

GS.TSKH. BÀNH TIẾN LONG
PGS.TS. TRẦN ĐỨC QUÝ
PGS.TS. PHẠM VĂN BỔNG
PGS.TS. PHẠM VĂN ĐÔNG
PGS.TS. NGUYỄN HỮU PHẦN
PGS.TS. LÊ VĂN TẠO
TS. NGUYỄN VĂN ĐỨC
TS. LÊ QUANG DŨNG
TS. MẠC THỊ BÍCH



GIA CÔNG BẰNG TIA LỬA ĐIỆN

GIẢI PHÁP TÍCH HỢP CÔNG NGHỆ, NÂNG CAO HIỆU QUẢ GIA CÔNG
VÀ NHỮNG ỨNG DỤNG

Sách chuyên khảo



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

GS.TSKH Bành Tiến Long - PGS.TS Trần Đức Quý - PGS.TS Phạm Văn Bổng
PGS.TS Phạm Văn Đông - PGS.TS Nguyễn Hữu Phấn- PGS.TS Lê Văn Tạo
TS Nguyễn Văn Đức - TS Lê Quang Dũng - TS Mạc Thị Bích

Lời nói đầu

GIA CÔNG BẰNG TIA LỬA ĐIỆN

GIẢI PHÁP TÍCH HỢP CÔNG NGHỆ NÂNG CAO HIỆU QUẢ GIA CÔNG VÀ NHỮNG ỨNG DỤNG

SÁCH CHUYÊN KHOA



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Lời nói đầu

Hiện nay, trong xu thế phát triển mạnh mẽ của khoa học công nghệ trên một đơn vị thời gian để thực hiện cuộc Cách mạng công nghiệp 4.0, hướng đến số hóa trong mọi hoạt động của xã hội; nền sản xuất hiện đại, phát triển xanh và bền vững đã ra đời nhiều loại vật liệu mới với những ưu điểm nổi bật về độ bền, độ cứng, khả năng chịu mài mòn, chịu nhiệt... Tuy nhiên, đặc điểm khi gia công (tính công nghệ - machinability) các loại vật liệu này cũng đòi hỏi nhiều khác biệt về phương pháp gia công hoặc tích hợp giữa chúng. Để đáp ứng yêu cầu của quá trình gia công chế tạo sản phẩm cơ khí, có biên dạng phức tạp được làm bằng vật liệu mới, khoa học và công nghệ đã phát minh ra nhiều phương pháp gia công mới, trong đó có gia công bằng tia lửa điện (EDM - Electrical Discharge Machining). Đây là một phương pháp gia công có nhiều ưu điểm nổi trội mà các phương pháp khác khó hoặc không thực hiện được như có thể gia công được những vật liệu dẫn điện có độ cứng rất cao với các biên dạng phức tạp. Bởi vậy, phương pháp gia công bằng tia lửa điện được sử dụng phổ biến và đóng vai trò quan trọng trong lĩnh vực gia công khuôn mẫu, dụng cụ, y sinh, sản phẩm sử dụng trong công nghiệp công nghệ cao như chế tạo máy bay, tàu thủy, ô tô, máy kéo, hàng không vũ trụ... cho đến các sản phẩm dân dụng thông thường. Cho dù phương pháp gia công này cũng bộc lộ những nhược điểm như năng suất gia công thấp, để đạt được độ bóng cao như công nghệ mài thì còn phụ thuộc nhiều vào công nghệ siêu tinh, nhưng thực tiễn hiện nay, EDM cùng với gia công trên máy công cụ điều khiển số CNC đang chiếm ưu thế trong nền sản xuất công nghiệp.

