

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

**NGUYỄN TÀI HOÀI THANH**

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO TUỔI BỀN DAO  
PHAY CẦU KHI GIA CÔNG TRÊN MÁY PHAY CNC 5 TRỤC**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số: 9.52.01.03

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI – NĂM 2022**

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI**  
**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ - BỘ QUỐC PHÒNG**

---

**Người hướng dẫn khoa học:**

TS Hồ Việt Hải

**Phản biện 1:**

GS. TS Trần Văn Địch – Trường Đại Học Bách Khoa Hà Nội

**Phản biện 2:**

PGS. TS Hoàng Văn Gọt – Viện Nghiên Cứu Cơ Khí / Bộ Công Thương

**Phản biện 3:**

PGS. TS Trần Ngọc Hiền – Trường Đại Học Giao Thông Vận Tải

**Có thể tìm hiểu luận án tại:**

- Thư viện trường: Học viện Kỹ thuật Quân sự
- Thư viện Quốc gia

## A. GIỚI THIỆU LUẬN ÁN

### 1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Ngày nay việc sử dụng các trung tâm gia công phay CNC trong gia công cắt gọt rất phổ biến do khả năng công nghệ của máy, đặc biệt là các máy CNC nhiều trục (4, 5 trục). Dao phay cầu thường được sử dụng khi gia công tinh những chi tiết có bề mặt phức tạp trên máy CNC nhiều trục, nhưng do đặc điểm lưỡi cắt có dạng cung tròn nên vùng tiếp xúc trực tiếp giữa lưỡi cắt và bề mặt phôi gia công thường chỉ xảy ra tại một phần cung cắt hữu dụng, nên mòn dao chỉ xảy ra cục bộ tại vùng tiếp xúc. Có một giải pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc trên dao phay cầu đã được nghiên cứu cho kết quả cải thiện được tuổi bền đáng kể. Thực chất của giải pháp này là sử dụng các đoạn lưỡi cắt khác nhau để cắt các phần bề mặt của phôi và chủ động dịch chuyển sang đoạn lưỡi cắt khác khi đạt chiều dài cắt cho phép lớn nhất.

Ngày nay với sự phát triển của khoa học máy tính cho phép ứng dụng trí tuệ nhân tạo giúp cho thực hiện những bài toán dự đoán chính xác hơn, cùng với sự ra đời các phần mềm CAD/CAM hiện đại giúp cho việc nghiên cứu về giải pháp nâng cao tuổi bền dao phay cầu bằng phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc có tính khả thi cao. Vì vậy, đề tài “**Nghiên cứu giải pháp nâng cao tuổi bền của dao phay cầu khi gia công trên máy phay CNC 5 trục**” là rất cần thiết và phù hợp với yêu cầu thực tiễn sản xuất tại Việt Nam.

### 2. Mục đích và nhiệm vụ nghiên cứu của luận án

- Dùng lý thuyết và thực nghiệm chứng minh tính khả thi của phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc đối với dao phay cầu.
- Các công cụ để thực hiện giải pháp nâng cao tuổi bền trong thực tế gia công bằng phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc.

### 3. Đối tượng nghiên cứu của luận án

- Quá trình gia công bằng dao phay cầu trên máy CNC nhiều trục
- Các công cụ dùng để quy hoạch thực nghiệm, dự đoán và phân tích chương trình gia công NC.

### 4. Phạm vi nghiên cứu

- Gia công bằng dao phay cầu trên máy CNC nhiều trục;
- Vật liệu gia công là thép hợp kim sau nhiệt luyện.

## 5. Phương pháp nghiên cứu

Luận án kết hợp phương pháp nghiên cứu tính toán lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm.

