

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MẠNG NƠN ĐỂ XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CHẾ ĐỘ CẮT CỦA QUÁ TRÌNH GIA CÔNG MẶT PHẪNG TRÊN MÁY PHAY CNC BA TRỤC BẰNG MẢNH DAO HỢP KIM PHỦ TiAlN ĐỐI VỚI THÉP TÁM SKD61

Nguyễn Thế Hùng<sup>1</sup>

## TÓM TẮT

Phay mặt phẳng là một trong những nguyên công quan trọng và phổ biến trong gia công phay, cắt gọt kim loại. Trong các chỉ tiêu đánh giá chất lượng chi tiết thì độ nhám bề mặt là một trong những yêu cầu quan trọng, nó phụ thuộc vào nhiều yếu tố trong quá trình cắt gọt. Việc lựa chọn chế độ cắt gia công phù hợp cho từng nguyên công có thể gây mất thời gian cho kỹ sư đồng thời có thể gây tăng chi phí. Mạng nơron có thể được sử dụng để dự báo các thông số chế độ cắt trong một quá trình cụ thể như gia công phay với loại vật liệu xác định. Muốn xây dựng được một cấu trúc mạng phù hợp cho từng công việc thì cần có các kết quả thực nghiệm để xây dựng bộ dữ liệu huấn luyện mạng. Quá trình huấn luyện mạng sử dụng thuật toán lan truyền ngược với các bộ dữ liệu thực nghiệm có giá trị đầu vào là chiều sâu cắt, độ nhám bề mặt và đường kính dao phay, mục tiêu tìm ra cấu trúc mạng phù hợp nhất để làm công cụ dự đoán giá trị đầu ra là vòng quay trục chính và lượng chạy dao trên phút. Thực nghiệm trên máy phay CNC ba trục, sử dụng dao phay mặt phẳng gắn mảnh hợp kim cứng phủ TiAlN để phay tinh mặt phẳng thép SKD61. Kết quả so sánh độ nhám bề mặt thực tế với độ nhám bề mặt mong muốn cho thấy mạng nơron có thể được dùng để dự báo giá trị vòng quay trục chính và lượng chạy dao phút, từ đó phát triển những nghiên cứu rộng hơn của mạng nơron đối với quá trình cắt gọt trên máy CNC.

**Từ khóa:** Phay CNC, mạng nơron, giải thuật lan truyền ngược, chế độ cắt

### 1. Mở đầu

Các sản phẩm trong ngành cơ khí rất đa dạng và có nhiều yêu cầu chất lượng, trong đó chất lượng bề mặt rất quan trọng. Các chi tiết gia công phay chiếm tỷ lệ cao trong ngành chế tạo máy như khuôn mẫu, vỏ, mặt bích... Việc thực hiện gia công bằng máy CNC đã trở nên ngày càng phổ biến vì nhiều ưu điểm vượt trội so với các phương pháp gia công bằng máy vạn năng thông thường, như tính tự động, linh

hoạt, hiệu quả kinh tế và kỹ thuật cao. Độ nhám bề mặt có ảnh hưởng lớn trong việc xác định và đánh giá chất lượng bề mặt của sản phẩm vì nó có tác động đến độ bền mỏi, bền mòn, bôi trơn... của chi tiết máy. Để gia công được chi tiết đạt độ bóng yêu cầu thì phụ thuộc vào nhiều yếu tố như máy, chế độ cắt, vật liệu phôi, vật liệu dao, thông số dao, lượng dư gia công... Các yếu tố này còn ảnh hưởng lớn đến thời gian gia công, tuổi thọ dao, năng suất,

<sup>1</sup>Trường Đại học Đồng Nai

Email: nguyenthehung@dnpu.edu.vn

chất lượng, giá thành sản phẩm. Trên thế giới có nhiều nghiên cứu sử dụng mạng nơron để ứng dụng vào ngành chế tạo máy và cho thấy những kết quả khả quan. Hiện nay, các nghiên cứu về mạng nơron trong ngành cơ khí ở Việt Nam vẫn còn mới mẻ và cần được phát triển trước xu hướng phát triển của công nghệ hiện đại.