Để góp phần nâng cao năng suất, chất lượng và hiệu quả của việc sử dụng phương pháp gia công này trong thực tiễn, nhóm tác giả biên soạn cuốn sách chuyên khảo *"Gia công bằng tia lửa điện - Giải pháp tích hợp công nghệ, nâng cao hiệu quả gia công và những ứng dụng"*. Trong cuốn sách này giới thiệu và trình bày các vấn đề khoa học như: Các hướng nghiên cứu ứng dụng của gia công tia lửa điện; kết quả nghiên cứu thực tiễn sản phẩm sau gia công tia lửa điện và đề xuất giải pháp khắc phục hạn chế; cơ sở lựa chọn và kết quả của các bài toán tối ưu đơn và đa mục tiêu trong gia công tia lửa điện; thực nghiệm đánh giá hiệu quả của các giải pháp công nghệ mới gồm tích hợp rung động tần số thấp vào quá trình gia công, sử

dung bột trộn vào dung dịch điện môi và sử dụng các điện cực có lớp phủ lớp vật liệu đặc biệt; nguyên lý và thực nghiệm kết quả sử dụng gia công tia lửa điện để cải thiện bề mặt vật liệu. Ngoài ra, sách cũng đưa ra các kỹ thuật phân tích, lựa chọn, sử dụng một hoặc kết hợp nhiều giải pháp thống kê và xử lý số liệu hiện đại.

Nội dung của quyển sách được chia làm 3 phần chính:

- Sử dụng các kỹ thuật tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả gia công và tính ứng dụng thực tiễn của phương pháp gia công tia lửa điện.
- Tích hợp một số kỹ thuật mới như trộn bột vào dung dịch điện môi, rung động tần số thấp gắn với phôi trong gia công tia lửa điện với 2 loại dung dịch điện môi không và có trộn bột, sử dụng điện cực phủ vật liệu.
- Sử dụng gia công tia lửa điện để cải thiện chất lượng bề mặt sản phẩm.

Các thiết bị, công cụ toán học và phần mềm xử lý sử dụng trong quá trình thực nghiệm nghiên cứu và đánh giá kết quả là hiện đại và có độ tin cậy cao.

Cuốn sách được bố cục trong 7 chương gồm:

CHƯƠNG 1: Phương pháp gia công tia lửa điện.

CHƯƠNG 2. Tối ưu hóa trong gia công.

CHƯƠNG 3. Giải pháp trộn bột vào dung dịch điện môi trong gia công.

CHƯƠNG 4. Rung động hỗ trợ trong gia công.

CHƯƠNG 5. Tích hợp các giải pháp trộn bột và rung động trong gia công.

CHƯƠNG 6. Gia công sử dụng điện cực dụng cụ phủ.

CHƯƠNG 7. Nâng cao chất lượng bề mặt gia công.

Tài liệu đã tổng hợp các nội dung kiến thức mới nhất trong và ngoài nước, đặc biệt là các công trình của các tác giả đã được công bố trên các tạp chí có uy tín trong nước và quốc tế; các kết quả nghiên cứu chuyên sâu của nhóm nghiên cứu; để biên tập thành các kiến thức cốt lõi nhất về gia công tia lửa điện giúp cho các nhà sản xuất, các chuyên gia công nghệ, người vận hành máy lựa chọn được phương án, chế độ gia công chế tạo hợp lý và hiệu quả. Cuốn sách sẽ là tài liệu tham khảo chuyên sâu bổ ích đối với giảng viên và người học chương trình đào tạo ngành kỹ thuật cơ khí, chế tạo máy công cụ của trình độ đại học, cao học và nghiên cứu sinh. Cuốn sách cũng thích hợp cho các nhà nghiên cứu công nghệ phát triển sản phẩm trong lĩnh vực cơ khí nói chung và cơ khí chế tạo máy nói riêng. Nội dung

cuốn sách chuyên khảo này có thể dẫn dắt nhiều nhà khoa học trẻ phát hiện ra nhiều chủ đề mới, sâu hơn, cao hơn, giá trị hơn về lĩnh vực gia công bằng tia lửa điện.

Do kiến thức về phương pháp gia công bằng tia lửa điện là rất rộng nên trong giới hạn của cuốn sách này chưa thể mô tả chi tiết và toàn diện được hết vấn đề nghiên cứu liên quan khác. Vì vậy nội dung của quyển sách không tránh khỏi các thiếu sót. Kính mong nhận được những ý kiến góp ý từ quý độc giả để sách được hoàn thiện hơn.