## 6. Cấu trúc của luận án

Luận án bao gồm: phần mở đầu, bốn chương, kết luận, tài liệu tham khảo và phụ lục. Nội dung các chương cụ thể như sau:

Chương 1: Trình bày tổng quan về các yếu tố ảnh hưởng đến tuổi bền dao phay cầu khí gia công trên máy phay CNC. Chương 2: Quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phương pháp dự đoán bằng mạng nơ-ron nhân tạo. Chương 3: Giải pháp dịch lưỡi cắt làm việc nhằm nâng cao tuổi bền dao phay cầu trên máy phay CNC nhiều trục. Chương 4: Thực nghiệm khảo sát ảnh hưởng của các thông số chế độ cắt đối với các thông số công nghệ và kiểm chứng giải pháp nâng cao tuổi bền.

# B. NỘI DUNG CHÍNH CỦA LUẬN ÁN

## Chương 1

### TỔNG QUAN VỀ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TUỔI BỀN DAO PHAY CẦU KHÍ GIA CÔNG TRÊN MÁY CNC

Chương này trình bày nội dung tổng quan về đặc điểm dao phay cầu như: đặc điểm hình học đặc biệt của dao phay cầu, các thông số chế độ cắt liên quan đến dao phay cầu. Khái niệm tuổi bền dụng cụ và các phương pháp xác định tuổi bền dụng cụ theo truyền thống cũng như hiện đại, các nghiên cứu về dự đoán tuổi bền. Tham khảo các nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến nội dung đề tài.

#### 1.1. Đặc điểm hình học và chế độ cắt của dao phay cầu

**Đặc điểm hình học:** Dao phay cầu có hai dạng phổ biến: loại liền khối và loại ghép mảnh, sử dụng trong gia công tinh thì đa phần có đường kính nhỏ ( $\leq 10$  mm) và thường được chế tạo dạng liền khối.

**Định hướng dao phay cầu:** góc nghiêng dao có thể phân tích thành hai thành phần: a) dọc theo hướng tiến dao gọi là góc tiếp dẫn  $\theta_f$  (hay là góc dẫn – Lead Angle) và b) vuông góc với hướng tiến dao gọi là góc pháp dẫn  $\theta_n$  (hay là góc lật – Tilt Angle). Tùy giá trị của  $\theta_f$  và  $\theta_n$  mà dao phay cầu sẽ có định hướng khác nhau.

**Vận tốc cắt:** dao phay cầu không dễ tính toán vận tốc cắt vì điểm cắt trên lưỡi cắt cong của dao luôn thay đổi. Do đó có 3 trường hợp định hướng dao mà xác định đường kính cắt hiệu dụng phục vụ tính vận tốc cắt cho dao phay cầu: trục dao vuông góc bề mặt gia công, trục nghiêng hướng tiến dao và trục nghiêng vuông góc hướng tiến dao.

**Chất lượng bề mặt:** Có thể thiết lập công thức tính giá trị sai lệch trung bình  $R_a$  bằng toán học. Giá trị nhám bề mặt gia công bằng dao phay cầu chỉ phụ thuộc vào bán kính  $R$  và khoảng dịch dao  $a_e$  (giới hạn lớn nhất  $a_e = 2R$ ) và không phụ thuộc vào chiều sâu cắt  $a_p$ .

**Năng suất gia công:** được thể hiện bằng thể tích kim loại (hay khối lượng) bóc tách ra khỏi chi tiết gia công được trong một đơn vị thời gian ( $mm^3/phút$ ). Gọi là tốc độ bóc tách vật liệu là một hàm phụ thuộc  $MRR(a_e, a_p, f, R)$ , với  $f$  là tốc độ tiến dao ( $mm/phút$ ).

## 1.2. Tuổi bền dụng cụ và các yếu tố ảnh hưởng

### 1.2.1 Sự mòn dụng cụ

Tổ chức Tiêu chuẩn hóa Quốc tế ISO quy định tiêu chuẩn kiểm tra tuổi bền dụng cụ là ISO 8688-2/1989 đối với dao phay. Tiêu chuẩn Việt Nam quy định TCVN 11258:2015 “Thử nghiệm tuổi thọ dao tiện một lưỡi cắt” hoàn toàn tương đương ISO 3685:1993. các dạng mòn chính và phân bố trên lưỡi cắt dao phay là: Mòn mặt sau (flank wear), mòn mặt trước, vỡ lưỡi cắt, bong tróc, phá hủy khốc liệt.