Mạng nơron có thể được huấn luyện bằng các tập số liệu và có thể dự báo các thông số cần tìm thông qua giải thuật được đưa ra sau khi huấn luyện. Ứng dụng của mạng nơron rất đa dạng, trong công nghiệp đã có nghiên cứu để dự báo hình dạng uốn của tấm thép đóng vỏ tàu trong quá trình định hình bằng nhiệt [1]. Việc sử dụng mạng nơron (ANN) trong việc xác định thông số gia công cần phải có tập số liệu thực nghiệm gia công trên máy, đã có những nghiên cứu trong gia công cắt gọt để dự báo các chỉ tiêu về chất lượng bề mặt sau gia công [2].

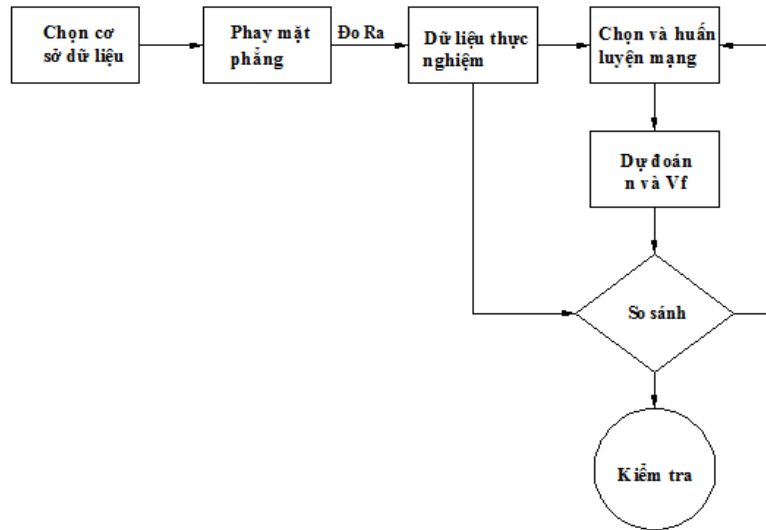
Mục tiêu của nghiên cứu là huấn luyện mạng đưa ra được lượng chạy dao phút và số vòng quay trục chính của quá trình phay tinh mặt phẳng sau khi đưa vào mạng các thông số đầu vào. Thông số đầu vào gồm 3 giá trị: Đường kính dao phay  $D_c$  (mm), độ nhám bề mặt  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ), chiều sâu cắt  $a_p$  (mm). Giá trị đầu ra của mạng có 2 giá trị: Số vòng quay trục chính  $n$  (vòng/phút), lượng chạy dao phút  $v_f$  (mm/phút). Từ giá trị đầu ra, người lập chương trình cho máy CNC dễ dàng hơn trong việc chọn chế

độ cắt khi phay mặt phẳng và góp phần tối ưu hóa quá trình gia công, tăng tuổi thọ dụng cụ cắt.

Các giá trị chế độ cắt được mạng dự báo sử dụng cho máy phay CNC ba trục, giả thuyết rằng vật liệu khi gia công có sự đồng đều, mòn dao trong phạm vi cho phép. Các thông số gia công phay mặt phẳng trong các tài liệu kỹ thuật [3], [4] được dùng để làm cơ sở cho việc chọn các tập giá trị thực nghiệm gia công trên máy, đo và lưu giá trị để huấn luyện mạng. So sánh và đánh giá các kết quả của quá trình thực nghiệm với kết quả dự báo của mạng. Thực nghiệm áp dụng cho quá trình phay mặt phẳng, chỉ tiêu đánh chất lượng và so sánh sau khi phay là độ nhám bề mặt  $R_a$ . Quá trình gia công trên máy sử dụng dao phay mặt đầu có độ nghiêng mảnh dao dọc trục là  $5^\circ$ , nghiêng theo hướng kính là  $7^\circ$  gấn mảnh dao của hãng Mitsubishi có mã RPMT1204M0E, bán kính  $r = 6\text{mm}$  hợp kim cứng phủ TiAlN.