Các ý kiến góp ý xin gửi về Phòng Khoa học công nghệ - tầng 3 nhà A1 hoặc Bộ môn Công nghệ, Khoa Cơ khí – tầng 3 nhà A10, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội; hoặc Bộ môn Gia công vật liệu và Dụng cụ công nghiệp, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội.

Xin chân thành cảm ơn.

Các tác giả

Mục lục

CHƯƠNG 1: PHƯƠNG PHÁP GIA CÔNG TIA LỬA ĐIỆN	15
1.1. Khái quát gia công truyền thống và phi truyền thống	15
1.2. Lịch sử và phát triển EDM	17
1.3. Các phương pháp gia công tia lửa điện	17
1.3.1. Khoan bằng gia công tia lửa điện	17
1.3.2. Cưa bằng gia công tia lửa điện	18
1.3.3. Gia công xung định hình	18
1.3.4. Phay gia công gia công tia lửa điện	19
1.3.5. Gia công bằng cắt dây tia lửa điện	20
1.3.6. Gia công các bề mặt dạng cầu bằng gia công tia lửa điện	21
1.3.7. Gia công ceramic cách điện bằng tia lửa điện	21
1.3.8. Gia công micro bằng tia lửa điện	21
1.3.9. Gia công trong môi trường khô	22
1.3.10. Gia công có trộn bột trong dung dịch điện môi	22
1.3.11. Gia công bằng tia lửa điện có tích hợp rung động	23
1.4. Đặc điểm của EDM	23
1.4.1. Ưu điểm	23
1.4.2. Nhược điểm	23
1.4.3. Ứng dụng	24
1.5. Các chỉ tiêu chất lượng trong EDM	25
1.6. Bề mặt chi tiết sau gia công bằng EDM	28
1.6.1. Sự thay đổi của lớp bề mặt sau gia công	28
1.6.2. Sự hình thành lớp bề mặt sau gia công	28
1.6.3. Đặc trưng của bề mặt gia công	30
1.7. Các hướng nâng cao khả năng ứng dụng của EDM	31
1.7.1. Nghiên cứu thiết lập các thông số công nghệ tối ưu	31
1.7.2. Sử dụng các giải pháp công nghệ mới để nâng cao hiệu quả gia công	33
1.7.3. Mở rộng khả năng công nghệ trong EDM	36
1.8. Một số kết quả nghiên cứu về EDM tại Việt Nam	42
1.9. Khảo sát chất lượng bề mặt khuôn mẫu được gia công tại Việt Nam	45

1.9.1. Khảo sát chất lượng bề mặt khuôn dập nóng sau DSEDM	45
1.9.2. Khảo sát đặc tính bề mặt thép SKD61 sau DSEDM với điện cực titan ...	52
1.9.3. Hướng nghiên cứu	57
TÀI LIỆU THAM KHẢO	57
CHƯƠNG 2. TỐI ƯU HÓA TRONG GIA CÔNG.....	69
2.1. Nguyên lý làm việc của phương pháp gia công tia lửa điện	69
2.2. Các thông số công nghệ của phương pháp gia công tia lửa điện	71
2.2.1. Điện áp khe hở phóng tia lửa điện.....	71
2.2.2. Cường độ dòng điện cực đại	71
2.2.3. Thời gian phát xung và thời gian ngừng phát xung.....	72
2.2.4. Dạng sóng xung.....	74
2.2.5. Phân cực điện cực	74
2.2.6. Khe hở phóng điện.....	76
2.2.7. Dung dịch điện môi.....	76
2.2.8. Điện cực (dụng cụ)	77
2.3. Tối ưu đơn mục tiêu trong EDM với điện cực Cu bằng Phương pháp bề mặt đặc trưng	78
2.3.1. Phương pháp bề mặt đặc trưng.....	78
2.3.2. Tối ưu hóa năng suất gia công (MRR)	79
2.3.3. Tối ưu hóa nhám bề mặt.....	86
2.4. Tối ưu đơn mục tiêu trong xung định hình với điện cực đồng đỏ bằng phương pháp Taguchi	92
2.4.1. Phương pháp Taguchi	97
2.4.2. Tối ưu hóa đơn mục tiêu các chỉ tiêu chất lượng.....	94
2.5. Tối ưu hóa chiều dày lớp trắng trong DSEDM với điện cực WC	118
2.6. Tối ưu hóa đơn mục tiêu trong DSEDM với điện cực Al bằng phương pháp Taguchi.....	125
2.6.1. Thiết kế thực nghiệm.....	125
2.6.2. Tối ưu hóa đơn mục tiêu các chỉ tiêu chất lượng.....	126
2.7. Tối ưu đa mục tiêu trong xung định hình thép SKD11 với điện cực đồng đỏ..	132
2.7.1. Phương pháp PSI trong tối ưu đa mục tiêu năng suất gia công và nhám bề mặt	132
2.7.2. Tối ưu đa mục tiêu bằng phương pháp TGRA.....	139
2.7.3. Tối ưu đa mục tiêu bằng kết hợp Taguchi - AHP - Deng's Similarity ...	146

