

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA CƠ - ĐIỆN

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA

*National Conference on Mechanical, Electrical, Automation Engineering
(MEAE2025)*



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

KHOA CƠ - ĐIỆN

HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC VỀ
CƠ KHÍ - ĐIỆN - TỰ ĐỘNG HÓA

*National Conference on Mechanical, Electrical, Automation
Engineering*

(MEAE2025)

VỚI CHỦ ĐỀ :

“CÔNG NGHỆ VÀ NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO”

BAN TỔ CHỨC

1. GS.TS Trần Thanh Hải, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Trưởng ban
2. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
3. PGS.TS Khổng Cao Phong, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
4. PGS.TS Triệu Hùng Trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
5. PGS.TS Nguyễn Ngọc Khánh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
6. TS Ngô Thanh Tuấn, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
7. PGS.TS Nguyễn Văn Xô, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
8. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
9. PGS.TS Nguyễn Đức Khoát, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
10. PGS.TS Đỗ Như Ý, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
11. TS Nguyễn Thạc Khánh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
12. TS Phạm Thị Thủy, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
13. ThS Hà Văn Thủy, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
14. PGS.TS Trịnh Trọng Chương, Trường ĐH Công nghiệp Hà Nội	Ủy viên
15. TS Lê Anh Tuấn, Trường ĐH Công nghiệp Hà Nội	Ủy viên
16. PGS.TS Đỗ Anh Tuấn, Công ty CP Kỹ thuật Công nghiệp Á Châu	Ủy viên
17. GS.TS Đinh Văn Chiến, Hội khoa học và công nghệ mỏ Việt Nam	Ủy viên
18. TS Tạ Ngọc Hải, Hội khoa học và công nghệ mỏ Việt Nam	Ủy viên
19. PGS.TS Bùi Minh Định, Đại học Bách Khoa Hà Nội	Ủy viên
20. TS Trịnh Minh Hoàng, Đại học Bách Khoa Hà Nội	Ủy viên
21. PGS.TS Lê Thu Quý, Viện Nghiên cứu Cơ khí	Ủy viên
22. TS Nguyễn Lâm Khánh, Trường ĐH Giao thông vận tải	Ủy viên
23. TS Bùi Thanh Danh, Trường ĐH Giao thông vận tải	Ủy viên
24. TS Đỗ Trung Hiếu, Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - TKV	Ủy viên
25. Ông Đoàn Việt Tuấn, Công ty than Mạo Khê – TKV	Ủy viên

BAN KHOA HỌC

1. GS.TS Trần Thanh Hải, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Trưởng ban
2. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
3. PGS.TS Khổng Cao Phong, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Phó Trưởng ban
4. TS Ngô Thanh Tuấn, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
5. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
6. PGS.TS Nguyễn Đức Khoát, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
7. PGS.TS Nguyễn Văn Xô, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
8. PGS.TS Đỗ Như Ý, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên
9. TS Nguyễn Thạc Khánh, Trường Đại học Mỏ - Địa chất	Ủy viên

- | | |
|--|---------|
| 10. TS. Phạm Thị Thủy, Trường Đại học Mỏ - Địa chất | Ủy viên |
| 11. PGS.TS Trịnh Trọng Chương, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội | Ủy viên |
| 12. TS Nguyễn Lâm Khánh, Trường ĐH Giao thông vận tải | Ủy viên |
| 13. PGS.TS Đỗ Anh Tuấn, Công ty CP Kỹ thuật Công nghiệp Á Châu | Ủy viên |
| 14. GS.TS Đinh Văn Chiến, Hội khoa học và công nghệ mỏ Việt Nam | Ủy viên |

BAN BIÊN TẬP

- | | |
|-----------------------------|----------------|
| 1. PGS.TS Khổng Cao Phong | Trưởng ban |
| 2. TS Ngô Thanh Tuấn | Phó trưởng ban |
| 3. PGS.TS Nguyễn Viết Nghĩa | UV |
| 4. TS Nguyễn Thạc Khánh | Ủy viên |
| 5. PGS.TS Đặng Văn Chí | Ủy viên |
| 6. TS Phạm Thị Thủy | Ủy viên |
| 7. PGS.TS Đỗ Như Ý | Ủy viên |
| 8. PGS.TS Nguyễn Văn Xô | Ủy viên |
| 9. CV Trịnh Trọng An | Ủy viên |

BAN THƯ KÝ

- | | |
|---------------------------|----------------|
| 1. TS Ngô Thanh Tuấn | Trưởng ban |
| 2. TS Hồ Việt Bun | Phó Trưởng ban |
| 3. TS Phạm Thị Thanh Loan | Ủy viên |
| 4. ThS Nguyễn Tiến Sĩ | Ủy viên |
| 5. ThS Nguyễn Thanh Tùng | Ủy viên |
| 6. ThS Trần Việt Linh | Ủy viên |

BAN LỄ TÂN

- | | |
|-------------------------|----------------|
| 1. TS Đoàn Công Luận | Trưởng ban |
| 2. TS Đỗ Đức Thành | Phó Trưởng ban |
| 3. ThS Ưông Quang Tuyến | Ủy viên |
| 4. CV Đào Thị Hiền | Ủy viên |
| 5. CV Nguyễn Thị Liên | Ủy viên |
| 6. ThS Đào Thị Thủy | Ủy viên |
| 7. KS Lê Thị Hồng Thắng | Ủy viên |

LỜI NÓI ĐẦU

Trong bối cảnh khoa học – công nghệ phát triển nhanh chóng và đóng vai trò trung tâm trong quá trình chuyển đổi công nghiệp, các lĩnh vực Cơ khí, Điện, Tự động hóa và Năng lượng tái tạo đang ngày càng khẳng định tầm quan trọng đối với sự phát triển bền vững của quốc gia. Những yêu cầu mới về tối ưu hóa năng lượng, tự động hóa hệ thống, ứng dụng trí tuệ nhân tạo và khai thác các nguồn năng lượng sạch đặt ra nhiệm vụ cấp thiết cho cộng đồng nghiên cứu trong nước phải không ngừng đổi mới tư duy và phương pháp tiếp cận.

