TRÍCH YẾU LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Họ và tên của nghiên cứu sinh: **Hoàng Anh Toàn**

Tên đề tài của luận án:

"Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến năng suất và chất lượng khi phay cứng bề mặt trụ ngoài sử dụng bôi trơn tối thiểu với hạt nano CuO".

Ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã ngành: 9520103

Họ và tên cán bộ hướng dẫn khoa học:

1. GS.TS. Vũ Ngọc Pi
2. PGS.TS. Hoàng Văn Gợt

Cơ sở đào tạo: Viện Nghiên cứu Cơ khí – Bộ Công Thương

TÓM TẮT NHỮNG KẾT LUẬN MỚI CỦA LUẬN ÁN

1. Đối tượng, mục tiêu nghiên cứu của đề tài

1.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

a. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là quá trình phay cứng bề mặt trụ ngoài thép 90CrSi trên máy phay CNC dưới điều kiện bôi trơn–làm mát nano-MQL sử dụng hạt nano CuO.

b. Phạm vi nghiên cứu:

- Vật liệu phôi: thép 90CrSi đã nhiệt luyện (vùng phay cứng).
- Dạng bề mặt: bề mặt trụ ngoài định hình.
- Công nghệ bôi trơn–làm mát: nano-MQL với hạt nano CuO.
- Các chỉ tiêu đánh giá: độ nhám bề mặt (Ra), năng suất bóc tách vật liệu (MRR, g/phút) và lực cắt tổng hợp (F).

1.2. Mục tiêu nghiên cứu

- Thiết lập cơ sở dữ liệu thực nghiệm phục vụ phân tích quá trình;

- Làm rõ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt, năng suất bóc tách vật liệu và lực cắt;

- Xây dựng các mô hình dự đoán bằng phương pháp tích hợp RSM – GPR – NSGA-II – AHP cho tối ưu hóa đa mục tiêu, đóng góp về mặt phương pháp luận trong lĩnh vực gia công cơ khí chính xác.

- Thực hiện tối ưu hóa đơn mục tiêu và đa mục tiêu nhằm xác định chế độ cắt tối ưu;

- Đề xuất chế độ gia công cân bằng, có khả năng ứng dụng trong thực tế sản xuất.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Phương pháp lý thuyết được áp dụng để xây dựng cơ sở khoa học cho nghiên cứu, bao gồm phân tích cơ chế phay cứng và mô hình hóa mối quan hệ giữa các thông số công nghệ và các đại lượng đầu ra. Mô hình RSM được sử dụng để dự đoán độ nhám bề mặt, năng suất bóc tách vật liệu và lực cắt. Trên cơ sở đó, các bài toán tối ưu đơn mục tiêu **và** tối ưu đa mục tiêu được giải quyết bằng thuật toán NSGA-II**,** kết hợp với phương pháp AHP và điểm Knee để lựa chọn chế độ gia công tối ưu tổng thể.

2.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:

Phương pháp thực nghiệm được triển khai nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu và kiểm chứng các mô hình lý thuyết. Các thí nghiệm phay cứng được tiến hành trên máy phay CNC với hệ thống nano-MQL sử dụng hạt CuO và dùng dao phay ngón hợp kim cứng phủ nano composite. Các đại lượng đầu ra gồm độ nhám bề mặt, năng suất bóc tách vật liệu và lực cắt tổng hợp được đo lường bằng các thiết bị chuyên dụng. Kết quả thực nghiệm được xử lý thống kê và sử dụng để xây dựng mô hình, cũng như thực hiện các thí nghiệm kiểm chứng cho các chế độ cắt tối ưu.

3. Nội dung nghiên cứu

- Thiết lập cơ sở dữ liệu thực nghiệm phục vụ phân tích quá trình;

- Làm rõ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến độ nhám bề mặt, năng suất bóc tách vật liệu và lực cắt;

- Xây dựng các mô hình dự đoán bằng phương pháp tích hợp RSM – GPR – NSGA-II – AHP cho tối ưu hóa đa mục tiêu, đóng góp về mặt phương pháp luận trong lĩnh vực gia công cơ khí chính xác.

- Thực hiện tối ưu hóa đơn mục tiêu và đa mục tiêu nhằm xác định chế độ cắt tối ưu;

- Đề xuất chế độ gia công cân bằng, có khả năng ứng dụng trong thực tế sản xuất.