TÀI LIỆU THAM KHẢO	166
CHƯƠNG 3. GIẢI PHÁP TRỘN BỘT VÀO DUNG DỊCH ĐIỆN MÔI TRONG GIA CÔNG	168
3.1. Nguyên lý làm việc của xung định hình có bột trộn vào dung dịch điện môi ..	168
3.2. Ảnh hưởng của bột trộn vào dung dịch điện môi trong xung định hình	169
3.2.1. Bột trộn trộn vào dung dịch điện môi	169
3.2.2. Những thay đổi của quá trình EDM khi bột trộn vào dung dịch điện môi	171
3.3. Ảnh hưởng của bột Titan trộn trong dung dịch điện môi trong xung định hình (PM-DSEDM).....	174
3.3.1. Đặt vấn đề	174
3.3.2. Điều kiện thí nghiệm.....	175
3.3.3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nồng độ bột Ti trong PM-DSEDM.....	185
3.4. Ảnh hưởng của bột nhôm trộn vào dung dịch điện môi đến chất lượng bề mặt thép silic sau PM-DSEDM	186
3.4.1. Điều kiện thực nghiệm.....	186
3.4.2. Phân tích kết quả.....	187
3.5. Khảo sát chất lượng bề mặt và chi phí trong gia công hợp kim Titan bằng PM-DSEDM sử dụng bột μ -Al ₂ O ₃	192
3.5.1. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu.....	192
3.5.2. Phân tích kết quả.....	194
3.6. Tối ưu đơn mục tiêu bằng Taguchi	206
3.6.1. Thiết kế ma trận L ₂₇ với 3 sự tương tác giữa các cặp thông số và một biến lặp.....	206
3.6.2. Kết quả thí nghiệm	210
3.6.3. Tối ưu hóa năng suất bóc tách vật liệu	211
3.6.4. Tối ưu lượng mòn điện cực	218
3.6.5. Tối ưu nhám bề mặt (Ra)	225
3.6.6. Tối ưu độ cứng tế vi lớp bề mặt.....	232
3.7. Phân tích chất lượng lớp bề mặt sau PM-DSEDM.....	240
3.8. Tối ưu hóa đa mục tiêu trong PM-DSEDM sử dụng bột Titan.....	242
3.8.1. Tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phương pháp Taguchi-GRA	242
3.8.2. Đánh giá sự phù hợp của Topsis – Taguchi trong tối ưu hóa đa mục tiêu	257
3.8.3. Tối ưu hóa đồng thời MRR, Ra và HV bằng Taguchi – Topsis	264

