

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

ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC HÌNH HỌC GIA CÔNG BÁNH RĂNG TRỤ RĂNG THẲNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP CẮT DÂY TIA LỬA ĐIỆN EDM

Nguyễn Thanh Tùng^{1,*}

¹ Khoa Cơ – Điện, Trường Đại học Mở - Địa Chất, Việt Nam.

TÓM TẮT

Trên cơ sở lý thuyết đường thân khai và các phép biến đổi toán học, mô hình hình học của bánh răng trụ răng thẳng có môđun lớn đã được xây dựng. Từ mô hình này, đường chạy dao được thiết lập và quá trình gia công được mô phỏng với sự hỗ trợ của các phần mềm CAM. Kết quả thực nghiệm gia công bánh răng trụ thân khai môđun lớn bằng phương pháp cắt dây EDM cho thấy độ chính xác đạt cấp 5 theo tiêu chuẩn TCVN. Sai lệch biên dạng răng, độ nhám bề mặt cũng như sai số bước răng đều nằm trong giới hạn cho phép

Từ khóa: cắt dây EDM, CMM, Bánh răng thân khai.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, nhu cầu về bánh răng phi tiêu chuẩn và bánh răng kích thước lớn có độ chính xác cao ngày càng tăng, đặc biệt trong bối cảnh các hệ thống cơ khí công suất lớn được ứng dụng rộng rãi. Chất lượng của bánh răng lớn ảnh hưởng trực tiếp đến độ tin cậy, hiệu suất và tuổi thọ của thiết bị. Do đó, việc áp dụng các quy trình chế tạo hiện đại, có độ chính xác cao là yêu cầu tất yếu nhằm đảm bảo độ bền và tính ổn định truyền động.

Các phương pháp gia công truyền thống như phay lăn, chuốt, nghiền răng, đúc và rèn vẫn còn tồn tại những hạn chế nhất định khi chế tạo bánh răng có kích thước lớn và yêu cầu chất lượng cao. Điều này đặt ra nhu cầu nghiên cứu những quy trình công nghệ tiên tiến, vừa đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy, vừa mang lại hiệu quả kinh tế, phục vụ đa dạng các ứng dụng trong khoa học, công nghiệp và đời sống.

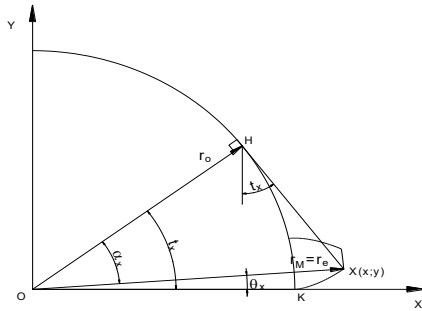
Gia công tia lửa điện dây (Wire EDM – WEDM) là một phương pháp gia công phi truyền thống có khả năng tạo ra chi tiết có độ chính xác cao nhờ chuyển động điều khiển hai trục. Nguyên lý quá trình dựa trên hiện tượng phóng tia lửa điện để bào mòn vật liệu trong môi trường chất lỏng dẫn điện (dung dịch điện môi). Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra ưu điểm nổi bật của WEDM trong chế tạo bánh răng. Chẳng hạn, nhóm tác giả R. M. Yusron và cộng sự [1] đã khảo sát ảnh hưởng của các thông số công nghệ như thời gian bật xung,

điện áp, dòng xung và lực căng dây đến sai số biên dạng thân khai của bánh răng trụ bằng phương pháp thiết kế thí nghiệm Taguchi L18. Kết quả cho thấy các thông số thời gian bật xung, điện áp và dòng xung có quan hệ tỷ lệ thuận với sai số biên dạng, trong khi lực căng dây có tác động tỷ lệ nghịch. Tương tự, Gupta và cộng sự [2] đã so sánh WEDM với phương pháp phay lăn răng truyền thống về chất lượng hình học, độ nhám, cấu trúc bề mặt và độ cứng, từ đó khẳng định ưu thế vượt trội của WEDM. Ngoài ra, nhiều công bố khác [3–6] cũng nhấn mạnh tính ưu việt của phương pháp này trong chế tạo bánh răng thân khai, đặc biệt trong sản xuất đơn chiếc và loạt nhỏ.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung xây dựng mô hình toán học để thiết lập bề mặt hình học của bánh răng trụ răng thẳng, từ đó tiến hành gia công thử nghiệm bằng máy cắt dây EDM. Độ chính xác gia công được đánh giá thông qua phương pháp đo CMM, nhằm làm rõ hơn ưu điểm của WEDM trong chế tạo bánh răng trụ môđun lớn.