## 2. Nội dung

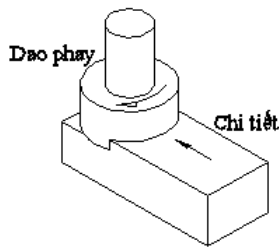
Thực nghiệm được tiến hành trên máy phay CNC ba trục, xác định độ nhám bề mặt chi tiết sau khi phay mặt phẳng với các thông số chế độ cắt khác nhau, sử dụng dao phay mặt đầu gấn mảnh hợp kim cứng phủ PVD – TiAlN khi gia công thép SKD61. Sau thực nghiệm lựa chọn ra bộ dữ liệu chế độ cắt nhằm huấn luyện mạng thần kinh nhân tạo.



**Hình 1:** Sơ đồ khối của quá trình thực nghiệm và xác định cấu trúc mạng

Dao phay mặt đầu đường kính danh định 40, 50, 63mm có bốn lưỡi cắt, góc nghiêng hướng kính 7°, góc nghiêng dọc trục 5°. Thông số hình học của mảnh chấp: Góc sau lưỡi cắt chính 11°, đường kính lưỡi cắt  $D_1=12$  mm, bề dày  $S_1=4,76$ mm. Phôi thép tấm SKD61 theo

tiêu chuẩn Nhật Bản được phay thành khối theo kích thước 150x40x50mm có độ cứng 91HRB được phay trên máy phay CNC VMC – 115. Máy đo độ nhám bề mặt SJ201 của hãng Mitutoyo được sử dụng để đo biên dạng mẫu sau khi gia công.



**Hình 2:** Dao phay và chi tiết



(a)



(b)

**Hình 3:** (a) Máy VMC 115 và (b) đo độ nhám bề mặt mẫu

Dải thông số chế độ cắt được chọn ra từ catalog của hãng Mitsubishi [5] nhằm đảm bảo chế độ cắt hợp lý và tuổi bền của lưỡi cắt.

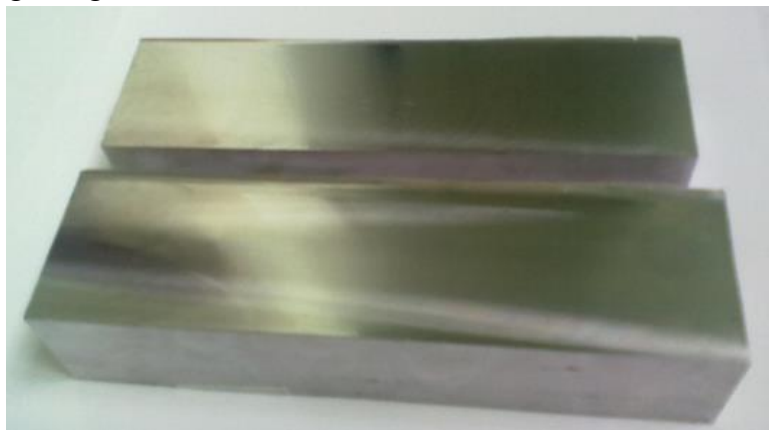
**Bảng 1:** Chế độ cắt sử dụng cho quá trình thực nghiệm

Vận tốc cắt $v_c$ (m/phút)	Lượng chạy dao $f_z$ (mm/răng)	Chiều sâu cắt $a_p$ (mm)
130 - 220	0,1 – 0,6	0,3 – 0,9

