

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

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**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Cơ khí

Mã số: 9 52 01 03

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

1. PGS.TS. Trần Minh Đức
2. TS. Nguyễn Trọng Hiếu

THÁI NGUYÊN – NĂM 2020

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan nội dung luận án là công trình nghiên cứu của riêng tôi dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Trần Minh Đức và TS. Nguyễn Trọng Hiếu. Những kết quả nghiên cứu được trình bày trong luận án (trừ những nội dung được trích dẫn) là hoàn toàn do bản thân tự nghiên cứu, không sao chép của bất kỳ ai hay nguồn nào.

Thái Nguyên, ngày 22 tháng 12 năm 2020

Tác giả luận án

Phạm Quang Đồng

LỜI CẢM ƠN

Luận án đã được hoàn thành dưới sự hướng dẫn của PGS.TS. Trần Minh Đức. Tôi xin cảm ơn Thầy!

Xin cảm ơn TS. Nguyễn Trọng Hiếu người đã hướng dẫn và giúp tôi hoàn thành luận án.

Cảm ơn tập thể Bộ môn Chế tạo máy Khoa Cơ khí, trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp đã tạo mọi điều kiện, thời gian cho tôi học tập nghiên cứu.

Cảm ơn các thầy cô giáo trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp đã luôn ủng hộ, động viên giúp đỡ tôi trong quá trình học tập và nghiên cứu.

Cảm ơn các nhà khoa học, giáo sư, phó giáo sư, tiến sỹ và thầy cô giáo trong ngành cơ khí đã trực tiếp cũng như gián tiếp giúp đỡ tôi hoàn thành luận án.

Cảm ơn gia đình bố, mẹ và anh chị em tôi đã đem hết tâm huyết giúp đỡ và động viên để tôi hoàn thành luận án.

Cảm ơn vợ tôi Đào Thị Tuyết Nhung, con gái Phạm Anh Thư, con gái Phạm Gia Linh, con trai Phạm Quang Dũng đã dành cho tôi tất cả tình yêu thương để tôi có động lực vượt lên mọi khó khăn.

Thái Nguyên, ngày 22 tháng 12 năm 2020

Tác giả luận án

Phạm Quang Đồng

III

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết	1
2. Mục tiêu, đối tượng nghiên cứu	2
3. Phương pháp nghiên cứu	2
4. Nội dung nghiên cứu	3
5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn của đề tài.....	3
6. Những đóng góp mới của đề tài	3
7. Cấu trúc nội dung luận án.....	4
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ MQCL VÀ ỨNG DỤNG TRONG GIA CÔNG VẬT LIỆU CỨNG.....	7
1.1. Bôi trơn tối thiểu.....	7
1.1.1. Khái niệm	7
1.1.2. Phân loại hệ thống MQL	7
1.1.3. Ưu điểm, nhược điểm và phạm vi ứng dụng.....	9
1.2. Bôi trơn tối thiểu phối hợp với làm lạnh tích cực	10
1.2.1. MQL phối hợp với dòng khí lạnh.....	10
1.2.2. Bôi trơn làm nguội tối thiểu	11
1.3. Gia công vật liệu cứng.....	12
1.3.1. Khái niệm	12
1.3.2. Bôi trơn làm nguội cho quá trình gia công vật liệu cứng	13
1.4. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu.....	14
1.4.1. Tổng quan về MQL	14
1.4.1.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài	14
1.4.1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước	22

1.4.2. Tổng quan về MQCL và ứng dụng cho phay vật liệu cứng	23
1.4.2.1. Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài	23
1.4.2.2. Tình hình nghiên cứu trong nước	29
1.5. Nhận xét chương 1.....	29
CHƯƠNG 2 ẢNH HƯỞNG CỦA MQCL ĐẾN QUÁ TRÌNH CẮT KHI GIA CÔNG VẬT LIỆU CỨNG	30
2.1. Gia công vật liệu cứng.....	30
2.1.1. Quá trình tạo phoi trong gia công vật liệu cứng.....	30
2.1.2. Nhiệt cắt trong quá trình phay vật liệu cứng.....	32
2.1.3. Lực cắt trong gia công vật liệu cứng	36
2.1.4. Mòn và tuổi bền của dụng cụ cắt trong phay cứng	37
2.1.5. Nhám bề mặt gia công.....	39
2.2. Ảnh hưởng của MQCL đến quá trình cắt khi phay vật liệu cứng.....	40
2.2.1. Đặt vấn đề.....	40
2.2.2. Ảnh hưởng của MQCL đến quá trình cắt khi phay cứng.....	41
2.2.2.1. Ảnh hưởng của loại dung dịch	41
2.2.2.2. Ảnh hưởng của vị trí phun và khoảng cách vòi phun.....	43
2.2.2.3. Ảnh hưởng của áp suất và lưu lượng dòng khí	44
2.2.2.4. Ảnh hưởng của hạt nano trong dung dịch	45
2.3. Nhận xét chương 2.....	45
CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MQCL ĐẾN QUÁ TRÌNH CẮT KHI PHAY CỨNG THÉP SKD11.....	49
3.1. Xây dựng hệ thống thí nghiệm	49
3.1.1. Đặt vấn đề.....	49
3.1.2. Xây dựng hệ thống thí nghiệm	49