4. Các kết quả đạt được của luận án

- Luận án đã xây dựng thành công hệ thống thực nghiệm phay cứng bề mặt trụ ngoài thép 90CrSi trên trung tâm phay CNC Mazak VCS 530C kết hợp với hệ thống nano-MQL sử dụng hạt CuO. Thiết kế thí nghiệm Box–Behnken có phân khối được áp dụng để khảo sát đồng thời ảnh hưởng của các thông số công nghệ gồm đường kính dao, tốc độ cắt, lượng chạy dao trên răng, chiều sâu cắt và kích thước hạt nano đến các chỉ tiêu đầu ra là độ nhám bề mặt (Ra), lực cắt tổng hợp (F) và năng suất bóc tách vật liệu (MRR). Bộ dữ liệu thực nghiệm thu được có độ tin cậy cao và đủ khả năng phản ánh quy luật của quá trình gia công.
- Ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến các chỉ tiêu đầu ra đã được làm rõ. Kết quả cho thấy lượng chạy dao trên răng và chiều sâu cắt là các yếu tố có ảnh hưởng mạnh đến MRR và lực cắt, trong khi độ nhám bề mặt chịu ảnh hưởng đáng kể bởi

lượng chạy dao và đường kính dao. Kích thước hạt nano CuO tuy không phải là yếu tố chi phối riêng lẻ nhưng có tác động thông qua các tương tác với điều kiện cắt và hình học dụng cụ.

- Các mô hình hồi quy bề mặt đáp ứng (RSM) bậc hai đã được xây dựng thành công cho ba đại lượng đầu ra gồm Ra, MRR và F. Các mô hình đều đạt ý nghĩa thống kê và có khả năng mô tả tốt mối quan hệ giữa các biến đầu vào và đầu ra trong miền khảo sát, đồng thời cho phép phân tích ảnh hưởng riêng lẻ cũng như ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố công nghệ.
- Đã xây dựng thành công các mô hình Gaussian Process Regression (GPR) để dự đoán năng suất bóc tách vật liệu (MRR), độ nhám bề mặt (Ra) và lực cắt tổng hợp (F). Kết quả đánh giá cho thấy các mô hình GPR có độ chính xác cao, với các giá trị dự đoán phù hợp tốt với dữ liệu thực nghiệm. Điều này khẳng định khả năng sử dụng GPR như mô hình thay thế hiệu quả cho quá trình tối ưu hóa đa mục tiêu trong gia công cơ khí.
- Bài toán tối ưu hóa đơn mục tiêu đã được giải quyết thành công đối với từng chỉ tiêu Ra, MRR và F. Kết quả cho thấy các nghiệm tối ưu thu được có sự khác biệt rõ rệt, phản ánh bản chất mâu thuẫn giữa chất lượng bề mặt, lực cắt và năng suất gia công.
- Đã thiết lập và giải thành công bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu đồng thời cực đại hóa MRR, cực tiểu hóa Ra và cực tiểu hóa F bằng thuật toán NSGA-II. Kết quả cho thấy thuật toán hội tụ ổn định, thể hiện qua sự gia tăng liên tục của chỉ số Hypervolume và sự ổn định của biên Pareto từ khoảng thế hệ thứ 80 trở đi. Tập nghiệm Pareto cuối cùng phản ánh rõ mối quan hệ đánh đổi giữa năng suất gia công, chất lượng bề mặt và lực cắt trong quá trình phay cứng dưới điều kiện nano-MQL.

Nhìn chung, luận án đã đề xuất thành công một quy trình tích hợp giữa thực nghiệm, mô hình hóa bằng GPR, tối ưu hóa đa mục tiêu bằng NSGA-II và ra quyết định đa tiêu chí bằng các phương pháp MCDM để giải quyết bài toán lựa chọn chế độ công nghệ trong phay cứng dưới điều kiện nano-MQL. Kết quả nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa khoa học trong lĩnh vực tối ưu hóa quá trình gia công mà còn có giá trị thực tiễn trong việc nâng cao năng suất, chất lượng bề mặt và hiệu quả sản xuất trong ngành cơ khí chế tạo.

Hà Nội, ngày 15 tháng 10 năm 2026

Ý kiến của tập thể người hướng dẫn khoa học **Nghiên cứu sinh**

GS.TS. Vũ Ngọc Pi **PGS.TS. Hoàng Văn Gợt** **Hoàng Anh Toàn**