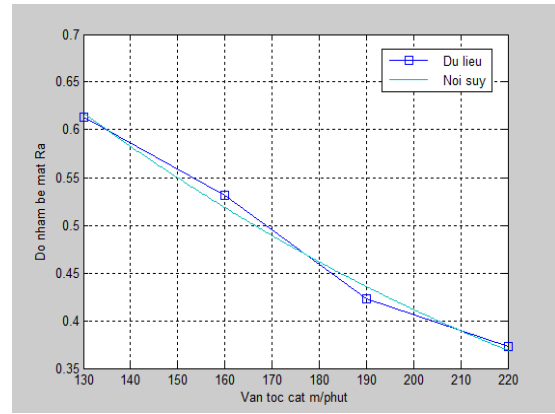
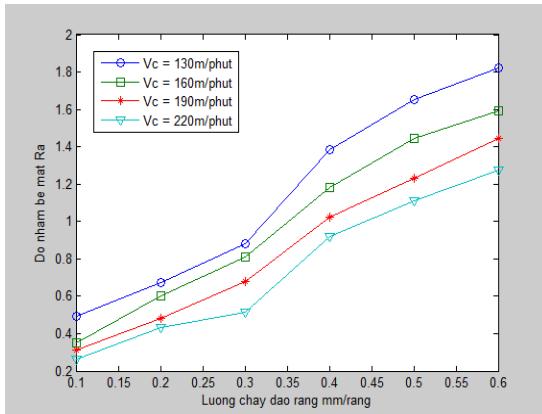
Sử dụng các công thức cơ bản của quá trình phay ta xác định được số vòng quay trục chính  $n$  tương ứng với mỗi vận tốc cắt  $v_c$ , xác định được lượng chạy dao phút  $v_f$  tương ứng với một lưỡi cắt của mỗi loại dao cắt, việc này nhằm hạn chế ảnh hưởng của sai số chế tạo mảnh ghép và của cán dao. Từ dải thông số chế độ cắt người nghiên cứu chọn ra được bộ thực nghiệm, việc xác định số mẫu dựa trên khả năng hội tụ của mạng, độ chính xác của mạng có thể đạt được. Nếu sử dụng số lượng quá ít dữ liệu sẽ cho ra kết quả không chính xác, ngược lại nếu sử dụng cơ sở dữ liệu lớn sẽ gây tăng chi phí không cần thiết và khả năng hội tụ của mạng kém do dữ liệu trùng lặp nhiều dẫn đến sai số bình phương trung bình lớn và mục

tiêu của mạng là các giá trị dự báo phải chính xác sẽ không thực hiện được.

Phôi thép SKD61 được gá lên ê-tô trên máy phay CNC sau đó tiến hành phay mặt phẳng với một chế độ cắt đã được xác định. Trong quá trình phay có sử dụng dung dịch trơn nguội, sau khi phay xong tiến hành làm sạch bề mặt chi tiết rồi đo độ nhám bề mặt ba lần tại đường giữa của bề rộng cắt, lấy kết quả trung bình của ba lần đo. Lấy ngẫu nhiên 90% số mẫu thực nghiệm làm dữ liệu huấn luyện mạng với đầu vào là chiều sâu cắt, độ nhám bề mặt, đường kính dao phay, đầu ra là vận tốc vòng quay trục chính và lượng chạy dao phút, 10% mẫu thực nghiệm còn lại được sử dụng để kiểm tra độ chính xác của mạng.



**Hình 4:** Bề mặt chi tiết sau khi phay



**Hình 5:** (a) Ảnh hưởng của lượng chạy dao răng tới độ nhám bề mặt

Một trong những yêu cầu quan trọng trong việc ứng dụng mạng nơron là xác định cấu trúc mạng tối ưu, vấn đề này liên quan tới số lớp ẩn và số nơron trong mỗi lớp. Số nơron trong mỗi lớp được xác định bằng phương pháp thử với yêu cầu phải có độ hội tụ sai số phù hợp [6]. Trong nghiên cứu này, việc xác định cấu trúc mạng được thực hiện bằng cách thay đổi số lớp ẩn là 1 hoặc 2 lớp và thay đổi số lượng nơron trong mỗi lớp, các nút mạng được lựa chọn giữa các hàm huấn luyện mạng và hàm nơron [7].

(b) Ảnh hưởng của vận tốc cắt tới độ nhám bề mặt

Thuật toán lan truyền ngược đàn hồi (Resilient Backpropagation) có tốc độ huấn luyện mạng nhanh, không đòi hỏi nhiều bộ nhớ, phù hợp với cấu trúc mạng vừa phải và tập dữ liệu huấn luyện trung bình [6]. Lý do chọn lan truyền ngược đàn hồi vì nghiên cứu ứng dụng trong phạm vi hẹp là máy phay CNC ba trục và quá trình gia công phay mặt phẳng thép SKD61. Các thông số huấn luyện mạng là sai số bình phương trung bình bằng  $10^{-4}$ , số lần lặp đạt giá trị là 10000 lần.