3.8.4. Tối ưu hóa năng suất và nhám bề mặt gia công bằng PSI.....	279
3.8.5. Taguchi – AHP - DENG’S trong tối ưu hóa đa mục tiêu.....	286
TÀI LIỆU THAM KHẢO	307
CHƯƠNG 4. RUNG ĐỘNG HỖ TRỢ TRONG GIA CÔNG	311
4.1. Gia công xung định hình có sự hỗ trợ rung.....	311
4.1.1. Nguyên lý làm việc của xung định hình có sự hỗ trợ rung.....	311
4.1.2. Ảnh hưởng của rung động gán vào quá trình xung định hình	312
4.1.3. Hướng nghiên cứu trong xung định hình có hỗ trợ rung động	316
4.1.4. Khảo sát ảnh hưởng tần số rung động F gán với phôi trong xung định hình	317
4.1.5. Tối ưu hóa đơn mục tiêu bằng Taguchi.....	321
4.1.6. Tối ưu hóa đa mục tiêu trong xung định hình với rung gán vào phôi	329
4.2. Giải pháp gán rung động trong gia công cắt dây.....	361
4.2.1. Phương pháp tích hợp rung trong WEDM.....	361
4.2.2. Nghiên cứu tích hợp rung trong WEDM.....	362
4.2.3. Khảo sát ảnh hưởng của tần số rung động trong WEDM.....	368
4.2.4. Tối ưu hóa đơn mục tiêu trong WEDM với rung động gán với phôi	375
4.2.5. Bài toán đa mục tiêu trong V-WEDM bằng phương pháp PSI.....	381
4.2.6. Bài toán đa mục tiêu trong V-WEDM bằng phương pháp Taguchi-DEAR (T-DEAR)	383
4.2.7. Chất lượng bề mặt gia công.....	386
TÀI LIỆU THAM KHẢO	389
CHƯƠNG 5. TÍCH HỢP CÁC GIẢI PHÁP TRỘN BỘT VÀ RUNG ĐỘNG TRONG GIA CÔNG.....	392
5.1. Khảo sát trong PM-DSEDM với rung động gán vào phôi	392
5.1.1. Điều kiện thực nghiệm.....	392
5.1.2. Ảnh hưởng của nồng độ bột.....	393
5.1.3. Ảnh hưởng của áp suất dòng phun dung môi	432
5.1.4. Ảnh hưởng của tần số (F) và biên độ (A) đến các chỉ tiêu chất lượng.....	395
5.2. So sánh hiệu quả của rung động trong DSEDM và PM-DSEDM.....	405
5.2.1. Năng suất gia công (MRR)	405
5.2.2. Nhám bề mặt gia công (Ra)	406

5.3. Tối ưu hóa các chỉ tiêu chất lượng trong PM-DSEDM với rung động gắn vào phôi bằng Taguchi.....	407
5.3.1. Xây dựng bộ thông số đầu vào	407
5.3.2. Xây dựng ma trận thực nghiệm	408
5.3.3. Tối ưu năng suất gia công	409
5.3.4. Tỷ lệ mòn điện cực (EWR).....	412
5.3.5. Nhám bề mặt gia công	415
5.3.6. Độ cứng bề mặt gia công	418
5.3.7. Lớp trắng của bề mặt gia công (WLT).....	421
5.4. Bài toán đa mục tiêu bằng Taguchi - Topsis	422
5.4.1. Kết quả tính toán bằng Topsis-Taguchi.....	422
5.4.2. Kết quả tối ưu dựa vào hệ số S/N	428
5.4.3. Chất lượng bề mặt tại điều kiện tối ưu	429
TÀI LIỆU THAM KHẢO	435
CHƯƠNG 6. GIA CÔNG SỬ DỤNG ĐIỆN CỰC DỤNG CỤ PHỦ	436
6.1. Nghiên cứu tối ưu đơn mục tiêu trong DSEDM sử dụng điện cực phủ AlCrNi để gia công hợp kim Ti-6Al-4V bằng Taguchi	436
6.1.1. Thiết kế thực nghiệm.....	436
6.1.2. Phân tích kết quả.....	437
6.2. Phân tích so sánh các chỉ tiêu chất lượng trong DSEDM của điện cực Al và điện cực Al phủ Cu	448
6.2.1. Thiết kế thực nghiệm.....	448
6.2.2. Phân tích kết quả.....	449
6.3. Tối ưu hóa đa mục tiêu sử dụng điện cực phủ AlCrNi bằng TGRA	453
6.4. Tối ưu hóa đa mục tiêu trong DSEDM với điện cực Al phủ AlCrNi bằng Taguchi - PSI.....	457
6.5. Tối ưu hóa đa mục tiêu với điện cực phủ Ag bằng Taguchi -TOPSIS	461
6.6. Tối ưu hóa đa mục tiêu trong DSEDM với điện cực phủ Ni để gia công Ti-6Al-4V	466
6.6.1. Điều kiện thực nghiệm.....	466
6.6.2. Ứng dụng Taguchi - PSI để quyết định đồng thời MRR và TWR.....	468
6.6.3. Ứng dụng Taguchi - TOPSIS để quyết định đồng thời MRR và R_a	471
TÀI LIỆU THAM KHẢO	477

