưởng của một loại hạt nano có đặc tính, hình dạng khác biệt với hạt nano MoS_2 với cấu trúc ở dạng lớp để có được những đánh giá và những chỉ dẫn công nghệ đối với loại hạt nano này, từ đó làm nền tảng nghiên cứu ứng dụng điều chế dầu cắt Hybrid nano trong công nghệ MQCL.

Tiến hành thí nghiệm theo sơ đồ quy hoạch và thu thập dữ liệu, kết quả được cho ở bảng 2.4

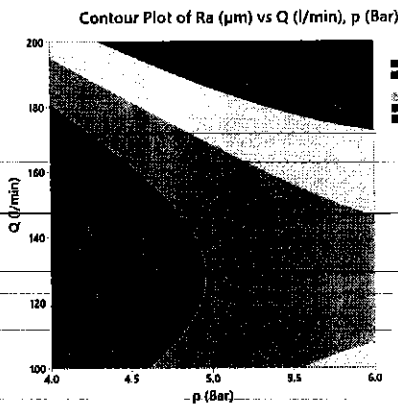
Bảng 2.4 Kết quả thí nghiệm theo sơ đồ quy hoạch khi sử dụng hạt nano Al_2O_3

Std Order	Run Order	PtType	Blocks	p (bar)	Q (l/min)	NC (%)	Ra (μ m)	Fy (N)
2	1	2	1	6	100	0.6	0.184	520.5
12	2	2	1	5	200	1	0.168	500.3
4	3	2	1	6	200	0.6	0.154	480.6
11	4	2	1	5	100	1	0.203	530.6
1	5	2	1	4	100	0.6	0.223	550.5
3	6	2	1	4	200	0.6	0.197	524.5
15	7	0	1	5	150	0.6	0.185	510.3
8	8	2	1	6	150	1	0.202	513.3
7	9	2	1	4	150	1	0.236	530.6
5	10	2	1	4	150	0.2	0.256	560.5
9	11	2	1	5	100	0.2	0.25	556.2
14	12	0	1	5	150	0.6	0.248	540.5
6	13	2	1	6	150	0.2	0.228	538.6
10	14	2	1	5	200	0.2	0.186	530.2
13	15	0	1	5	150	0.6	0.182	512.5

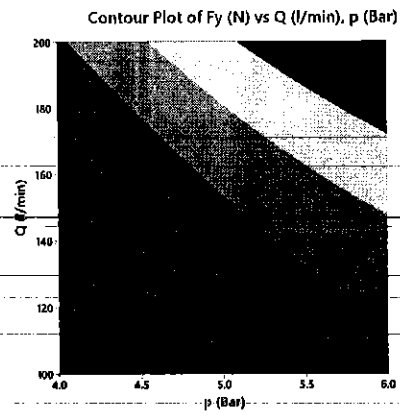
Biểu đồ đường mức ảnh hưởng của lưu lượng dòng khí và áp suất dòng khí lên nhám bề mặt R_a và lực dọc trục F_y khi cố định $NC = 0.6\%$ được cho ở hình 2.12. Dựa vào biểu đồ, có thể chọn chọn $Q = 170-200$ l/phút kết hợp với $p = 4.2-6.0$ bar sẽ giúp đạt được trị số nhám bề mặt nhỏ hơn (hình 2.12a) và $Q = 170-200$ l/phút kết hợp với $p = 5.2-6.0$ bar sẽ góp phần giảm lực dọc trục F_y (hình 2.12b).

Biểu đồ đường mức ảnh hưởng của nồng độ hạt nano và áp suất dòng khí lên lực dọc trục F_y khi cố định $Q = 150$ l/phút được cho ở hình 2.13. Dựa vào biểu đồ, có thể chọn $NC = 0.36-1.0\%$ kết hợp với $p = 4.6-6.0$ bar sẽ giúp đạt được trị số nhám bề mặt nhỏ hơn (hình 2.13a), trong khi đó có thể chọn $NC = 0.4-1.0\%$ kết hợp với $p = 4.8-6.0$ bar sẽ góp phần giảm lực dọc trục F_y (hình 2.13b).

Biểu đồ đường mức ảnh hưởng của nồng độ hạt nano và lưu lượng dòng khí lên lực dọc trục F_y khi cố định $p = 5$ bar được cho ở hình 2.14. Dựa vào biểu đồ, có thể chọn $NC = 0.3-1.0\%$ kết hợp với $Q = 190-200$ l/phút sẽ giúp đạt được trị số nhám bề mặt nhỏ hơn (hình 2.14a). Trong khi đó chọn $NC = 0.45-1.0\%$ kết hợp với $Q = 170-200$ l/phút sẽ góp phần giảm lực dọc trục F_y (hình 2.14b).