**Bảng 2:** Dữ liệu kiểm tra độ chính xác của mạng

STT	Số vòng quay n (vòng/phút)	Đường kính dao $D_c$ (mm)	Lượng chạy dao phút $v_f$ (mm/phút)	Chiều sâu cắt $a_p$ (mm)	Độ nhám bề mặt $R_a$ ( $\mu m$ )
6	1273	40	1528	0,3	0,717
17	1019	50	815	0,6	1,604
20	1210	50	968	0,6	0,483
34	1112	50	445	0,9	0,375
44	1210	50	2419	0,3	1,215
59	1401	50	2801	0,6	1,113
66	1273	40	3056	0,9	1,627

Sau khi huấn luyện xong một cấu trúc mạng, người nghiên cứu lấy 3 thông số chiều sâu cắt, độ nhám bề mặt, đường kính dao của tập dữ liệu kiểm tra đưa vào mạng. Đáp ứng của mạng là số

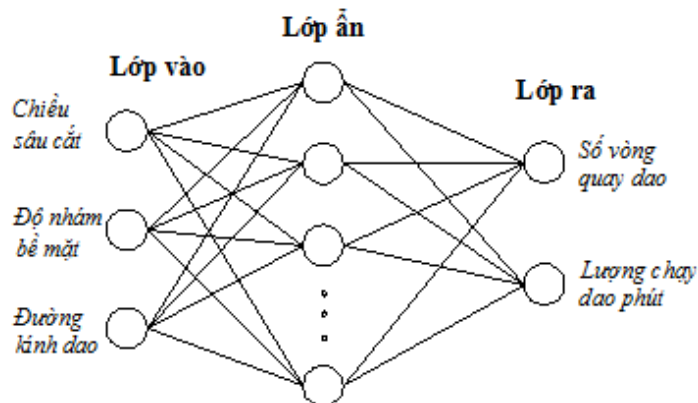
vòng quay và lượng chạy dao được so sánh với thông số tương ứng của tập dữ liệu kiểm tra, kết quả sai lệch trung bình đối với  $n$  và  $v_f$  của 7 mẫu được thể hiện ở bảng 2.

**Bảng 3:** Độ chính xác của các cấu trúc mạng khi tiên đoán số vòng quay và lượng chạy dao phút

STT	Cấu trúc mạng	Hàm truyền của nơron	Sai số bình phương trung bình	Sai lệch n trung bình (%)	Sai lệch $v_f$ trung bình (%)
2	3-150-2	tansig-purelin	$2,47.10^4$	10,1	17,5
3	3-250-2	tansig-purelin	$2,49.10^4$	15,7	40,3
4	3-450-2	tansig-purelin	72	10,7	12,7
5	3-550-2	tansig-purelin	8,53	14,0	13,6
6	3-750-2	tansig-purelin	0,0437	9,6	11,1
7	3-850-2	tansig-purelin	0,0994	7,3	6,7
8	3-900-2	tansig-purelin	0,000199	5,1	6,9
9	3-950-2	tansig-purelin	0,0001	5,0	4,5
10	3-1000-2	tansig-purelin	0,0001	5,6	10,1
12	3-100-2	logsig-purelin	$6,31.10^4$	25	58,3
14	3-350-2	logsig-purelin	0,193	7,3	8,1
15	3-450-2	logsig-purelin	0,0001	6,6	7,0

Nếu tăng số lượng nơron quá mức cần thiết trong lớp ẩn cũng không làm tăng hiệu quả của mạng, cấu trúc mạng một lớp ẩn cho kết quả tiên đoán tốt hơn mạng hai lớp ẩn. Cấu trúc mạng đáp ứng tốt nhất với một lớp ẩn có 950