Nhằm thúc đẩy trao đổi học thuật, công bố kết quả nghiên cứu và tăng cường liên kết giữa cơ sở đào tạo – viện nghiên cứu – doanh nghiệp, Trường Đại học Mở – Địa chất phối hợp với các đơn vị tổ chức Hội nghị khoa học toàn quốc về Cơ khí, Điện và Tự động hóa năm 2025 (MEAE2025) với chủ đề “Công nghệ và năng lượng tái tạo”. Hội nghị là diễn đàn khoa học uy tín, nơi tập hợp các công trình nghiên cứu mới, các giải pháp công nghệ tiên tiến và các hướng tiếp cận hiện đại trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng và phát triển xanh.

Ban Tổ chức tin rằng Tuyển tập công trình khoa học MEAE2025 sẽ là nguồn tư liệu có giá trị, phản ánh nỗ lực nghiên cứu nghiêm túc, mang tính học thuật và ứng dụng cao của đội ngũ các nhà khoa học Việt Nam. Các kết quả được công bố tại Hội nghị không chỉ đóng góp cho tri thức chung, mà còn gợi mở nhiều định hướng quan trọng phục vụ đào tạo, nghiên cứu và chuyển giao công nghệ.

Thay mặt Ban Tổ chức, chúng tôi xin trân trọng cảm ơn Đảng ủy, Hội đồng Trường, Ban Giám hiệu Trường Đại học Mở – Địa chất; các cơ quan, đơn vị phối hợp; các tác giả, nhà khoa học, nhà phản biện và doanh nghiệp đã đồng hành, hỗ trợ và đóng góp thiết thực cho sự thành công của Hội nghị.

Trân trọng.

TM. BAN TỔ CHỨC



PGS.TS Khổng Cao Phong

MỤC LỤC

1. Năng lượng tái tạo - Thực trạng và định hướng tương lai.....	1
2. Ứng dụng phương pháp số mô phỏng cogging torque của LSPMSM có xét đến ảnh hưởng của rãnh nghiêng Stato	5
3. Tối ưu hóa tham số bộ điều khiển lực khoan trên máy CNC bằng thuật toán di truyền.....	10
4. Tối ưu hóa tham số bộ điều khiển vị trí trên máy CNC bằng thuật toán di truyền	15
5. Giải pháp xử lý tự động quan trắc độ nghiêng lệch trụ điện gió trên bờ bằng máy toàn đạc không gương	20
6. Ảnh hưởng tổng trở sóng của cột tới quá điện áp sét trên đường dây truyền tải 220 kV ...	27
7. Tối ưu hoá tham số thiết kế trong Ansys Mechanical	35
8. Lắp đặt chống sét van kết hợp với cải thiện hệ thống nối đất nâng cao hiệu quả chống sét cho đường dây trung áp trên không tại Việt Nam	39
9. Tối ưu hóa thông số bộ lọc sóng hài của bộ biến đổi nguồn năng lượng mặt trời công suất nhỏ kết nối với lưới điện hạ áp.....	46
10. Phân tích ứng suất, biến dạng của lõi rèn trong quá trình rèn biên dạng rãnh xoắn.....	52
11. Mạng nơ-ron tích hợp vật lý: tổng quan và ứng dụng trong công nghiệp năng lượng, quốc phòng và hàng không vũ trụ	55
12. Thiết kế bộ điều khiển lqr cho động cơ dc ứng dụng thuật toán tối ưu FA.....	61
13. Nghiên cứu ảnh hưởng của chiều dày lớp đệm và lớp hấp thụ của pin mặt trời màng mỏng $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$	68
14. Phát hiện vật thể lạ trên băng tải bằng mô hình học máy	74
15. Nghiên cứu ảnh hưởng độ nghiêng của tấm pin 2 mặt kính đến hiệu suất hệ thống điện mặt trời.....	81
16. Develop a LSTM model to forecast runoff flow in time series.....	85
17. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng cắt giảm công suất phát đến lcoe của dự án điện gió.....	91
18. Xây dựng phần mềm xây dựng kế hoạch phát điện bằng thuật toán quy hoạch động	97
19. Điều khiển tự động và nhận diện sản phẩm lỗi cho hệ thống chiết rót.....	104