2. Xây dựng mô hình toán biên dạng bánh răng trụ thân khai

Gọi $X(x; y)$ là một điểm bất kỳ nằm trên đường thân khai (hình 1); α_x là góc áp lực tại điểm X; θ_x là góc hàm thân khai ứng với góc áp lực α_x .



Hình 1: Sơ đồ tính các điểm trên đường thân khai

Tọa độ điểm X được xác định bởi phương trình sau:

$$\begin{cases} x = r_0 \cdot \cos t_x + r_0 \cdot t_x \cdot \sin t_x \\ y = r_0 \cdot \sin t_x - r_0 \cdot t_x \cdot \cos t_x \end{cases} \quad (1)$$

Gọi r_x là bán kính véc tơ tại điểm X ta có:

$$x^2 + y^2 = r_x^2 \quad (2)$$

Thay x và y từ hệ phương trình (1) vào phương trình (2) ta có

$$r_x^2 = r_0^2 \cdot (1 + t_x^2) \quad (3)$$

Từ phương trình (3) ta có:

$$t_x = \sqrt{\frac{r_x^2 - r_0^2}{r_0^2}} \quad (4)$$

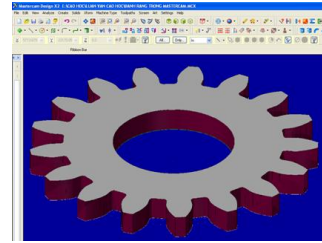
ta có $MH = r_0 \cdot \tan \alpha_x$ và cung $HK = r_0 \cdot t_x$. Theo tính chất của đường thân khai thì độ dài cung $HK = MH$ nên ta có: $\tan \alpha_x = t_x$ (5)

$$\text{và } t_x - \alpha_x = \theta_x \quad (6)$$

Thay (5) vào (6) ta có:

$$\begin{aligned} \theta_x &= \tan \alpha_x - \alpha_x = t_x - \arctg t_x = \\ &= \sqrt{\frac{r_x^2 - r_0^2}{r_0^2}} - \arctg \sqrt{\frac{r_x^2 - r_0^2}{r_0^2}} \end{aligned} \quad (7)$$

Việc giải phương trình (1) và các điều kiện như phương trình (4), (7). Biên dạng bánh răng được hình thành dưới sự hỗ trợ của ngôn ngữ lập trình Autolisp để xây dựng một chương trình tự động vẽ bề mặt bánh răng trụ thân khai chạy trên nền Mechanical Desktop. Chương trình này đã được sử dụng để vẽ bánh răng mẫu có mô đun $m = 10$; số răng $Z = 17$; góc áp lực trên vòng chia $\alpha = 20^\circ$; góc nghiêng $\beta = 0^\circ$.



Hình 2. Bánh răng thân khai

3. Gia công bánh răng trụ thân khai bằng phương pháp cắt dây EDM

3.1 Xây dựng đường chạy dao

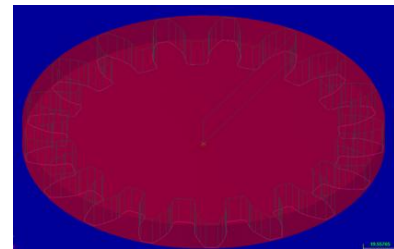
Chương trình gia công bánh răng được hỗ trợ bởi phần mềm Mastercam được thực hiện qua các bước:

Bước 1: Xuất vẽ bánh răng 2D từ Autocad sang môi trường Mastercam.

Bước 2: Thiết lập đường dụng cụ.

Bước 3: Xuất file NC cắt dây bánh răng trụ thân khai răng thẳng.

Bước 4. Mô phỏng quá trình gia công.



Hình 3. Mô hình đường chạy dao

3.2 Chọn máy và chế độ cắt dây

Máy cắt dây được sử dụng trong quá trình thực nghiệm gia công rotor là máy DK7730. Do dây đồng tạo ra độ chính xác cao cho chi tiết gia công, nó có độ bền kéo, khả năng dẫn điện tốt và độ ổn định cao trong quá trình cắt. Ngoài ra, dây molipden còn có khả năng chống oxy hóa, chịu được lực căng lớn nên nghiên cứu này sử dụng dây cắt molipden có đường kính là 0.25 mm trong quá trình gia công bánh răng. Các thông số và hình ảnh máy DK7730 (hình 4) và dây cắt cho trong bảng 1.