### 1.2.2 Tuổi bền dụng cụ

Tuổi bền dụng cụ được định nghĩa như sau: “Tuổi bền là khoảng thời gian, đơn vị tính bằng phút, trong đó lưỡi cắt bị ảnh hưởng bởi quy trình cắt, vẫn duy trì khả năng cắt giữa các lần mài lại. Lưỡi cắt vẫn hoạt động cho đến khi một lượng mòn nhất định đạt đến”.

### 1.2.3 Các yếu tố ảnh hưởng đến tuổi bền dụng cụ

- **Vận tốc cắt:** là thông số ảnh hưởng chính đến tuổi bền, có mối quan hệ hàm mũ, tuổi bền giảm mạnh khi vận tốc cắt tăng.
- **Lượng tiến dao:** mức độ ảnh hưởng nhỏ hơn, vận tốc cắt lớn thì ảnh hưởng lượng tiến dao càng mạnh.
- **Chiều sâu cắt:** có ảnh hưởng nhỏ nhất đến tuổi bền.
- **Định hướng dao:** có ảnh hưởng đến tuổi bền do định hướng liên quan đến thay đổi vận tốc cắt, lực cắt, rung động...

- **Giá trị góc nghiêng:** Cắt tại đỉnh thì vận tốc cắt bằng “không” làm lưỡi cắt nhanh chóng mòn, góc nghiêng lớn làm giảm chất lượng bề mặt do lực cắt lớn, biến dạng và nhiệt cắt lớn.

### 1.2.4 Các phương pháp xác định tuổi bền

Có hai phương pháp xác định trực tiếp và gián tiếp. Phương pháp trực tiếp: sử dụng các hệ thống quang học đo lượng mòn lưỡi cắt mặt sau hoặc mặt trước. Giám sát tình trạng dụng cụ (Tool condition monitoring - TCM) được dùng như một phương pháp gia công “không người giám sát”. Phương pháp gián tiếp: phân tích tín hiệu phát xạ âm thanh (Acoustic Emission - AE), thông qua lực cắt, thông qua mô men xoắn trục chính, thông qua công suất trục chính, giá trị nhám bề mặt...

### 1.3. Các nghiên cứu trong nước và ngoài nước

#### Kết luận chương 1

- Dao phay cầu có thể định hướng chuyển động theo nhiều cách khác nhau, làm cơ sở tính toán vận tốc cắt hiệu dụng – một thông số ảnh hưởng chính đến tuổi bền. Thông số định hướng dao và góc nghiêng dao cũng có ảnh hưởng đến tuổi bền dao phay cầu.
- Nhiều chỉ tiêu để xác định tuổi bền dụng cụ, trong đó lượng mòn mặt sau được sử dụng phổ biến và cho độ chính xác cao. Tuổi bền có thể được xác định bằng phương pháp trực tiếp hoặc gián tiếp.
- Các nghiên cứu trong và ngoài nước ít đề cập về phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc để nâng cao tuổi bền dao phay cầu, làm cơ sở cho luận án tiếp tục tiếp cận phương pháp này.