20. Điều khiển Hybrid kết hợp Fuzzy Logic và PID ổn định mức nước bao hơi - công ty cổ phần nhiệt điện Quảng Ninh	111
21. Thiết kế xây dựng mô hình máy xét nghiệm sinh hóa ứng dụng quang phổ kế.....	119
22. Xây dựng hệ thống thu thập và phân tích dữ liệu động học của con lắc vật lý trong thời gian thực phục vụ giáo dục STEM	127
23. Đề xuất một dòng bộ biến đổi DC-DC mới cho các ứng dụng năng lượng tái tạo	131
24. Khử từ do nhiệt trong động cơ điện IPM: tổng quan nghiên cứu và mô phỏng điện – nhiệt	137
25. Thiết kế, chế tạo mạch đo và giám sát tự động điện trở cách điện mạng điện hỗn hợp mô hình hầm lò	142
26. Công nghệ nén H264 và H265 trong hệ thống thông tin vô tuyến	147
27. Điều khiển phân bổ công suất trong microgrid lai ghép DC/AC có tích hợp BESS	151
28. Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ xử lý từ nhiệt lên tích năng lượng từ cực đại $(BH)_{\max}$ của hợp kim từ cứng ALNICUC035TI5NB	161
29. Đánh giá độ chính xác hình học gia công bánh răng trụ răng thẳng bằng phương pháp cắt dây tia lửa điện EDM.....	170
30. Nghiên cứu lựa chọn thông số in và một số giải pháp nâng cao chất lượng sản phẩm trong máy in 3D FDM khổ rộng	175
31. Nghiên cứu các nguyên nhân gây ra rung động trong bơm ly tâm vận tải tro xỉ của nhà máy nhiệt điện và biện pháp khắc phục	180
32. Một số giải pháp cân bằng năng lượng cho tua bin gió có tốc độ gió phù hợp với tốc độ gió thấp tại Việt Nam.....	184
33. Nghiên cứu lực ma sát trong xy lanh khí nén không có cần piston	189
34. Đánh giá mức độ ảnh hưởng của tải trọng động đến khả năng làm việc của chi tiết máy dạng trục và xác định tần số dao động riêng của các chi tiết này.....	192
35. Phương pháp xác định vận tốc dòng khí sau quạt hướng trục.....	196
36. Tính toán, mô phỏng dòng chảy trong phần dẫn dòng máy bơm ly tâm cột nước thấp chạy bằng sức gió, phục vụ bơm nước biển cho sản xuất muối.....	202

37. Thiết kế điều khiển chuyển động đa hướng cho robot tứ sử dụng bánh mecanum trong hệ robot song phương.....	208
38. Nghiên cứu thiết kế bộ bộ theo dõi sức khỏe dựa trên iot và kết hợp dự báo béo phì sử dụng mô hình ANN.....	217
39. Quản lý bãi đỗ xe thông minh ứng dụng trí tuệ nhân tạo	226
40. Tính toán thiết kế giàn chống vượt trước tại khu vực lò chợ cơ giới hóa trong mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh.....	233
41. Cơ sở lý thuyết và quy trình tính toán thiết kế rổ của máy tách nước ly tâm phục vụ cho dây chuyền sàng tuyển than.....	239
42. Ứng dụng bộ lọc Kalman Filter để nâng cao độ chính xác trong giám sát vật thể trên băng tải công nghiệp bằng thị giác máy tính.....	244
43. Lựa chọn thông số chế độ cắt hợp lý khi gia công rotor bơm roots bằng phương pháp cắt dây EDM.....	250
44. Ảnh hưởng của độ cứng đến ổn định hệ truyền động Servo thủy cơ trong hệ thống lái trợ lực thủy lực.....	257

LỰA CHỌN THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CẮT HỢP LÝ KHI GIA CÔNG ROTOR BƠM ROOTS BẰNG PHƯƠNG PHÁP CẮT DÂY EDM

Nguyễn Thanh Tùng^{1,*}, Phạm Đức Thiên¹

¹ Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm mục đích đưa ra một thiết kế mới cho rotor bơm kiểu roots dựa trên kết hợp ba đường cong là đường tròn, đường thân khai và đường tròn gọi là rotor kiểu roots dạng CIC. Dữ liệu điểm của quá trình thiết kế được sử dụng để gia công rotor trên máy cắt dây. Độ chính xác biên dạng của rotor CIC khi gia công bằng máy cắt dây được đo bằng máy CMM và được đánh giá thông qua các so sánh về sự trùng khớp giữa biên dạng rotor tính theo lý thuyết và biên dạng rotor theo dữ liệu đo. Kết quả so sánh dữ liệu điểm giữa biên dạng rotor CIC theo lý thuyết và biên dạng rotor theo kết quả đo đã chỉ ra rằng sai số giữa chúng rất nhỏ, lớn nhất cũng chỉ là $7,2 \mu\text{m}$, kết quả này cho thấy sử dụng máy cắt dây để gia công rotor CIC là một phương án khả thi và cho độ chính xác biên dạng cao.