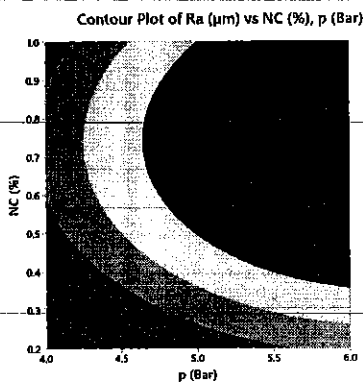


(a)

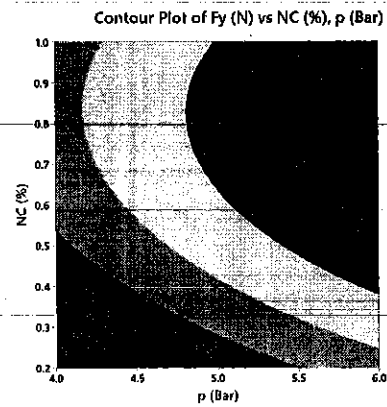


(b)

Hình 2.12. Đồ thị đường mức các ảnh hưởng tương tác giữa Q và p đối với R_a , F_y

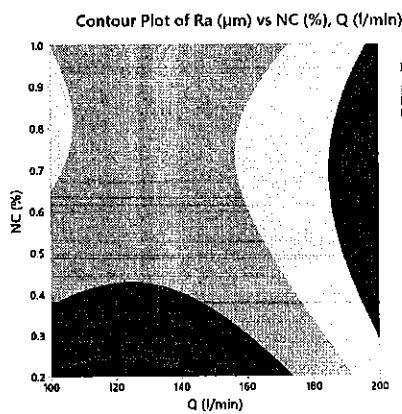


(a)

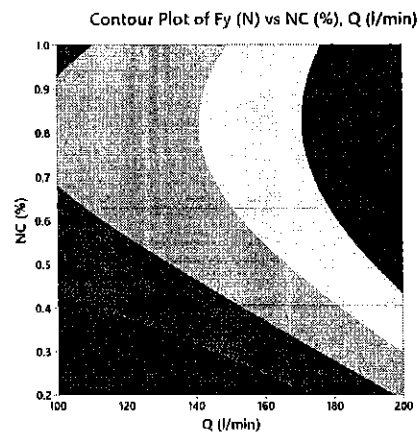


(b)

Hình 2.13. Đồ thị đường mức các ảnh hưởng tương tác giữa NC và p đối với R_a , F_y



(a)



(b)

Hình 2.14. Đồ thị đường mức các ảnh hưởng tương tác giữa NC và Q đối với R_a , F_y

2.9 Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã đánh giá được ảnh hưởng của áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí và nồng độ hạt nano MoS_2 và Al_2O_3 đến các hàm mục tiêu là trị số nhám bề mặt R_a và lực cắt dọc trục F_y . Qua phân tích kết quả cho thấy các biến khảo sát và tương tác giữa các biến đều có ảnh hưởng đến các hàm mục tiêu.

Ảnh hưởng độc lập của các biến khảo sát được nghiên cứu để có thể đánh giá sơ bộ xu hướng ảnh hưởng lên hàm mục tiêu, từ đó có cơ sở để tiếp tục nghiên cứu tiếp theo, lựa chọn miền khảo sát phù hợp.

Ảnh hưởng tương tác của các biến khảo sát đầu vào cũng được đánh giá một cách chi tiết để xác định được miền giá trị hợp lý để đạt được hàm mục tiêu. Qua phân tích biểu đồ bề mặt và đường mức, những chỉ dẫn công nghệ hợp lý về áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano MoS_2 và Al_2O_3 trong công nghệ MQCL dùng dầu gạo được đề xuất. Hơn nữa, bộ thông số công nghệ tối ưu cho áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano MoS_2 được xác định thông qua việc tiến hành tối ưu hóa đa mục tiêu.

KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

- Sử dụng thiết kế quy hoạch tối ưu Box - Behnken với 03 biến khảo sát để xây dựng sơ đồ quy hoạch với hỗ trợ của phần mềm Minitab 19 nhằm đánh giá ảnh hưởng của các biến số khảo sát gồm áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano đến kết quả của hàm mục tiêu là lực dọc trục F_y và nhám bề mặt R_a .