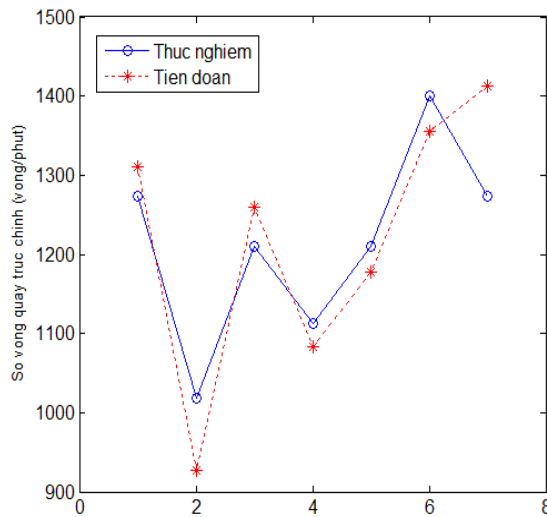
nơron, sử dụng hàm truyền tan-sigmoid ở lớp ẩn và purelin ở lớp ra. Do đó người thực hiện chọn cấu trúc mạng 3-950-2 để làm công cụ dự đoán giá trị các giá trị đầu ra.



**Hình 6:** Cấu trúc mạng sử dụng để tiên đoán lượng chạy dao phút và số vòng quay

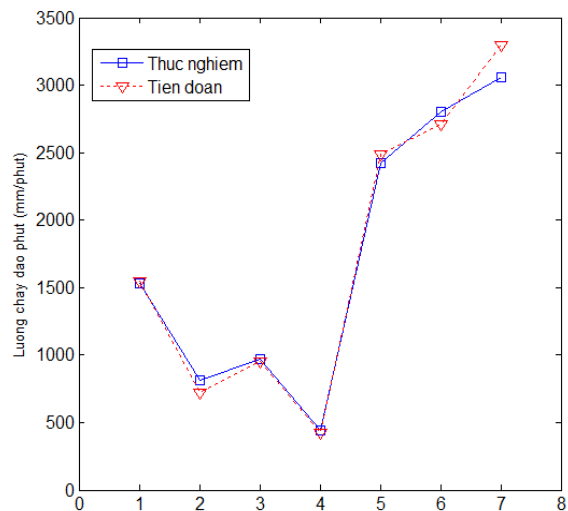
**Bảng 4:** So sánh kết quả thực nghiệm và tiên đoán của mạng 3 – 950 – 2

STT	n thực nghiệm	n tiên đoán	Độ lệch (%)	$v_f$ thực nghiệm	$v_f$ tiên đoán	Độ lệch (%)
6	1273	1311	2,9	1528	1548	1,3
17	1019	927	8,9	815	726	10,9
20	1210	1259	4,0	968	956	1,2
34	1112	1084	2,4	445	425	4,4
44	1210	1178	2,6	2419	2492	3,0
59	1401	1355	3,2	2801	2715	3,0
66	1273	1412	10,8	3056	3294	7,7

**Hình 7:** (a) So sánh kết quả tiên đoán số vòng quay trục chính của mạng 3–950–2

Sau quá trình huấn luyện ta có được ngưỡng của lớp ra  $b^2$  là ma trận kích thước  $2 \times 1$ , trọng số của lớp đầu vào  $IW^1$  là ma trận kích thước  $950 \times 3$ , trọng số lớp ẩn  $LW^2$  là ma trận kích thước  $2 \times 950$ , ngưỡng của lớp ẩn  $b^1$  là ma trận  $950 \times 1$ .

Với  $p$  là ma trận đầu vào với kích thước  $3 \times 1$ , đáp ứng  $Y$  của mạng sẽ cho ra ma trận kết quả với kích thước  $2 \times 1$ .