1. Mở đầu

Bơm chân không kiểu roots (hình 1) dùng để vận chuyển dòng chất khí và chất lỏng trong các thiết bị công nghiệp. Nó được sử dụng trong nhiều ngành kỹ thuật như: Cơ khí, xây dựng và y tế....Bộ phận quan trọng nhất tạo ra ưu điểm về đặc tính kỹ thuật và khả năng làm việc của bơm là rotor bơm vì bộ phận này ảnh hưởng trực tiếp đến lưu lượng, cột áp, tốc độ dòng chảy và đặc tính rung động của bơm. Một số cách hình thành biên dạng rotor bơm kiểu roots đã được một số tác giả đề xuất như hình thành biên dạng rotor từ họ đường cong đơn dạng Cycloid, dạng cung tròn hoặc dạng thân khai [1-3]. Một số nghiên cứu hình thành biên dạng rotor bằng cách tổ hợp nhiều đường cong lại với nhau [4-7]. Do đặc tính phức tạp của rotor nên hướng nghiên cứu về công nghệ tạo hình cho rotor bơm kiểu roots cũng được các nhà nghiên cứu quan tâm [8-11]. Có hai phương pháp chính để gia công rotor dạng roots là phương pháp gia công bằng dao phay định hình [12] và gia công bằng máy cắt dây [13]. Trong đó phương pháp gia công bằng máy cắt dây có ưu điểm là dễ sử dụng, chi phí thấp và phù hợp với các biên dạng không xoắn. Một trong những chỉ tiêu quan trọng khi gia công rotor là đánh giá độ chính xác biên dạng

của nó, bởi vì độ chính xác biên dạng của rotor ảnh hưởng lớn đến đặc tính tiếp xúc và khả năng làm việc của bơm.



Hình 1. Bơm Roots

Nghiên cứu này tập trung vào việc đề xuất một sự hình thành biên dạng rotor bơm kiểu roots dựa trên sự kết hợp của ba đường cong là đường cung tròn, đường thân khai và đường cung tròn (CIC). Dựa trên biên dạng đề xuất, dữ liệu điểm được sử dụng cho việc gia công rotor bằng máy cắt dây. Sự phù hợp giữa biên dạng thiết kế lý thuyết và thực nghiệm của rotor CIC được đánh giá bằng cách so sánh dữ liệu điểm của chúng theo thiết kế và theo kết quả đo thực nghiệm trên máy CMM.

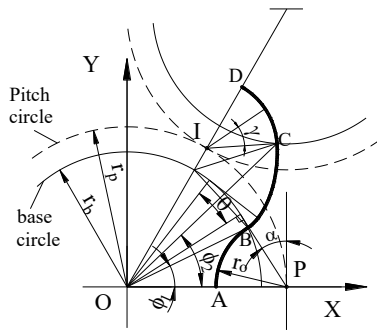
2. Thiết kế biên dạng rotor kiểu roots dạng cic

Rotor bơm biên dạng cung tròn đảm bảo khe hở giữa đỉnh rotor và thành trong vỏ bơm đều và nhỏ. Nhưng diện tích buồng chứa nhỏ dẫn tới khả năng tạo lưu lượng lớn bị hạn chế. Đường thân khai có ưu điểm tạo cặp biên dạng có tính chất đối tiếp ăn khớp tốt. Sự kết hợp giữa cung tròn và đường thân khai sẽ phát huy được ưu điểm của từng đường cong. Biên dạng rotor sẽ kết hợp với các cung cong Cung tròn – Thân khai – Cung tròn (CIC). Đỉnh rotor là cung tròn có cùng tâm với tâm rotor, cung tròn sẽ đảm bảo khe hở nhỏ và biến đổi đều so với thành trong vỏ bơm. Biên dạng sườn rotor được hình thành bởi đường thân khai để bảo đảm đối tiếp tốt giữa hai rotor. Chân rotor là cung tròn đối tiếp với cung tròn đỉnh. Vì biên dạng rotor có tính đối xứng nên phương trình các cung cong được xác định trên một phần của biên dạng (Hình 2).

Đỉnh rotor là cung tròn CD được xác định theo công thức:

$$\begin{cases} x = r_p \cdot \cos \frac{\pi}{2n} + r_v \cdot \sin \gamma \\ y = r_p \cdot \sin \frac{\pi}{2n} + r_v \cdot \cos \gamma \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: γ là tham số cung cong đỉnh; r_p và r_v là bán kính vòng chia và cung tròn đỉnh



Hình 2. Biên dạng rotor hỗn hợp

Cung thân khai BC ở sườn rotor được xác định:

$$\begin{cases} x(\phi) = x_M \cdot \cos(\phi_1) + y_M \sin(\phi_1) \\ y(\phi) = x_M \cdot \sin(\phi_1) - y_M \cos(\phi_1) \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó:

$$\begin{cases} x_M = r_b \cdot [\cos(\alpha + \theta) + (\alpha + \theta) \cdot \sin(\alpha + \theta)] \\ y_M = r_b \cdot [\sin(\alpha + \theta) - (\alpha + \theta) \cdot \cos(\alpha + \theta)] \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: r_b là bán kính đường tròn cơ sở, θ là tham số đường thân khai, α là góc ăn khớp, ϕ_1 là tham số của hệ quy chiếu chuyển động, r_p là bán kính vòng chia, $r_b = r_p \cdot \cos \alpha$.

Trong quá trình làm việc, hai rotor luôn đối tiếp đảm bảo khe hở nhỏ 0.1 mm. Để đảm bảo quá trình làm việc với khe hở biên dạng đều và nhỏ thì đường ăn khớp là đoạn thẳng và nhỏ hơn đoạn ăn khớp lý thuyết. Do đó

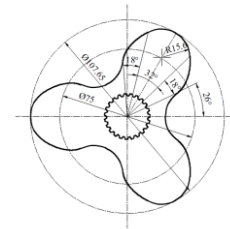
$$r_o = \frac{\pi}{2n} r_b \leq r_b \tan \alpha \Rightarrow \tan \alpha \geq \frac{\pi}{2n} \Rightarrow \quad (4)$$

$$\alpha_{\min} = \arctan \frac{\pi}{2n}$$

Chân rotor là cung tròn đối tiếp với cung tròn đỉnh, do vậy phương trình cung tròn chân rotor được xác định theo:

$$\begin{cases} x = r_p + r_c \sin \gamma_c \\ y = r_c \cos \gamma_c \end{cases} \quad (5)$$

Bằng việc giải phương trình (1,2,5) và điều kiện (3,4), Biên dạng rotor CIC được hình thành như hình 3.