#### Chương 2

### QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM TAGUCHI VÀ PHƯƠNG PHÁP DỰ ĐOÁN BẰNG MẠNG NƠ-RON NHÂN TẠO

#### 2.1. Quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phân tích phương sai ANOVA

**Quy hoạch thực nghiệm Taguchi:** được thiết kế để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố chính và các yếu tố nhiễu tác động làm sai lệch kết quả mong muốn đầu ra. Bản chất của quá trình thu nhận được các giá trị đầu ra quan tâm bị ảnh hưởng bởi nhiễu nên giá trị đầu ra thực  $y_i$  phân bố xung quanh giá trị trung bình  $y_b$  với một độ phân tán

$\sigma$ . Theo phương pháp Taguchi, giá trị tính toán cho thông số đầu ra quan tâm được thay thế bằng tỷ số  $S/N$ . Taguchi đã chuyển đổi hàm tổn thất truyền thống thành tỷ số  $S/N$ , đó là sự kết hợp của mức độ trung bình của đặc tính chất lượng và phương sai thành một thước đo duy nhất. Tỷ số này củng cố các kết quả thí nghiệm lặp lại thành một giá trị duy nhất, giá trị tỷ số càng cao thì càng thể hiện giá trị tối ưu của chất lượng với biến động nhỏ nhất.

**Phân tích phương sai ANOVA:** là một kỹ thuật thống kê cho phép định lượng ảnh hưởng tương đối của các yếu tố và tầm quan trọng của chúng tới hàm mục tiêu, nó được sử dụng để phân tích mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến hàm mục tiêu. Sử dụng phương pháp phân tích phương sai để xác định ảnh hưởng của các biến độc lập đối với biến phụ thuộc trong nghiên cứu hồi quy.

## 2.2. Các phương pháp dự đoán trong lĩnh vực gia công cơ khí

### 2.2.1 Các mô hình dự đoán

Mô hình dự đoán (prediction modeling) là một kỹ thuật thống kê thường được sử dụng để dự đoán hành vi trong tương lai. Các mô hình được chia thành ba loại: mô hình thực nghiệm (experimental models), mô hình phân tích (analytical models) và mô hình cơ sở Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligent-AI). Các mô hình phân tích và mô hình thực nghiệm có thể phát triển bằng cách sử dụng các phương pháp tiếp cận thông thường như kỹ thuật hồi quy (Regression technique). Trong khi, các mô hình dựa trên AI được phát triển bằng cách sử dụng các phương pháp tiếp cận phi truyền thống như mạng nơ-ron nhân tạo.

### 2.2.2 Dự đoán tuổi bền dụng cụ

Trong gia công cắt gọt, việc phát hiện được diễn biến của mòn dao cắt trước khi bị phá hủy là rất quan trọng vì nó gây ra các vết gãy của dụng cụ cắt ảnh hưởng đến độ chính xác của chi tiết gia công và thời gian gia công, giảm thời gian dừng không của máy. Trước đây, người ta áp dụng phương pháp kiểm tra tuổi bền nhanh bằng công thức Taylor, xác định tuổi thọ của dao bằng hồi quy tuyến tính. Giai đoạn sau, các mô hình dự đoán bằng trí tuệ nhân tạo, phổ biến là mô hình mạng truyền thẳng lan truyền ngược, được phát triển cho mô hình dự đoán tuổi bền dụng cụ nhằm nâng cao độ chính xác dự đoán.

### 2.2.2 Dự đoán chất lượng bề mặt gia công

Chất lượng bề mặt chi tiết là một chỉ tiêu rất quan trọng đối với quá trình gia công, nhất là ở giai đoạn gia công tinh. Vì vậy rất nhiều nghiên cứu đề cập đến xây dựng mô hình dự đoán độ nhám bề mặt sử dụng kỹ thuật mạng nơ-ron nhân tạo, đạt độ chính xác dự đoán ngày càng hoàn thiện. Các mô hình dự đoán được xây dựng khá đa dạng với nhiều thông số đầu vào khác nhau nhằm đánh giá ảnh hưởng đến thông số đầu ra là giá trị nhám bề mặt.

### 2.2.3 Dự đoán lực cắt khi phay

Mô hình mạng nơ-ron nhân tạo sử dụng mô hình mạng FFBP rất phổ biến trong dự đoán lực cắt. Một số nghiên cứu đã kết hợp ANN và DOE (Design of Experiments – DOE) để tăng hiệu quả trong hệ thống bởi giảm số thí nghiệm cần thiết cho huấn luyện. Các bộ điều khiển lực cắt dùng trong điều khiển thích nghi cũng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo và lượng tiến dao sẽ được hiệu chỉnh trực tuyến nhằm giảm thiểu mòn dao nhưng vẫn duy trì năng suất gia công.