Bảng 1. 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	Tốc độ gia công tối đa	120 (mm ² /phút)
6	Trọng lượng	1250 (kg)

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_i), cường độ dòng điện (I), tốc độ cuốn dây (V). Chế độ cắt được thể hiện như bảng 2.

Bảng 2. Chế độ cắt thử nghiệm

TT	Thông số	Giá trị
1	Tốc độ cắt (mm ² /phút)	25
2	Cường độ dòng điện (A)	3
3	Hiệu điện thế cắt (V)	95
4	Độ kéo dài xung t_i (μ s)	8
5	Khoảng cách xung t_0 (μ s)	40

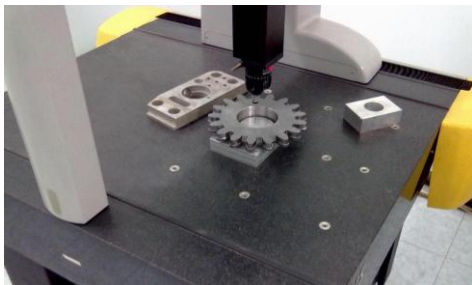


Hình 4. Máy cắt dây DK7730

3.3. Đánh giá độ chính xác gia công

Bánh răng sau gia công xong bằng phương pháp EDM được đánh giá độ chính xác thông qua đánh giá sai số bước răng, biên dạng răng và độ nhám bề mặt.

Việc đo kiểm biên dạng răng được tiến hành đo kiểm bằng phương pháp CMM trên máy đo tọa độ CMM (hình 6) và kiểm độ nhám trên máy đo nhám (hình 7)



Hình 6: Đo kiểm trên máy đo tọa độ CMM



Hình 7: Đo độ nhám trên máy đo nhám

Biên dạng thân khai của bánh răng được xây dựng từ vòng cơ sở r_0 đến vòng đỉnh r_e , trong khi đầu đo của máy CMM lại quét từ r_e đến r_i (bán kính vòng chân) rồi lại đến r_e . Do vậy phải loại bỏ những điểm có bán kính $r_x < r_0$.

Việc xác định sai số giữa bề mặt răng đo thực tế so với bề mặt lý thuyết gồm các bước sau:

Bước 1: Chuyển tọa độ các điểm đo từ gốc tọa độ máy (X_m, Y_m) sang gốc tọa độ chi tiết (X_p, Y_p).

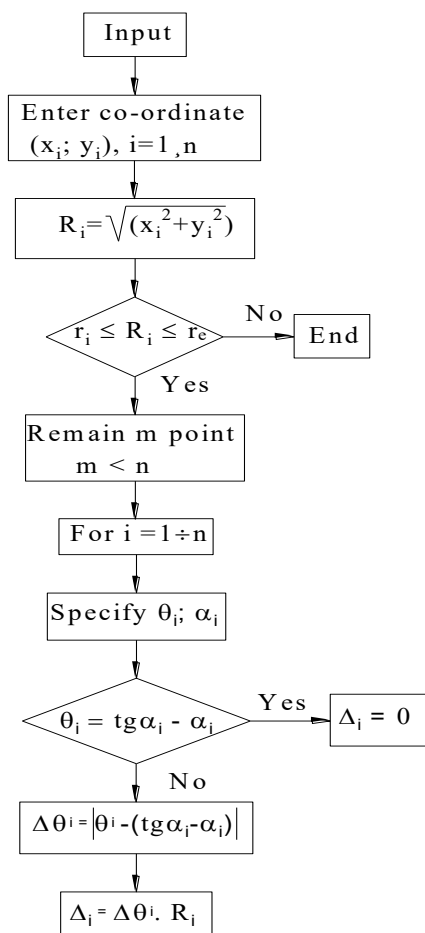
Bước 2: Tính bán kính r_x tại mỗi điểm đo theo công thức $r_{xi} = \sqrt{X_{pi}^2 + Y_{pi}^2}$ và so sánh với r_0 để loại bỏ những điểm mà $r_x < r_0$.

Bước 3: Vẽ lại tọa độ các điểm đo trên phần mềm Autocad, vẽ đường tròn cơ sở bán kính $r_o = r \cdot \cos \alpha$. Tại mỗi điểm đo, ta dựng hình xác định góc hàm thân khai và góc áp lực tại điểm x là θ_x và α_x .