Hình 3. Rotor CIC

3. Lựa chọn chế độ cắt khi gia công rotor CIC

3.1. Gia công rotor bằng phương pháp cắt dây tia lửa điện.

Rotor CIC của bơm chân không thường được ứng dụng nhiều trong các lĩnh vực y tế,

thực phẩm, nó cần được chế tạo từ vật liệu không bị oxi hóa trong môi trường làm việc, không tạo ra các tạp chất có hại lẫn vào sản phẩm. Inox SUS 304 được lựa chọn để tiến hành thực nghiệm gia công rotor CIC trên máy cắt dây. Các thành phần hóa học của SUS 304 cho trong bảng 1

Bảng 1. Thành phần hóa học của SUS 304

Nguyên tố	C	Mn	P	S	Cr	Ni	Si
Tỷ lệ %	0.08	2	0.045	0.03	18	10	1

Máy cắt dây được sử dụng trong quá trình thực nghiệm gia công rotor là máy DK7730, với thông số kỹ thuật của máy như bảng 2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật máy cắt dây DK7730

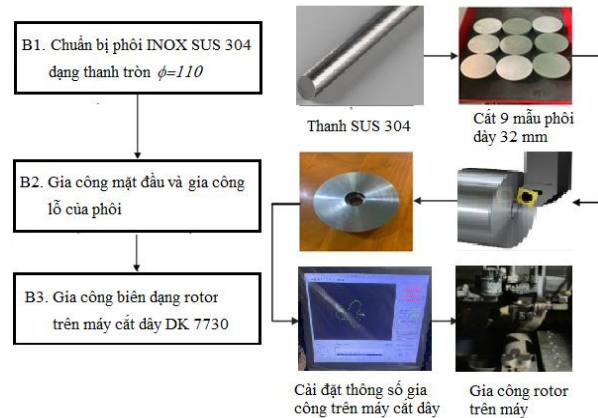
TT	Thông số	Giá trị
1	Kích thước bàn máy	360x540 (mm)
2	Hành trình gia công	300x360 (mm)
3	Chiều cao cắt tối đa	400 (mm)
4	Tải trọng mặt bàn máy	200 (kg)
5	Trọng lượng	1250 (kg)

Khi gia công bằng phương pháp EDM, có nhiều thông số công nghệ ảnh hưởng tới độ chính xác biên dạng và chất lượng gia công rotor nhưng thông số có ảnh hưởng lớn tới độ chính xác gia công là điện áp đánh tia lửa điện (U_d), cường độ dòng điện (I), tốc độ cuốn dây (V). Chế độ cắt thực nghiệm được thể hiện như bảng 3

Bảng 3. Chế độ cắt thử nghiệm

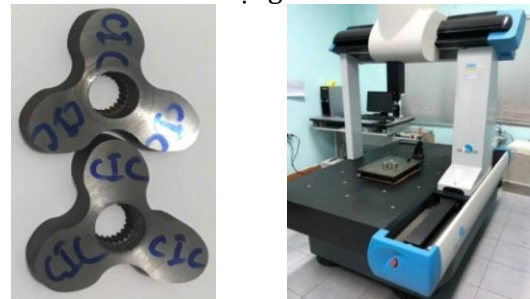
Mẫu thí nghiệm	Chế độ gia công		
	Tốc độ cắt	Cường	Độ kéo
M1	15	3	2
M2	15	4	3
M3	15	5	4
M4	20	3	3
M5	20	4	4
M6	20	5	2
M7	25	3	4
M8	25	4	2
M9	25	5	3

Các bước của quá trình gia công biên dạng rotor được cho trong hình 4 gồm:



Hình 4. Các bước gia công biên dạng rotor CIC

Biên dạng của rotor sau gia công được đo trên máy đo tọa độ CMM loại Global 07.10.07 image clima Technical data, kết quả đo biên dạng thực nghiệm được cho dưới dạng tọa độ, dữ liệu này sẽ được so sánh với biên dạng thiết kế theo lý thuyết để đánh giá độ chính xác biên dạng của rotor CIC. Quá trình đo được thực hiện theo các bước. Bước 1: Xác lập hệ trục tọa độ trên máy. Bước 2: Tiến hành đo và thu thập dữ liệu điểm theo biên dạng rotor