(b) So sánh kết quả tiên đoán lượng chạy dao phút của mạng 3 950 – 2

$$Y = LW^2 \left( \frac{2}{1 + e^{-2(IW^1 \cdot p + b^1)}} - 1 \right) + b^2$$

Code MATLAB:

$$Y = \text{purelin}(LW2 * (\text{tansig}(IW1 * p + b1)) + b2)$$

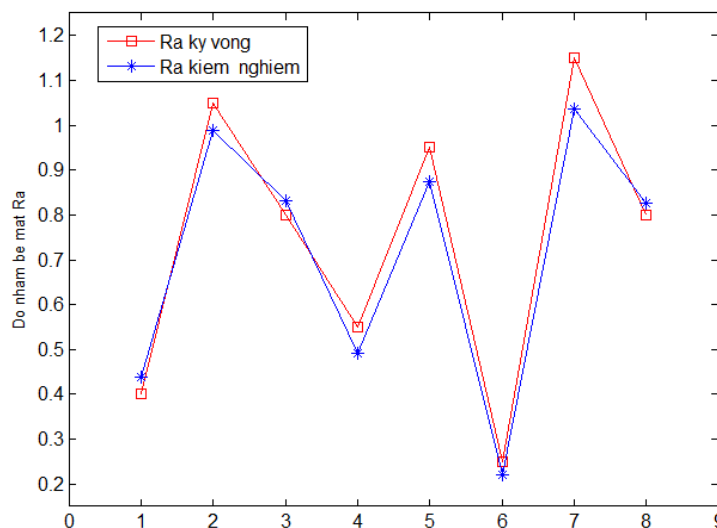
### 3. Kết luận

Tiến hành thực hiện bài toán ngược nhằm kiểm chứng độ chính xác thực tế của mạng với yêu cầu đặt ra là độ nhám bề mặt. Chọn 8 mẫu dữ liệu sau đó tiến hành phay, kết quả độ nhám trung bình của ba lần đo được so sánh với độ nhám đưa vào mạng ban đầu. Các thông số chế độ cắt và độ nhám bề mặt được thể hiện ở bảng 4. Kết quả nghiên cứu đã

tim ra được cấu trúc mạng có khả năng tiên đoán tương đối chính xác với độ sai lệch của chế độ cắt nhỏ nhất là 2,4% và lớn nhất là 10,9%, trung bình 5% áp dụng với quá trình phay mặt phẳng với thép SKD61, xác định được trọng số và ngưỡng của mạng làm cơ sở cho việc tiên đoán số vòng quay trục chính và lượng chạy dao mm/phút.

**Bảng 4:** Dữ liệu kiểm nghiệm mạng thần kinh nhân tạo

Mẫu	Chiều sâu cắt $a_p$ (mm)	Độ nhám $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Đường kính dao $D_c$ (mm)	Tiên đoán $n$	Tiên đoán $v_f$	$R_a$ kiểm nghiệm ( $\mu\text{m}$ )
A1	0,6	0,40	50	1493	1253	0,438
A2	0,5	1,05	63	1084	1456	0,988
A3	0,6	0,80	50	642	694	0,831
A4	0,5	0,55	63	883	814	0,492
A5	0,4	0,95	50	1298	2595	0,874
A6	0,4	0,25	63	944	454	0,220
A7	0,5	1,15	50	1122	2246	1,037
A8	0,7	0,80	63	1174	1727	0,825



**Hình 8:** So sánh giữa độ nhám bề mặt huấn luyện và kiểm nghiệm



Độ chính xác giữa độ nhám bề mặt kỳ vọng và thực tế khá cao. Tuy nhiên, có một số nguyên nhân khiến độ chính xác không ổn định: độ chính xác của máy, độ đồng đều của vật liệu gia công, quá trình mòn dao, nhiệt độ cắt, rung động của hệ thống công nghệ là một hàm phi tuyến. Để nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng của các hàm phi tuyến đó tới độ chính xác gia công và độ nhám bề mặt cần có nghiên cứu sâu và tốn kém hơn. Ưu điểm ứng dụng của mạng vào nghiên cứu cắt gọt chính là bỏ qua biến phi tuyến và được huấn luyện thông qua tập dữ liệu thực nghiệm. Một khó khăn nữa là độ lớn của tập dữ liệu, việc huấn luyện mạng sẽ trở nên khó khăn nếu sử dụng tập dữ liệu có càng nhiều giá trị đầu vào và ra nên việc lựa chọn những tham số cho việc huấn luyện là không dễ dàng.