- Nghiên cứu đã ứng dụng thành công công nghệ MQCL có sử dụng dầu cắt nano MoS_2 và Al_2O_3 trên nền là dầu gạo vào quá trình khoan thép Hardox 500. Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa rất lớn không chỉ ở mặt kỹ thuật đó là đề xuất giải pháp công nghệ khoan thép khó gia công Hardox 500 bằng mũi khoan hợp kim cứng, mà còn ở mặt môi trường, vì dầu gạo là một trong những loại dầu thực vật thân thiện với môi trường, giảm thiểu việc sử dụng những loại dầu cắt gọt công nghiệp. Công nghệ này sẽ thay thế cho khoan ở chế độ khô và tưới tràn.

- Từ kết quả thực nghiệm thu được, qua phân tích biểu đồ bề mặt và đường mức, những chỉ dẫn công nghệ hợp lý về áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano MoS_2 và Al_2O_3 trong công nghệ MQCL dùng dầu gạo được đề xuất. Hơn nữa, đã xác định bộ thông số công nghệ tối ưu cho áp suất dòng khí, lưu lượng dòng khí, nồng độ hạt nano MoS_2 đó là $p=6$ bar; $Q = 144,4$ l/phút và $NC = 1,0\%$.

- Từ kết quả nghiên cứu này, căn cứ vào điều kiện gia công cụ thể mà có định hướng để triển khai nghiên cứu và ứng dụng vào thực tiễn sản xuất. Tuy nhiên nghiên cứu mới thực hiện được ở những thông số cơ bản và mang tính chất định hướng, còn rất nhiều vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu tối ưu các thông số công nghệ khác như loại dầu cắt, loại hạt nano, chế độ cắt, v.v. Đây là một hướng nghiên cứu mới, có nhiều triển vọng và có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tran Minh Duc, Tran The Long*, Tran Quyet Chien, Ngo Minh Tuan. Study of cutting forces in hard milling of hardox 500 steel under MQCL condition using nano additives. SSRG International Journal of Mechanical Engineering (SSRG-IJME) 2019, Volume 6 Issue 11, 1-7.
- [2] Tran Minh Duc, Tran The Long*, Pham Quang Dong. Surface roughness investigation in MQCL hard milling of hardox 500 steel using emulsion-based nanofluid. Global journal of advanced engineering technologies and sciences, 2019, 6(12), 1-6.
- [3] Maruda, R. W., Krolczyk, G. M., Wojciechowski, S., Zak, K., Habrat, W., & Nieslony, P. (2018). Effects of extreme pressure and anti-wear additives on surface topography and tool wear during MQCL turning of AISI 1045 steel. Journal of Mechanical Science and Technology, 32(4), 1585–1591. doi:10.1007/s12206-018-0313-7.
- [4] Maruda, R. W., Krolczyk, G. M., Nieslony, P., Krolczyk, J. B., & Legutko, S. (2016). Chip Formation Zone Analysis During the Turning of Austenitic Stainless Steel 316L under MQCL Cooling Condition. Procedia Engineering, 149, 297–304. doi:10.1016/j.proeng.2016.06.670.
- [5] Duc, T. M., Long, T. T., & Dong, P. Q. (2019). Effect of the alumina nanofluid concentration on minimum quantity lubrication hard machining for sustainable production. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. Doi: 10.1177/0954406219861992.
- [6] Tran Minh Duc; Tran The Long. Tran Quyet Chien (2019). Performance Evaluation of MQL Parameters Using Al₂O₃ and MoS₂ Nanofluids in Hard Turning 90CrSi Steel. Lubricants, 7 (5), 1-17. Doi: 10.3390/lubricants7050040.
- [7] 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.
- [8] Wang, Y., Li, C., Zhang, Y., Li, B., Yang, M., Zhang, X., Guo, S., Liu, G. (2016). Experimental evaluation of the lubrication properties of the wheel/workpiece interface in MQL grinding with different nanofluids. Tribology International 99, 198–210. doi:10.1016/j.triboint.2016.03.023.
- [9] Ting Luo, Xiaowei Wein, Xiong Huang, Ling Huang, Fan Yang. Tribological properties of Al₂O₃ nanoparticles as lubricating oil additives. Ceramics International 40 (2014) 7143– 7149. doi: 10.1016/j.ceramint.2013.12.050.

[10] Chatha, S. S., Pal, A., & Singh, T. (2016). Performance evaluation of aluminium 6063 drilling under the influence of nanofluid minimum quantity lubrication. *Journal of Cleaner Production*, 137, 537–545. doi:10.1016/j.jclepro.2016.07.139.

[11] Tran Minh Duc, Tran The Long and Tran Bao Ngoc. Effectiveness of alumina nanofluid on slotting end milling performance of SKD 11 tool steel. *Journal of Computational and Applied Research in Mechanical Engineering*, Available Online from 19 February 2019, doi:10.22061/JCARME.2019.4041.1484.