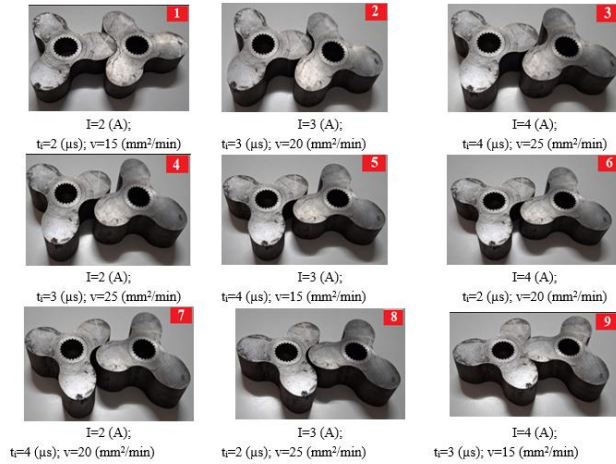
Hình 5. Mẫu rotor và máy đo CMM

Khi gia công, ngoài yếu tố về độ chính xác thì năng suất gia công là một chỉ tiêu quan trọng. Quá trình nghiên cứu công nghệ gia công đều hướng tới mục tiêu cuối cùng là nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm chế tạo. Mỗi quá trình công nghệ gia công khác nhau thì chỉ tiêu đánh giá năng suất gia công sẽ khác nhau, trong công nghệ gia công rotor theo phương pháp gia công tia lửa điện trên máy cắt dây thì có thể coi năng suất gia công là diện tích cắt được trong một đơn vị thời gian ($\text{mm}^2/\text{phút}$). Do trong các thí nghiệm diện tích vết cắt S của tất cả các rotor

là như nhau nên năng suất gia công phụ thuộc vào thời gian gia công t. Nếu t càng lớn thì năng suất gia công càng nhỏ. Vì thế, trong nghiên cứu này sử dụng thời gian để gia công xong một rotor trong mỗi điều kiện thí nghiệm để tính năng suất gia công. Năng suất gia công (P) được tính theo thời gian để gia công xong một mẫu rotor như sau: $P = 1/t$

3.2. Các kết quả thực nghiệm về độ chính xác biên dạng

Kết quả gia công với các chế độ khác nhau được thực hiện trên hình 6

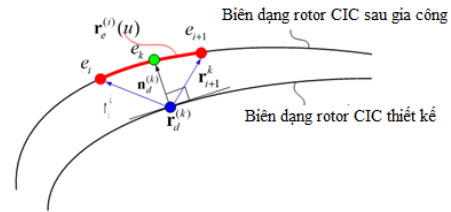


Hình 6. Các mẫu rotor sau gia công ứng với 9 chế độ gia công

Các kết quả đầu ra của quá trình thực nghiệm được phân tích trong luận án này là năng suất gia công và độ chính xác biên dạng rotor. Đây là hai thông số quan trọng để đánh giá hiệu quả và khả năng chế tạo rotor CIC từ dữ liệu thiết kế. Để đánh giá độ chính xác biên dạng của rotor sau gia công ta tiến hành đo bằng máy đo tọa độ 3D CMM và so sánh dữ liệu đo với dữ liệu thiết kế. Độ lệch pháp tuyến giữa hai biên dạng rotor lý thuyết và biên dạng đo ở từng dữ liệu điểm được sử dụng để tính sai số giữa biên dạng lý thuyết với biên dạng đo như thể hiện trong hình 7. Dữ liệu điểm rời rạc của biên dạng rotor thực nghiệm được khớp với một đường cong spline bằng cách sử dụng nội suy spline bậc ba với điều kiện như sau

$$\begin{cases} x_i(u) = c_{0,x} + c_{1,x}u^1 + c_{2,x}u^2 + c_{3,x}u^3 = \sum_{i=0}^3 c_{i,x}u^i \\ y_i(u) = c_{0,y} + c_{1,y}u^1 + c_{2,y}u^2 + c_{3,y}u^3 = \sum_{i=0}^3 c_{i,y}u^i \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó, u là tham số đường cong và giá trị của nó được xác định trong khoảng $0 \leq u \leq u_{\max}$, với $u_{\max}$ là ngưỡng tối đa của tham số đường cong u cho đường cong được nối giữa hai điểm trên biên dạng rotor; $c_{i,y}$, $c_{i,x}$ lần lượt là các hệ số của một đa thức trong hàm khớp đường cong cho các phần tử y và x . Số lượng đường cong được khớp là $n-1$, với n là số điểm rời rạc.



Hình 7. Phương pháp tính toán sai số giữa biên dạng rotor CIC thiết kế và biên dạng rotor CIC sau gia công

Khoảng cách ngắn nhất từ một điểm trên biên dạng rotor chuẩn $\mathbf{r}_d^{(k)}$ đến đoạn thẳng giữa hai điểm e_i và e_{i+1} có thể được xác định dựa trên điều kiện bất đẳng thức như sau:

$$(\mathbf{r}_i^k \times \mathbf{n}_d^{(k)})(\mathbf{r}_{i+1}^k \times \mathbf{n}_d^{(k)}) < 0 \quad (7)$$

Trong đó, $\mathbf{n}_d^{(k)}$ là vectơ pháp tuyến đơn vị tại điểm e_i , e_k , và e_{i+1} là các vectơ vị trí tương đối được biểu diễn là: $\mathbf{r}_i^k = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k$ và $\mathbf{r}_{i+1}^k = \mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_k$, trong đó $\mathbf{r}_k$ là vectơ vị trí của điểm e_k , $\mathbf{r}_i$, $\mathbf{r}_{i+1}$ là các vectơ vị trí của các điểm e_i và e_{i+1} . Độ lệch pháp tuyến δ_k tại điểm e_k có thể được xác định bằng cách giải phương trình tương đối sau:

