

# TRÍCH YẾU LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Họ và tên của nghiên cứu sinh: **Mai Tất Lợi**

Tên đề tài của luận án:

**“Nghiên cứu gia công bề mặt trụ ngoài khi xung tia lửa điện có trợ giúp của rung động siêu âm sử dụng điện cực graphite”.**

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. Lê Thu Quý

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 đề tài là quá trình EDM có rung động khi gia công bề mặt trụ ngoài bằng điện cực graphite.

##### b. Phạm vi nghiên cứu:

Phạm vi nghiên cứu được giới hạn trên vật liệu 90CrSi đã qua tôi, đường kính  $\text{Ø}14\pm 0,01$  mm; Sử dụng điện cực graphite HK2 có đường kính  $\text{Ø}12\pm 0,01$  mm.

Nghiên cứu được thực hiện trong phòng thí nghiệm, hệ thống gia công xung điện có trợ giúp của rung động siêu âm được thiết kế, chế tạo và vận hành dựa trên các điều kiện, khả năng đáp ứng hiện có.

#### 1.2. Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chung của luận án là đánh giá hiệu quả cải thiện quá trình gia công xung điện bề mặt trụ ngoài thép 90CrSi theo hướng nâng cao năng suất và chất lượng bề mặt khi có trợ giúp của rung động siêu âm với điện cực graphite HK2.

Luận án tập trung: thiết kế, chế tạo hệ thống EDM có trợ giúp rung động siêu âm; đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ (Ip, Ton, Toff, UV) và rung động (20 kHz, A) đến MRR, Ra và HWR; xây dựng mô hình RSM, GPR mô tả quan hệ giữa các thông số công nghệ và các chỉ tiêu đầu ra; và xác định bộ thông số tối ưu nhằm nâng cao năng suất, cải thiện chất lượng bề mặt và giảm mòn điện cực.

### 2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.1. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

- Tiếp cận: Kế thừa và phát triển từ kết quả nghiên cứu đã có.

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về gia công xung điện và xung với trợ giúp rung động; lý thuyết quy hoạch thực nghiệm.

## **2.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:**

- Thực nghiệm, bao gồm các bước:
  - + Xây dựng hệ thống thực nghiệm và kế hoạch thực nghiệm Box - Behnken.
  - + Thiết kế và chế tạo đầu *Horn* siêu âm.
  - + Tiến hành thực nghiệm.
- Xử lý kết quả thực nghiệm, bao gồm các bước:
  - + Xây dựng hàm đa thức bậc 2 mô tả mối quan hệ giữa các thông số đầu vào của quá trình xung với trợ giúp rung động siêu âm và các kết quả đầu ra khi thực nghiệm.
  - + Phân tích, đánh giá kết quả thực nghiệm, xác định các thông số tối ưu của quá trình xung và của đầu rung.
  - + Tối ưu hoá đơn mục tiêu *Ra*, *MRR* và *HWR*.
  - + Tối ưu hoá đa mục tiêu nhằm *MRR* lớn nhất và *Ra* nhỏ nhất; *MRR* lớn nhất và *HWR* nhỏ nhất.

## **3. Nội dung nghiên cứu**

- Nghiên cứu tổng quan về gia công xung điện và gia công xung điện có sự trợ giúp của rung động.
- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết của quá trình xung điện và xung điện có trợ giúp của rung động.
- Nghiên cứu lựa chọn đầu rung cho quá trình xung điện.
- Thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số cơ bản của quá trình *EDM* có trợ giúp rung động siêu âm như cường độ dòng điện, điện áp phóng điện, thời gian phát xung, thời gian ngừng phát xung, thông số của đầu rung đến năng suất và chất lượng gia công và mòn điện cực khi xung tia lửa điện bề mặt trụ ngoài vật liệu 90CrSi sử dụng điện cực graphite.
- Tối ưu hóa các thông số quá trình xung có trợ giúp của rung động siêu âm để nâng cao hiệu quả quá trình gia công (tăng năng suất bóc tách, giảm mài mòn điện cực...).

## **4. Các kết quả đạt được của luận án**

Luận án đã thực hiện nghiên cứu có hệ thống về gia công bề mặt trụ ngoài thép 90CrSi bằng gia công xung điện có trợ giúp rung động siêu âm (*UV-EDM*) với điện cực graphite HK2. Trên cơ sở thiết kế thí nghiệm Box–Behnken cho 5 thông số công nghệ đầu vào (*A*, *T<sub>on</sub>*, *T<sub>off</sub>*, *I<sub>p</sub>*, *SV*) và 3 chỉ tiêu đầu ra (*MRR*, *Ra*, *HWR*), luận án đã xây dựng mô hình dự đoán, phân tích ảnh hưởng thông số và đề xuất các chế độ gia công tối ưu theo định hướng kỹ thuật và yêu cầu thực tế sản xuất. Các kết luận chính như sau:

### (1). Về hệ thống thực nghiệm và dữ liệu:

Luận án đã thiết kế và vận hành thành công hệ thống *UV-EDM* trên máy Sodick, tích hợp bộ rung siêu âm và horn truyền rung vào chi tiết, phù hợp với điều kiện sử dụng điện cực graphite (giòn, khó truyền rung). Dữ liệu thực nghiệm được thu thập có tính lặp và đủ bao phủ miền khảo sát, tạo nền tảng tin cậy cho mô hình hóa và tối ưu hóa.