[12] XiaoLi, Hongwei Zhu, Two-dimensional MoS₂: Properties, preparation, and applications, *Journal of Materiomics Volume 1, Issue 1, March 2015, Pages 33-44.*

[13] Hadad MJ, Tawakoli T, Sadeghi MH, Sadeghi B (2012) Temperature and energy partition in minimum quantity lubrication-MQL grinding process. *Int J Mach Tool Manuf* 54:10–17.

[14] Amrita M, Shariq SA (2014), Experimental investigation on application of emulsifier oil based nano cutting fluids in metal cutting process. *Procedia Eng* 97:115–124

[15] Zhang Y, Li C, Jia D, Zhang D, Zhang X (2015) Experimental evaluation of the lubrication performance of MoS₂/CNT nanofluid for minimal quantity lubrication in Ni-based alloy grinding. *Int J Mach Tool Manuf* 99:19–33

[16] Zhang Y, Li C, Jia D, Zhang D, Zhang X (2015) Experimental evaluation of MoS₂ nanoparticles in jet MQL grinding with different types of vegetable oil as base oil. *J Clean Prod* 87:930–940

[17] Uysal A, Demiren F, Altan E (2015) Applying minimum quantity lubrication (MQL) method on milling of martensitic stainless steel by using nano MoS₂ reinforced vegetable cutting fluid. *Procedia Soc Behav Sci* 195:2742–2747

[18] Rahmati B, Sarhan AA, Sayuti M (2014) Morphology of surface generated by end milling AL6061-T6 using molybdenum disulfide (MoS₂) nanolubrication in end milling machining. *J Clean Prod* 66:685–69

[19] <https://www.ssab.com/en/brands-and-products/hardox/product-program/500>

[20] Lee, P.-H.; Nam, J.S.; Li, C.; Lee, S.W. An experimental study on micro-grinding process with nanofluid minimum quantity lubrication (MQL). *Int. J. Precis. Eng. Manuf.* 2012, 13, 331–338.

[21] Dong, P.Q.; Duc, T.M.; Long, T.T. Performance Evaluation of MQCL Hard Milling of SKD 11 Tool Steel Using MoS₂ Nanofluid. *Met.* 2019, 9, 658, doi:10.3390/met9060658.

[22] Pervaiz, S.; Deiab, I.; Rashid, A.; Nicolescu, M. Minimal quantity cooling lubrication in turning of Ti6Al4V: Influence on surface roughness, cutting force and

tool wear. Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf. 2017, 231, 1542–1558,
doi:10.1177/0954405415599946.

[23] Maruda, R. W.; Krolczyk, G.M.; Feldshtein, E.; Nieslony, P.; Tyliszczak, B.;
Pusavec, F. Tool wear characterizations in finish turning of AISI 1045 carbon steel for
MQCL conditions. Wear 2017, 372, 54–67.

Investigation of air pressure, air flow rate, and nanoparticle concentration in MQCL drilling of Hardox 500 steel

Pham Quang Dong^{1,*}, Dao Thi Tuyet Nhung², and Nguyen Thuan¹

¹Faculty of Mechanical Engineering, Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, 250000, Vietnam

²Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen, 250000, Vietnam

Abstract: The work presents the experimental study on the effectiveness of MQCL technology using Al_2O_3 nano-cutting oil when drilling Hardox 500 steel, a difficult-to-cut material. The Box – Behnken experimental design was applied to evaluate the influence of parameters including air pressure, air flow rate and nanoparticle concentration on the axial cutting force F_t and surface roughness R_a . The obtained results show that the investigated parameters have greater influences on the axial cutting force than the surface roughness. The study also gives some technological guidelines to achieve the desired smaller cutting force or surface roughness values.

Keywords: MQCL, drilling, surface roughness, cutting force, air pressure, air flow rate, nano cutting oil, Hardox 500 steel.

1. Introduction

Hardox 500 steel produced by SSAB, SWEDEN [1] has been widely used in industrial production in recent years. Commercial hardox 500 steel has been fully heat-treated with fairly high hardness, high strength, high toughness and good wear resistance. According to the company's recommendations, it is recommended to use Hardox 500 steel in the fully heat-treated state provided by the company, so there should be no additional heat processing.

However, Hardox 500 steel is classified as a difficult-to-cut material [2]. When cutting this type of steel, the cutting force and cutting heat are often very large, and the severe tool wear is also the problem, seriously affecting the economic and technical efficiency [3-6]. Because Hardox 500 steel is widely used in industry, it is necessary to have solutions to improve economic and technical efficiency by using machining processes.