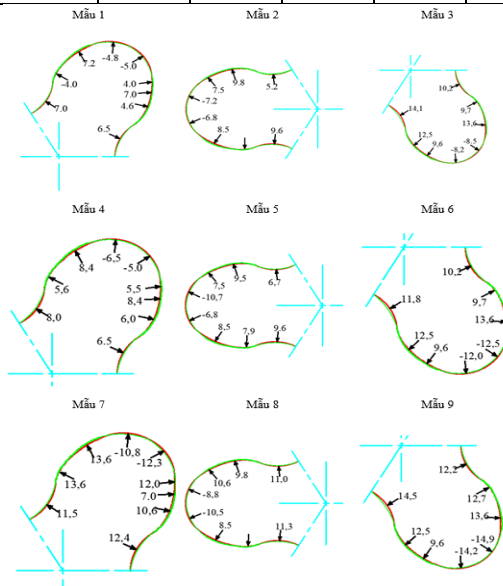
$$\mathbf{r}_d^{(k)} + \delta_k \mathbf{n}_d^{(k)} - \mathbf{r}_e^{(i)} = 0 \quad (8)$$

Sử dụng quy trình trên ta tính được sai lệch biên dạng của rotor giữa lý thuyết và thực nghiệm ở các điểm định vị khác nhau trên biên dạng rotor như thể hiện ở hình 7. Năng suất gia công và sai lệch biên dạng rotor lớn nhất giữa lý

thuyết và thực nghiệm ứng với các chế độ gia công khác nhau được cho trong bảng 4.

Bảng 4. Các kết quả thực nghiệm gia công rotor ứng với các chế độ gia công khác nhau

Mẫu thí nghiệm	Chế độ gia công (tham số đầu vào)		Các chỉ tiêu đầu ra		
	v (mm ² /phút)	I (A)	t_i (μs)	Sai lệch biên dạng	Năng suất gia công
M1	15	3	2	7,2	15,75
M2	15	4	3	9,8	17,48
M3	15	5	4	14,1	21,60
M4	20	3	3	8,4	19,42
M5	20	4	4	10,7	25,06
M6	20	5	2	12,5	20,16
M7	25	3	4	13,6	22,12
M8	25	4	2	11,3	23,04
M9	25	5	3	14,9	26,46



Hình 8. So sánh biên dạng rotor CIC lý thuyết và biên dạng rotor CIC sau gia công

Từ hình 8 có thể thấy, biên dạng rotor lý thuyết và biên dạng rotor sau gia công khá trùng khớp ở tất cả các chế độ gia công và sai số giữa biên dạng rotor lý thuyết với biên dạng rotor sau gia công là rất nhỏ. Vị trí xảy ra sai lệch lớn giữa biên dạng lý thuyết và biên dạng sau gia công của rotor thường ở những điểm tiếp nối giữa các cung cong trên rotor. Nguyên nhân của hiện tượng này có thể do có sự thay đổi đột ngột của đường tiếp tuyến tại các vị trí này của rotor. Ngoài ra có thể thấy từ bảng 4, sai số lớn nhất giữa biên dạng lý thuyết và biên dạng thực nghiệm của rotor ứng với các chế độ gia công khác nhau là không giống nhau. Các sai lệch lớn thường xảy ra với chế độ gia công có tốc độ cắt (v), cường độ dòng điện (I) và độ kéo dài xung (t_i) lớn lớn như ở các thí nghiệm số 3, 7 và 9. Ngược lại, sai lệch giữa biên dạng lý thuyết và biên dạng thực nghiệm của rotor thường nhỏ khi các thông số tốc độ cắt (v), cường độ dòng điện (I) và độ kéo dài xung (t_i) cùng nhỏ như ở thí nghiệm số 1 và 4. Giá trị sai lệch biên dạng nhỏ nhất xảy ra ở thí nghiệm số 1 khi mà cả 3 tham số đầu vào cùng ở mức nhỏ. Giá trị sai lệch biên dạng lớn nhất xảy ra ở thí nghiệm số 9. Như vậy ở các chế độ cắt khác nhau, sai số giữa biên dạng lý thuyết và biên dạng thực nghiệm của rotor là khác nhau. Nói cách khác, chế độ gia công gây ảnh hưởng tới sai lệch biên dạng của rotor.

Từ bảng 4 cho thấy Khi chế độ gia công thay đổi. Khi các tham số v , I , t_i ở mức thấp, nghĩa là giá trị của nó nhỏ, năng suất gia công đạt nhỏ như ở thí nghiệm số 1 và số 2. Ngược lại khi các tham số v , I , t_i ở mức cao, hay giá trị của nó lớn, năng suất gia công đạt cao hơn như ở thí nghiệm số 5 và số 9. Năng suất gia công đạt thấp nhất ở thí nghiệm số 1 ứng với tốc độ cắt $v = 15$ (mm²/phút), cường độ dòng điện $I=3$ (A) và độ kéo dài xung $t_i=2$ (μ). Tương tự, ở chế độ gia công này, sai lệch biên dạng rotor đạt thấp nhất. Hay nói cách khác, độ chính xác biên dạng ở chế độ gia công này đạt cao nhất. Điều này chứng minh rằng để đạt được độ chính xác biên dạng cao thì năng suất gia công sẽ thấp. Kết quả ở thí nghiệm số 9 có thể chứng minh thêm về nhận định trên. Năng suất gia công ở thí nghiệm số 9

đạt cao nhất $P=2,646 \times 10^{-3}$ ở chế độ cắt $v=25$ ($\text{mm}^2/\text{phút}$), $I=5$ (A) và $t_i=3$ (μ) nhưng độ chính xác biên dạng ở chế độ này lại thấp nhất (sai lệch biên dạng cao nhất).