3.1.2.1. Hệ thống MQCL.....	50
3.1.2.2. Máy công cụ, dụng cụ cắt và vật liệu gia công	50
3.1.2.3. Hệ thống đo lường.....	52
3.1.2.4. Trang thiết bị phụ trợ.....	52
3.1.3. Nghiên cứu, chế tạo đầu phun MQCL.....	54
3.1.3.1. Nghiên cứu, chế tạo thiết bị tạo dòng khí lạnh (đầu phun khí lạnh)	54
3.1.3.2. Nghiên cứu, chế tạo thiết bị đầu phun MQCL	56
3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp bôi trơn làm nguội, loại dung dịch và chế độ trơn nguội đến quá trình cắt khi phay cứng thép SKD11	58
3.2.1. Nội dung nghiên cứu	58
3.2.2. Phương pháp thiết kế quy hoạch thực nghiệm	58
3.2.3. Hệ thống thí nghiệm	59
3.2.4. Triển khai thí nghiệm và kết quả.....	60
3.2.5. Xử lý kết quả thí nghiệm 2^{5-2}_{III} với các thành phần lực cắt	61
3.2.5.1. Xử lý kết quả	61
3.2.5.2. Thảo luận kết quả	62
3.2.6. Xử lý kết quả thí nghiệm 2^{5-2}_{III} với nhám bề mặt R_a	65
3.2.6.1. Xử lý kết quả	65
3.2.6.2. Thảo luận kết quả	66
3.2.6.3. Nhận xét.....	68
3.3. Nghiên cứu xác định áp suất và lưu lượng dòng khí tối ưu khi phay cứng thép SKD11.	68
3.3.1. Nội dung nghiên cứu	68
3.3.2. Triển khai thí nghiệm và kết quả.....	69
3.3.3. Xử lý kết quả thí nghiệm quy hoạch tối ưu CCD.....	70

3.3.4. Thảo luận kết quả thí nghiệm quy hoạch tối ưu CCD.....	71
3.3.5. Tối ưu đa mục tiêu.....	72
3.4. Nghiên cứu xác định chế độ cắt và nồng độ hạt nano tối ưu khi phay cứng thép SKD11 sử dụng MQCL.....	76
3.4.1. Mục đích nghiên cứu	76
3.4.2. Mô hình thí nghiệm và hệ thống thí nghiệm	77
3.4.3. Quy hoạch thực nghiệm xác định ảnh hưởng của các yếu tố đến lực cắt và nhám bề mặt	77
3.4.4. Xử lý số liệu thí nghiệm với các thành phần lực cắt	79
3.4.5. Thảo luận kết quả với các thành phần lực cắt	80
3.4.5.1. Biểu đồ Pareto	80
3.4.5.2. Ảnh hưởng của nồng độ, vận tốc cắt, độ cứng đến lực cắt	82
3.4.5.3. Nhận xét.....	86
3.4.6. Xử lý số liệu thí nghiệm và thảo luận kết quả với nhám bề mặt Ra	88
3.4.6.1. Xử lý số liệu thí nghiệm	88
3.4.6.2. Thảo luận kết quả	90
3.4.6.3. Nhận xét chung.....	92
3.4.7. Tối ưu hóa đa mục tiêu	92
3.5. Nghiên cứu ảnh hưởng của MQCL sử dụng dung dịch nano MoS ₂ đến chất lượng bề mặt gia công, đến mòn và tuổi bền của dụng cụ cắt.....	94
3.5.1. Mục đích.....	94
3.5.2. Triển khai thí nghiệm	94
3.5.3. Kết quả thí nghiệm và xử lý kết quả chất lượng bề mặt gia công.....	95
3.5.3.1. Kết quả và xử lý kết quả.....	95
3.5.3.2. Thảo luận kết quả	97