### (2). Về mô hình hóa:

Luận án đã xây dựng các mô hình hồi quy và đặc biệt cải thiện độ chính xác dự đoán bằng mô hình Gaussian Process Regression (*GPR*) cho cả ba đại lượng *MRR*, *Ra*, *HWR*. Kết quả cho thấy *GPR* phù hợp tốt với tính phi tuyến và nhiễu của quá trình *UV-EDM*, đặc biệt khi dữ liệu đầu ra được xử lý bằng biến đổi Box-Cox nhằm cải thiện phân phối và ổn định phương sai. Nhờ đó, mô hình *GPR* có thể sử dụng như mô hình thay thế (surrogate) hiệu quả cho bài toán tối ưu.

### (3). Về tối ưu hóa đơn mục tiêu

Luận án đã giải ba bài toán tối ưu đơn mục tiêu dựa trên mô hình *GPR*, gồm (i) cực đại hóa *MRR*, (ii) cực tiểu hóa *Ra* và (iii) cực tiểu hóa *HWR*. Các nghiệm tối ưu đơn mục tiêu giúp xác định rõ biên năng lực công nghệ của hệ thống và làm nổi bật bản chất đánh đổi giữa năng suất – chất lượng bề mặt – mòn điện cực, đồng thời cung cấp nghiệm tham chiếu quan trọng cho tối ưu đa mục tiêu.

### (4). Về tối ưu hóa đa mục tiêu 3 tiêu chí (*MRR-Ra-HWR*)

Luận án đã giải trực tiếp bài toán tối ưu đa mục tiêu với đồng thời ba mục tiêu: tối đa hóa *MRR*, tối thiểu hóa *Ra* và tối thiểu hóa *HWR* bằng thuật toán *NSGA-II* (thông qua gamultiobj) kết hợp mô hình *GPR*, thu được tập nghiệm *Pareto* ba chiều. Kết quả phân tích *Pareto* và nghiệm *knee* cho thấy cấu trúc đánh đổi rõ rệt: tăng *MRR* thường kéo theo *Ra* và/hoặc *HWR* tăng, do đó cần chiến lược ra quyết định để chọn một nghiệm đại diện phục vụ triển khai.

### (5). Về lựa chọn phương án và định hướng doanh nghiệp

Từ tập nghiệm *Pareto*, luận án đã áp dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (*AHP*, *TOPSIS*, *EAMR*, *EDAS*; trọng số *Entropy* cho *TOPSIS/EAMR/EDAS*) và đồng thời đề xuất chiến lược lựa chọn theo yêu cầu sản xuất là “*MRR* lớn nhất trong tập nghiệm khả thi”. Với ràng buộc doanh nghiệp  $Ra \leq 4 \mu\text{m}$  và  $HWR \leq 0,6 \text{ mm/h}$ , chiến lược này cho phép chọn nghiệm có năng suất cao nhất trong phạm vi chấp nhận được về chất lượng và mòn điện cực. Kết quả so sánh cho thấy *AHP* có thể cho nghiệm *MRR* cao nhưng không nhất thiết là nghiệm khả thi; trong khi *TOPSIS/EAMR/EDAS* cho nghiệm ổn định và đồng thuận; còn phương án “*MRR* lớn nhất trong tập nghiệm khả thi” phản ánh trực tiếp ưu tiên sản xuất và được đề xuất làm chế độ tối ưu cuối cùng khi mục tiêu doanh nghiệp đặt nặng năng suất.

Tổng thể, luận án đã hình thành một quy trình đầy đủ và khả thi gồm: thực nghiệm, xử lý dữ liệu, mô hình *GPR*, tối ưu *NSGA-II*, ra quyết định trên tập nghiệm *Pareto* (bao gồm chiến lược theo ràng buộc doanh nghiệp), có thể tái sử dụng cho các bài toán *UV-EDM* và các quá trình gia công tiên tiến tương tự.

*Hà Nội, ngày 18 tháng 04 năm 2026*

**Ý kiến của tập thể người hướng dẫn khoa học**

**Nghiên cứu sinh**

**GS.TS. Vũ Ngọc Pi**

**PGS.TS. Lê Thu Quý**

**Mai Tất Lợi**