Bước 4: Tính giá trị $\tan \alpha_x - \alpha_x$ và so sánh với θ_x . Điểm x nằm trên đường thân khai của vòng tròn cơ sở (O, r_o) khi tọa độ của nó thỏa mãn phương trình của đường thân khai:

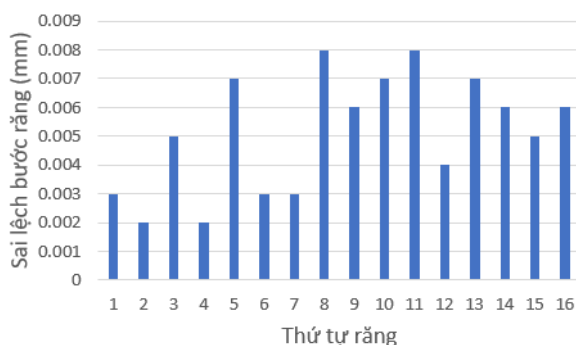
Bước 5: Tính sai số tại mỗi điểm đo.

Dữ liệu điểm sau từ máy đo tọa độ, và được kiểm tra bằng thuật toán như hình 7



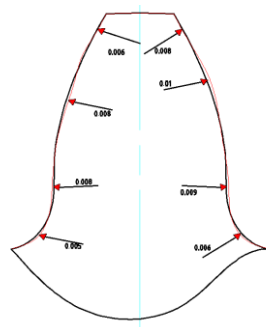
Hình 7 : Thuật toán xác định sai số

Xác định sai số profion răng



Hình 8 : Sai lệch bước răng

Hình 8 thể hiện sai số bước răng khi gia công bánh răng trụ thân khai có số răng Z17. Giá trị sai lệch bước răng lớn nhất 0.008 mm, đạt cấp chính xác 5 theo TCVN về sai số răng.



Hình 9 : Mô tả sai lệch biên dạng răng

Hình 9 thể hiện sai số biên dạng răng giữa răng lý thuyết và biên dạng răng gia công bằng phương pháp EDM. Giá trị số lớn nhất 0.01 mm tại cung lồi của răng, tại các vị trí chuyển tiếp giữa cung lồi và cung lõm thì sai số răng lớn. Giá trị sai số này đáp ứng được yêu cầu về độ chính xác biên dạng răng. Bên cạnh đó độ nhám bề mặt đạt Ra = 2.5 μm phù hợp với độ nhám tiêu chuẩn của bánh răng.

4. Kết luận

Trên cơ sở mô hình toán nghiên cứu đã thực nghiệm chế tạo một bánh răng trụ răng thẳng biên dạng thân khai với modul m=10, Z= 17. Việc gia công bánh răng bằng phương pháp EDM với chế độ cắt thông thường đạt được các kết quả cụ thể như sau

- Sai số profin răng của bánh răng < 0.01 mm
- Sai lệch bước răng < 0.009 mm
- Nhám bề mặt đạt 2.5 μm

Giá trị sai số trên đạt cấp chính xác 5 theo TCVN. Với các bánh răng modul lớn khi gia công đạt được cấp chính xác này khẳng định tính ưu việt của phương pháp cắt dây tia lửa điện EDM.

Tài liệu tham khảo

- [1] R M Yusron, T Prasetyo and M Pramudia (2020), "Investigation of Involute Profile Error on Spur Gear Processed using Wire EDM", Materials Science and Engineering, Volume 1125, Workshop on Environmental Science, Society, and Technology, Makassar, Indonesia
- [2] Kapil Gupta; Neelesh Kumar Jain (2014) "Comparative Study of Wire-EDM and Hobbing for Manufacturing High-Quality Miniature Gears" Materials and Manufacturing Processes, Volume 29, Issue 11-12, trang 1470-1476

- [3] K. D. Mohapatra, R. Dash, S. K. Sahoo (2019) "Comparative Study of Wire Electrodes in a Wire Edm Gear Cutting Process Using Grey Moora Method", International Journal for Technological Research in Engineering (IJTRE), Vol. 6, Issue 5, pp 4911-492.
- [4] R. Calvo và M. Daniel (2019) ," Wire electrical discharge machining (EDM) setup parameters influence in functional surface roughness, Procedia Manufacturing, Issue 41, pp 602-609.
- [5] Rusdi Nur, M. Muas, Apollo, Syah Risal, (2019), "*Effect of Current and Wire Speed on Surface Roughness in the manufacturing of Straight Gear using Wire-cut EDM Process*" Materials Science and Engineering, **DOI:** DOI 10.1088/1757-899X/619/1/012002
- [6] Kapil Gupta & Neelesh Kumar Jai (2013), "On Micro-Geometry of Miniature Gears Manufactured by Wire Electrical Discharge Machining (WEDM), Materials and Manufacturing Processes, Vol 10, Issue 28, pp 1153-1159.