VII

3.5.4. Kết quả, xử lý kết quả mòn và tuổi bền của dụng cụ	99
3.5.4.1. Kết quả và xử lý kết quả.....	99
3.5.4.2. Thảo luận kết quả	101
3.6. Nhận xét chương 3.....	102
KẾT LUẬN CHUNG	104
TÀI LIỆU THAM KHẢO	107
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN	113
PHỤ LỤC 1. Kết quả phân tích ANOVA quy hoạch 2^{k-p}	114
PHỤ LỤC 2. Kết quả phân tích ANOVA quy hoạch bề mặt chỉ tiêu CCD.....	117
PHỤ LỤC 3. Kết quả phân tích ANOVA quy hoạch Box – Behnken.....	120
PHỤ LỤC 4. Một số kết quả thí nghiệm kiểm chứng.....	123
PHỤ LỤC 5. Một số hình ảnh quá trình làm thí nghiệm	123
PHỤ LỤC 6. Bản vẽ lắp và bản vẽ chế tạo các chi tiết đầu làm lạnh.....	127

VIII

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 3.1. Thành phần hóa học thép SKD11 (Wt, %)	52
Bảng 3.2. Các thông số cơ bản của đầu phun khí lạnh.....	55
Bảng 3.3. Kết quả đo nhiệt độ đầu ra của đầu phun DTNUT	55
Bảng 3.4. Các biến và mức khảo sát trong nghiệm riêng phân 2^{k-p}	58
Bảng 3.5. Kết quả đo độ nhớt, độ dẫn nhiệt của dung dịch trơn nguội.....	60
Bảng 3.6. Sơ đồ quy hoạch và kết quả thí nghiệm 2_{III}^{5-2}	61
Bảng 3.7. Mô hình tóm tắt các thông số đánh giá các thành phần lực cắt	62
Bảng 3.8. Mô hình tóm tắt các thông số đánh giá R_a	66
Bảng 3.9. Các biến và mức khảo sát trong quy hoạch tối ưu CCD.....	68
Bảng 3.10. Sơ đồ quy hoạch và kết quả thí nghiệm tối ưu CCD	69
Bảng 3.11. Phương trình hồi quy các thông số đánh giá.....	70
Bảng 3.12. Trọng số và hệ số mức độ quan trọng khi tối ưu hóa đa mục tiêu.....	74
Bảng 3.13. Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu	74
Bảng 3.14. Dự đoán nhiều phản hồi	74
Bảng 3.15. Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu	75
Bảng 3.16. Các giá trị thông số đầu vào và biến thí nghiệm.....	77
Bảng 3.17. Kết quả đo nhám bề mặt R_a và các thành phần lực cắt	78
Bảng 3.18. Trọng số và hệ số mức độ quan trọng khi tối ưu hóa đa mục tiêu.....	93
Bảng 3.19. Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu	93
Bảng 3.20. Trị số nhám R_a đo trên máy SJ 210.....	95

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1. Đầu phun dung dịch dạng sương mù.....	8
Hình 1.2. Đầu phun dung dịch dạng tia dung dịch áp lực.....	8
Hình 1.3. Kiểu đưa dung dịch từ bên ngoài dụng cụ cắt.....	8
Hình 1.4. Kiểu đưa dung dịch từ bên trong dụng cụ cắt.....	8
Hình 1.5. Hệ thống MQL đưa dung dịch vào vùng cắt từ bên ngoài.....	9
Hình 1.6. Hệ thống MQL phối hợp với dòng khí nhiệt độ thấp độc lập.....	11
Hình 1.7. Sơ đồ nguyên lý đầu phun MQCL.....	12
Hình 1.8. Giá trị nhám R_a và R_z sau khi khoan 272 và 315 lỗ [50].....	15
Hình 1.9. Đo giá trị lực và mô men xoắn.....	15
Hình 1.10. Nhiệt độ phôi khi khoan với MQL sử dụng dầu cọ và ê te tổng hợp ở tốc độ cắt và lượng chạy dao khác nhau [16].....	16
Hình 1.11. Lực dọc trục khi khoan với MQL sử dụng dầu cọ và ê te tổng hợp ở tốc độ cắt khác nhau [16].....	17
Hình 1.12. Mô men xoắn khi khoan với MQL sử dụng dầu cọ và ê te tổng hợp ở tốc độ cắt khác nhau [16].....	17
Hình 1.13. Mòn mặt sau khi tiện khô, tưới tràn và MQL [32].....	18
Hình 1.14. Ảnh SEM chụp mòn dao tại thời gian cắt 45 phút khi tiện khô, tưới tràn và MQL [32].....	18
Hình 1.15. Mòn mặt sau khi tiện khô, tưới tràn và MQL [34].....	20
Hình 1.16. Nhám bề mặt khi tiện khô, tưới tràn và MQL [34].....	20
Hình 1.17. Đồ thị biểu thị mối quan hệ giữa mòn mặt sau và chiều dài cắt khi phay khô, tưới tràn và MQL [28].....	21
Hình 1.18. Đồ thị biểu thị mối quan hệ giữa chiều dài cắt và lượng chạy dao răng khi phay chế độ khô và MQL với $v=300$ m/phút [49].....	21