Việc áp dụng mạng nơron vào việc nghiên cứu thông số quá trình phay có thể thực hiện được tốt nếu có điều kiện

về trang thiết bị và cơ sở vật chất, ta hoàn toàn có thể ứng dụng mạng với các yếu tố ảnh hưởng khác với các loại vật liệu phôi và dao để xác định thông số chế độ cắt hợp lý nhằm đạt được chất lượng bề mặt theo từng yêu cầu cụ thể. Việc sử dụng mạng nơron như một công cụ chọn được chế độ cắt khi phay mặt phẳng bằng dao phay mặt đầu trên máy CNC ba trục sao cho đạt độ bóng bề mặt mong muốn khi phay tinh mặt phẳng thép SKD61 là khả thi. Nghiên cứu có thể được phát triển theo hướng ứng dụng mạng dự đoán các thông số khác nhau với nhiều yếu tố ảnh hưởng hơn như sử dụng nhiều loại mảnh chấp và đa dạng vật liệu gia công. Ngoài ra, có thể áp dụng mạng nơron đối với các quá trình gia công biên dạng phức tạp khác để ứng dụng tốt hơn trong thực tế nhằm giảm thời gian lựa chọn chế độ cắt, tối ưu hoá quá trình gia công, tăng tuổi bền dao và nâng cao hiệu quả kinh tế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Trường Thịnh, Yang Young Soo, Bae Kang Yul, Choi Sung Nam (2009), *Prediction of deformation of steel plate by artificial neural network in forming process with induction heating*, Journal of Mechanical Science and Technology, 23: 1211 – 1221
2. Hasan Oktem, Tuncay Erzurumlu, Fehmi Erzincanli (2006), *Prediction of minimum surface roughness in end milling mold parts using neural network and genetic algorithm*, Material and Design, 27: 735 – 744
3. Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội (2006), *Cơ sở công nghệ chế tạo máy*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật
4. Nguyễn Đắc Lộc, Lê Văn Tiến, Ninh Đức Tôn, Trần Xuân Việt (2006), *Sổ tay công nghệ chế tạo máy tập 2*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật
5. Mitsubishi General Catalogue (2009)
6. Martin T. Hagan, Howard B. Demuth, Mark Baele (2002), *Neural network design*, China Machine Press
7. Nguyễn Như Hiền, Lại Khắc Lãi (2007), *Hệ mờ và nơron trong kỹ thuật điều khiển*, Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ

**RESEARCH ON THE APPLICATION OF NEURAL NETWORK TO  
DETERMINE THE CUTTING PARAMETERS OF THE FACING  
OPERATION ON 3-AXIS MILLING MACHINE BY USING TiAlN COATED  
FOR SKD61 STEEL SHEET**

**ABSTRACT**

*Surface milling is one of the most important and common operations in metal milling and cutting. In the detailed quality evaluation criteria, surface roughness is one of the important requirements, and it depends on many factors in the cutting process. Choosing the right cutting mode for each task can be time-consuming for an engineer and can increase costs. Neural networks can predict cutting mode parameters in a specific process, such as milling with a specified material. To build a suitable network structure for each job, it is necessary to have the experimental results to build the training data set. The network training process uses a backpropagation algorithm with experimental data sets whose input values are cutting depth, surface roughness, and milling cutter diameter, intending to find the most suitable network structure as a predictor of the output values of spindle rotation and feed rate per minute. Experimented on a three-axis CNC milling machine, using a TiAlN coated hard alloy flake-mounted flatbed milling machine to finish the SKD61 steel plane. The results of comparing the actual surface roughness with the desired surface roughness show that the neural network can be used to predict the spindle value and minute feed rate, thereby developing broader studies of neural network for cutting on CNC machines.*

**Keywords:** *CNC milling machine, neural network, back propagation algorithm, cutting mode*

(Received: 2/2/2021, Revised: 13/11/2021, Accepted for publication: 17/12/2021)