Among the proposed solutions, Minimum Quantity Cooling Lubrication (MQCL) is a novel technique that has attracted a lot of attention of researchers around the world because a minimum amount of low-temperature coolant is sprayed directly into the cutting zone in the mist form. The study on the

effect of graphite nanofluid with vegetable oil as the based oil for hard turning under MQCL condition was reported in [7]. The obtained results revealed that the turning performance significantly improved due to the reduction of the friction created by nanoparticles combined with cooling enhancement created by MQCL environment. The experimental investigation of MQCL technique using MoS_2 nanofluid in hard milling of SKD 11 tool steel indicated that the enhancement of cooling and lubricating performance is reported by using MoS_2 nanofluid, from which the white layer formation and burn marks significantly reduce, and therefore the surface quality improves [8]. However, there are very few studies on the application of MQCL using nano-cutting oils for machining difficult-to-machine materials. Besides, the effectiveness of this method has been proven especially for machining methods with closed spaces like drilling [3]. In this article, the authors investigated the influence of technological parameters of MQCL technique including air pressure, air flow rate, and Al_2O_3 nanoparticle concentration when drilling Hardox 500 steel.

2. Material And Method

The experiment was carried out on a Vertical center smart 530C - Mazak corporation and the experimental set up is shown in Figure 1. Multi Drill MDS127SK (Sumitomo Electric Industries, Japan) carbide tool was used. MQCL nozzle was used with the rice bran oil containing 1.0 wt.% Al_2O_3 nanoparticles. Measurement devices include SJ-210 Mitutoyo for surface roughness and Kistler quartz three-component dynamometer 9257BA for cutting forces. Hardox 500 sample (49÷50 HRC) with the dimensions of 150mm ×100mm ×15 mm were used. The chemical composition and mechanical properties of Hardox 500 steel are shown in Table 1, 2. To ensure uniform distribution of Al_2O_3 nanoparticles 1.0 wt%. in the base fluids of rice bran oil, the nanofluid is placed in Ultrasons-HD ultrasonicator for 1 hours with 600W ultrasonic pulses at 40 kHz and directly used for MQCL systems [3]. The cutting condition was fixed with cutting speed of 15 m/min and feed rate of 0.02 mm/rev.

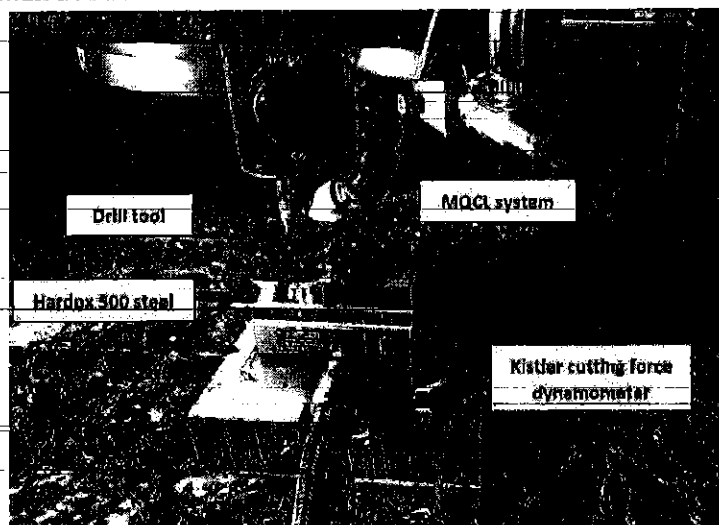


Figure 1. Experimental set up

Table 1. Chemical composition of Hardox 500 steel

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Weight (%)	0.3	0.7	1.6	0.025	0.01	1.5	1.5	0.6	0.005

Table 2. Mechanical property of Hardox 500 steel

Toughness (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HBW)	Hardness (HRC)
1250	1400	10	470 - 530	49 - 50

The Box - Behnken experimental design with the support of MINITAB 19 software was used to investigate the effect of air pressure, air flow rate, and nano concentration on the surface roughness R_a and axial cutting force F_y . The input parameters and their levels are given in Table 3.

Table 3. Input cutting parameters and their levels

Input cutting parameters	Symbol	Low level	High level	Response
Air pressure	p (Bar)	4	6	Surface roughness R_a (μm); axial cutting force F_y (N)
Air flow rate	Q (l/min)	100	200	
Nanoparticle concentration	NC (%)	0.2	1.0	

3. Results and Discussion

The experiment was carried out according to the experimental plan and the measured surface roughness R_a and axial force F_y are given in Table 4. The cutting force is measured directly from the cutting process, while the surface roughness was measured 3 times after each cutting trial and taken by the average values.