Như vậy, các thông số công nghệ v , I , t_i (tham số đầu vào) có ảnh hưởng khác nhau tới độ chính xác biên dạng và năng suất gia công rotor CIC (chỉ tiêu đầu ra) bằng máy cắt dây. Tùy theo yêu cầu về mặt kỹ thuật và năng suất gia công yêu cầu để lựa chọn chế độ gia công phù hợp như thông số có được trong bảng 4.

4. Kết luận

Trên cơ sở các kết quả của nghiên cứu, một số kết luận được rút ra như sau:

- Kết hợp các đường cong cung tròn, đường thân khai và cung tròn là một phương án khả thi để thiết kế biên dạng rotor mới cho bơm kiểu roots. Biểu thức cho việc xác định dữ liệu điểm của biên dạng rotor được đưa ra rõ ràng ở các biểu thức (1), (2) và (5).

- Sử dụng máy cắt dây là một phương án đơn giản, dễ sử dụng để gia công biên dạng rotor CIC

- Khi gia công rotor CIC với chế độ cắt v, I, t_i cao thì năng suất gia công tăng tuy nhiên độ chính xác giảm. Khi gia công rotor CIC với vật liệu SUS 304 thì ở chế độ cắt $v = 15 \text{ mm}^2/\text{phút}$, dòng điện $I = 3 \text{ A}$ cho độ chính xác tốt nhất, đạt $7,2 \mu\text{m}$. Với yêu cầu về độ chính xác biên dạng trong khoảng $10 - 15 \mu\text{m}$ thì tốc độ cắt phù hợp trong khoảng $v = 15 - 25 \text{ mm}^2/\text{phút}$ và dòng điện $I = 3-5 \text{ A}$. Chế độ cắt này đảm bảo cả về mặt năng suất gia công.

Tài liệu tham khảo

[1]. Faydor L. Litvin and Alfonso Fuentes, 2004. *Gear Geometry and Applied Theory*, the second edition, Cambridge University Press.

[2]. Hwang Y-W, Hsieh C-F, 2006. *Study on high volumetric efficiency of the Roots rotor profile with variable trochoid ratio*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 220(9): 1375-1384.

<https://doi.org/10.1243/09544062JMES176>

[3]. Chiu-Fan Hsieh, Yii-Wen Hwang, 2008. *Tooth profile of a Roots rotor with a variable trochoid ratio*, Mathematical and Computer Modelling, 48 (1,2), 19-33, <https://doi.org/10.1243/09544062JMES176>

[4]. Chiu-Fan Hsieh, 2015. *A new curve for application to the rotor profile of rotary profile of rotary lobe pumps*, Mechanism and Machine Theory, (87), 70-81, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2014.12.018>

[5]. Kang, YH., Vu, HH, 2014. *A newly developed rotor profile for lobe pumps: Generation and numerical performance assessment*. J Mech Sci Technol, 28, 915-926. <https://doi.org/10.1007/s12206-013-1159-7>

[6]. Ligang Yao, Zhonghe Ye, Jian S. Dai, Haiyi Cai, 2005. *Geometric analysis and tooth profiling of a three-lobe helical rotor of the Roots blower*, Journal of Materials Processing Technology, (170)(1-2): 259-267, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.05.020>

[7]. Mimmi G, Pennacchi P, 1999. *Analytical model of a particular type of positive displacement blower*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science.;213(5):517-526. <https://doi.org/10.1243/0954406991522743>

[8]. Lê Đức Tùng, 2022. *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ tới năng suất và độ nhám bề mặt khi gia công bánh răng không tròn trên máy cắt dây*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật cơ khí, Trường đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên.

[9]. Phan Ngọc Tuấn, Dương Quốc Hiếu, Trần Thế Văn, Vũ Đức Phúc, 2023. *Tối ưu hóa độ nhám bề mặt khi gia công rotor cầu bơm chân không trên máy cắt dây bằng phương pháp Taguch*, Tạp chí Khoa học và công

- nghe trường đại học Sư phạm kỹ thuật Hưng Yên; 37; 117-122;
- [10]. Vũ Quang Hà, 2012. *Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ đến năng suất và chất lượng bề mặt khi gia công bằng phương pháp cắt dây tia lửa điện*, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật ngành Công nghệ Chế tạo máy, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- [11]. Gadakh, V. S, 2012. *Parametric optimization of wire electrical discharge machining using topsis method*, Advances in Production Engineering & Management 7, 3, 157-164.
<https://doi.org/10.14743/APEM2012.3.138>
- [12]. Minh-Thuan Hoang, Yu-Ren Wu, 2021. *Error compensation method for milling single-threaded screw rotors with end mill tool*, Mechanism and Machine Theory, 157, 104170,
<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.104170>
- [13]. Hoàng M-T, Wu Y-R, 2021. *Inter-lobe clearance estimation for twin-screw rotor pairs with point-meshing features*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering; 235(2):560-570.
<https://doi.org/10.1177/0954408920971399>