CHƯƠNG 7. NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT GIA CÔNG.....	479
7.1. Gia công và công nghệ cải thiện bề mặt bằng tia lửa điện.....	479
7.2. Sự khác nhau giữa các phương pháp phủ.....	481
7.2.1. Lớp phủ bằng lazer.....	481
7.2.2. Phủ lắng đọng bay hơi vật lý (PVD)	481
7.2.3. Phủ bay hơi hóa học (CVD).....	482
7.2.4. Mạ điện.....	482
7.2.5. Phủ bằng tia lửa điện (EDC).....	482
7.2.6. So sánh EDC với các phương pháp phủ bề mặt khác.....	482
7.3. Ứng dụng của EDC	484
7.4. Cơ chế và phương pháp sửa đổi bề mặt bằng EDM (EDC)	485
7.4.1. Sửa đổi bề mặt bằng điện cực dụng cụ tiêu kết hoặc ép kết dính kim loại bột.....	485
7.4.2. Sửa đổi bề mặt bằng phương pháp trộn bột dẫn điện trong dung dịch điện môi.....	486
7.5. So sánh thuộc tính lớp đúc lại của DSEDM sử dụng điện cực titan và PM-DSEDM sử dụng bột μ -titan.....	487
7.5.1. Các vết lõm trên bề mặt gia công	487
7.5.2. Hạt bám dính trên bề mặt gia công.....	489
7.5.3. Vết nứt tế vi trên bề mặt gia công.....	491
7.5.3. Chiều dày lớp đúc lại (RLT).....	493
7.5.4. Sự thay đổi của HV.....	494
7.5.5. Nhám bề mặt gia công (R_a)	497
7.6. Nghiên cứu lớp đúc lại được gia công bằng DSEDM với bột WC.....	498
7.6.1. Sự xâm nhập của nguyên tố vonfram vào bề mặt SKD61	498
7.6.2. Độ cứng tế vi (HV) bề mặt.....	508
7.6.3. Hình thái tế vi bề mặt	522
7.6.4. Chiều dày lớp đúc lại (RLT).....	528
7.6.5. Độ nhám bề mặt (R_a)	531
TÀI LIỆU THAM KHẢO	541



GIA CÔNG BẰNG TIA LỬA ĐIỆN

GIẢI PHÁP TÍCH HỢP CÔNG NGHỆ, NÂNG CAO HIỆU QUẢ GIA CÔNG
VÀ NHỮNG ỨNG DỤNG

Sách chuyên khảo

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
TRUNG TÂM NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN



Mã sách: 021510335

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
Địa chỉ: Số 70 Trần Hưng Đạo - Hoàn Kiếm - Hà Nội
Điện thoại: (024) 39421132 - Hotline: 0898 275 999
Website: <http://nxbkhkt.com.vn>

223078H00
ISBN: 978-604-67-2626-5



9 786046 726265

GIÁ: 215.000 Đ