Table 4. Factorial experimental design and the measured surface roughness R_a and thrust force F_y

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	p (Bar)	Q (l/min)	NC (%)	R_a (μm)	F_y (N)
2	1	2	1	6	100	0.6	0.184	520.5
12	2	2	1	5	200	1	0.168	500.3
4	3	2	1	6	200	0.6	0.154	480.6
11	4	2	1	5	100	1	0.203	530.6
1	5	2	1	4	100	0.6	0.223	550.5
3	6	2	1	4	200	0.6	0.197	524.5
15	7	0	1	5	150	0.6	0.185	510.3
8	8	2	1	6	150	1	0.202	513.3

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	p (Bar)	Q (l/min)	NC (%)	Ra (µm)	Fy (N)
7	9	2	1	4	150	1	0.236	530.6
5	10	2	1	4	150	0.2	0.256	560.5
9	11	2	1	5	100	0.2	0.25	556.2
14	12	0	1	5	150	0.6	0.248	540.5
6	13	2	1	6	150	0.2	0.228	538.6
10	14	2	1	5	200	0.2	0.186	530.2
13	15	0	1	5	150	0.6	0.182	512.5

Pareto charts with significance level $\alpha = 0.05$ shows the limit line of the hypothetical rejection area for surface roughness R_a and axial cutting force F_y . The variables whose histograms all exceed the right of the limit line are the dominant factors. Those whose histogram lies to the left of the limit line have little influences.

The limit line of the surface roughness R_a has a coordinate of 2.571 (Figure 2), and the investigated factors are air flow pressure (A), air flow rate (B), the nanoparticle concentration (C) and their interaction effects of these factors have little influences on the surface roughness values of the machined surface. Meanwhile, these three variables all have the great influences on the axial cutting force F_y , in which, the air flow rate has the greatest influence, followed by the air pressure and nanoparticle concentration (Figure-3). The interaction effects of these variables have little effects on the axial cutting force F_y [9].

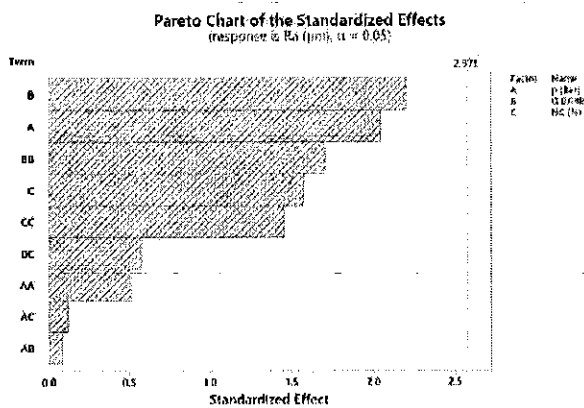


Figure 2. Pareto chart of air pressure, air flow rate, and nano concentration effects on surface roughness R_a

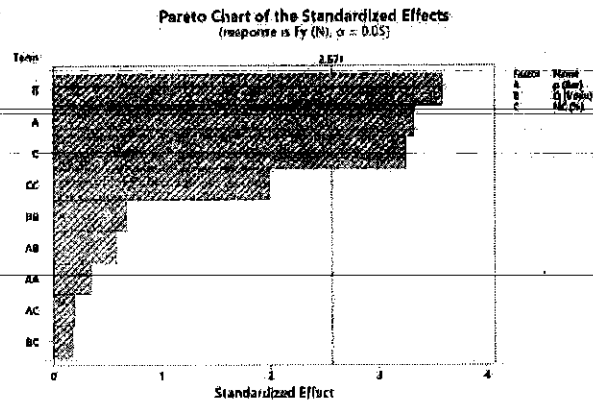


Figure 3. Pareto chart of air pressure, air flow rate, and nano-concentration-effects on cutting force F_y

The contour plot of the interaction effect of air flow rate and air pressure on the axial cutting force F_y when $NC = 0.6\%$ is fixed is shown in Figure 4. Based on the chart, $Q = 170-200$ l/min combined with $p = 5.2-6.0$ bar should be used to reduce the axial cutting force F_y . Moreover, $Q = 170-200$ l/min in combination with $p = 4.2-6.0$ bar will help to achieve the smaller surface roughness values (Figure 7).

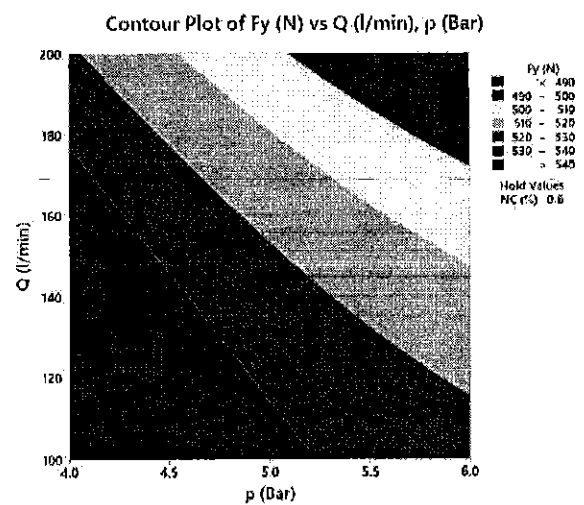


Figure4. The contour plot of the interaction influence of air flow rate and air pressure on cutting force F_y

Contour Plot of F_y (N) vs NC (%), p (Bar)

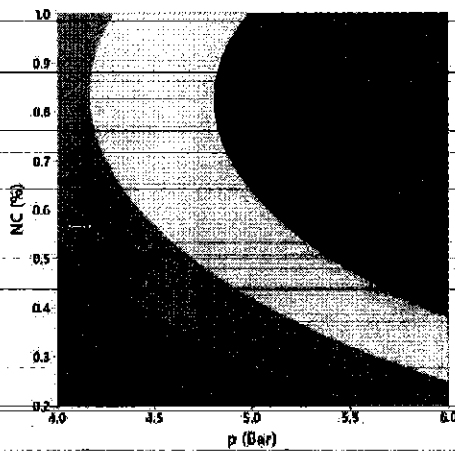


Figure 5. The contour plot of the interaction influence of nano concentration and air pressure on cutting force F_y

The contour plot of the interaction-effect of nanoparticle concentration and air pressure on the axial cutting force F_y when $Q = 150$ l/min is fixed is shown in Figure 5. Based on the obtained results, $NC = 0.4-1.0\%$ combined with $p = 4.8-6.0$ bar should be chosen to achieve the smaller cutting force F_y . Besides, $NC = 0.36-1.0\%$ and $p = 4.6-6.0$ bar contribute to achieve the smaller surface roughness values (Figure 8).

The contour plot of the interaction effect of nanoparticle concentration and air flow rate on the axial cutting force F_y when $p = 5$ bar is fixed is shown in Figure 6. $NC = 0.45-1.0\%$ and $Q = 170-200$ l/min will contribute to reduce the axial cutting force F_y , and $NC = 0.3-1.0\%$ combined with $Q = 190-200$ l/min should be selected to achieve the smaller surface roughness values (Figure 9).

Contour Plot of F_y (N) vs NC (%), Q (l/min)

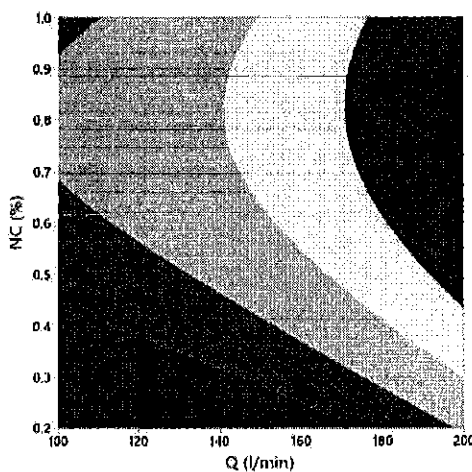


Figure 6. The contour plot of the interaction influence of nano concentration and air flow rate on cutting force F_y

Contour Plot of R_a (μm) vs Q (l/min), p (Bar)

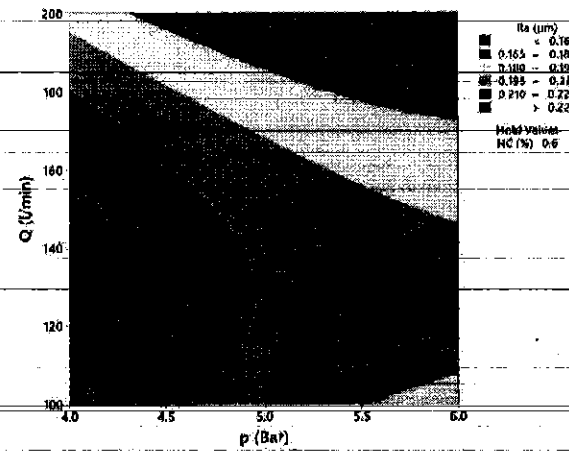


Figure 7. The contour plot of the interaction influence of air flow rate and air pressure on surface roughness R_a

Contour Plot of R_a (μm) vs NC (%), p (Bar)

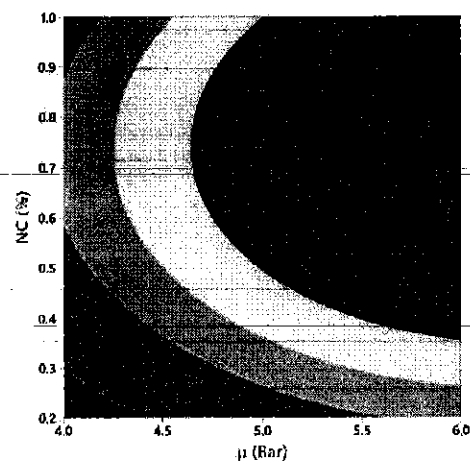


Figure 8. The contour plot of the interaction influence of nano concentration and air pressure on surface roughness R_a

Contour Plot of R_a (μm) vs NC (%), Q (l/min)

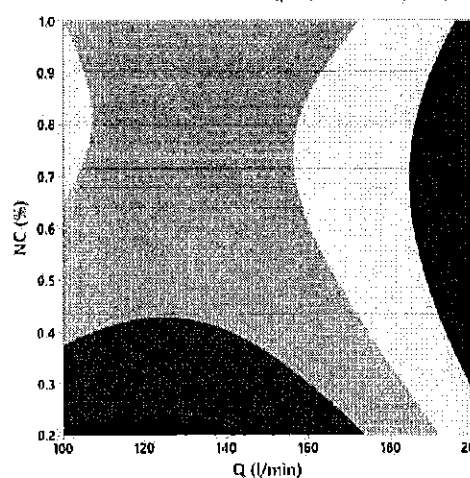


Figure 9. The contour plot of the interaction influence of nano concentration and air flow rate on surface roughness R_a

4. Conclusion

In this article, an experimental study was conducted to investigate the influence of the parameters of air pressure, air flow rate, and nanoparticle concentration on the drilling process of Hardox 500 steel with MQCL environment. Based on the obtained results, it can be seen that the survey variables have the great influences on the axial cutting force F_y and little influence on the surface roughness R_a . In addition, it was noticeable that the application of MQCL technology using Al_2O_3 nano cutting oil has improved the efficiency of the Hardox 500 drilling process, the machinability of carbide drills, and the machined surface quality, and the hole surface is quite good. Furthermore, the research results also provide technological guidelines for achieving small surface roughness values or smaller axial cutting force. Further research will focus on optimization to determine specific values for air pressure, air flow rate and nanoparticle concentration as well as the cutting condition.

Acknowledgments: The work presented in this paper is supported by Thai Nguyen University of Technology, Thai Nguyen University, Vietnam.

References

- [1] <https://www.ssab.com/en/brands-and-products/hardox/product-program/500>
- [2] J. Paulo Davim. Machining of Hard Materials. Springer-Verlag London Limited 2011.
- [3] Duc TM, Long TT, Van Thanh D. Evaluation of minimum quantity lubrication and minimum quantity cooling lubrication performance in hard drilling of Hardox 500 steel using Al_2O_3 nanofluid. *Advances in Mechanical Engineering*. 2020;12(2). doi:10.1177/1687814019888404
- [4] Zhang, K., Deng, J., Meng, R., Gao, P., & Yue, H.. Effect of nano-scale textures on cutting performance of WC/Co-based Ti55Al45N coated tools in dry cutting. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 2015, 51, 35-49. doi:10.1016/j.jirmhm.2015.02.011.
- [5] Kumar, C.S.; Patel, S.K. Effect of WEDM surface texturing on Al_2O_3 /TiCN composite ceramic tools in dry cutting of hardened steel. *Ceram. Int.* 2018, 44, 2510-2523. doi:10.1016/j.ceramint.2017.10.236.
- [6] Kang, M.C.; Kim, K.H.; Shin, S.H.; Jang, S.H.; Park, J.H.; Kim, C. Effect of the minimum quantity lubrication in high-speed end-milling of AISI D2 cold-worked die steel (62 HRC) by coated carbide tools. *Surf. Coat. Technol.* 2008, 202, 5621-5624.
- [7] O. Gutnichenko, V. Bushlya, Sverker Bihagen, Jan-Eric Ståhla (2018). Influence of graphite nano additives to vegetable-based oil on machining performance when MQCL assisted hard turning. *Procedia CIRP*, 77, 437-440. Doi: 10.1016/j.procir.2018.08.281.
- [8] Dong, P. Q., Duc, T. M., Long, T. T. (2019). Performance Evaluation of MQCL Hard Milling of SKD 11 Tool Steel Using MoS_2 Nanofluid. *Metals*, 9, p. 658. Doi: 10.3390/met9060658.
- [9] Duc, T.M.; Long, T.T.; Chien, T.Q. Performance Evaluation of MQL Parameters Using Al_2O_3 and MoS_2 Nanofluids in Hard Turning 90CrSi Steel. *Lubricants* 2019, 7, 40. <https://doi.org/10.3390/lubricants7050040>.