## 2.3. Mạng nơ-ron nhân tạo trong bài toán dự đoán

### 2.3.1 Mạng nơ-ron nhân tạo

#### 2.3.2 Mô hình mạng nơ-ron truyền thẳng đa lớp

Các nơ-ron được tổ chức theo lớp, không có kết nối giữa các nơ-ron cùng lớp và kết nối chỉ tồn tại giữa hai lớp liên tiếp. Hàm kích hoạt thường dùng là Sigmoid. Đặc tính của hàm rất giống các mối quan hệ vào/ra của nơ-ron sinh học và rất được đánh giá cao luyện.

Hàm kích hoạt Xích-ma được biểu diễn theo công thức (2.17) sau:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (2.17)$$

trong đó hằng số  $\lambda > 0$  xác định độ dốc của đường cong Xích-ma.

#### 2.3.3. Huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo

Huấn luyện mạng nơ-ron là quá trình đi tìm giá trị các trọng số kết nối cho các liên kết của mỗi nơ-ron, quá trình này gọi là huấn luyện mạng. Có nhiều thuật toán huấn luyện lan truyền ngược như phương pháp xuống dốc (gradient descent), thuật toán truyền ngược co giãn (resilient backpropagation) hoặc thuật toán Levenberg-Marquardt.

Dữ liệu dùng cho huấn luyện được chia thành ba nhóm:



- Nhóm huấn luyện (training) sẽ cung cấp cho mạng nơ-ron nhân tạo thông tin xử lý cần thiết để học từ quá trình;
- Nhóm thẩm định (validation) phục vụ như một người đánh giá mô hình. Một số mô hình huấn luyện, nhóm thẩm định có thể không có, mà sử dụng chính dữ liệu huấn luyện để thẩm định;
- Nhóm kiểm tra (test) là những dữ liệu bổ sung dùng kiểm tra tính đúng đắn cuối cùng của mô hình.

#### **2.3.4. Các thuật toán huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo**

- Thuật toán học perceptron: sử dụng với một lớp mạng hoạt động, ở đây mỗi nơ-ron có hàm hoạt động là hàm ngưỡng.
- Thuật toán học luật Delta: là bước phát triển tiếp học perceptron.
- Thuật toán học lan truyền ngược: có khả năng huấn luyện cho mạng đa lớp, ứng dụng cho: bài toán xấp xỉ, dự đoán, nhận dạng...
- Thuật toán học SOM: phát triển bởi Kohonen và được xem là loại phổ biến nhất trong các thuật toán học không giám sát.
- Thuật toán học mạng mềm (Elastic Network Learning): như thuật toán học SOM, mạng tổ chức dạng vòng.

#### **2.4.5 Ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo trong bài toán dự đoán**

Nhiều phương pháp dự đoán đã được nghiên cứu dựa trên nhiều mô hình: mô hình thực nghiệm, mô hình phân tích và mô hình cơ sở trí tuệ nhân tạo. Mô hình thực nghiệm và mô hình phân tích cũng đạt được một số thành công nhất định đáng ghi nhận. Tuy nhiên có một phương pháp dự đoán đủ tốt và đáp ứng được các yêu cầu thực tế là mạng nơ-ron nhân tạo. Về lý thuyết, mạng nơ-ron nhân tạo tương đối độc lập với bản chất của các quá trình vật lý cần phân loại và dự đoán. Giải bài toán bằng mạng nơ-ron nhân tạo phải thực hiện các bước: thu thập dữ liệu mẫu, tiền xử lý dữ liệu, xác định thông số mạng và huấn luyện, do đó dễ dàng tổng quát hóa và xây dựng phần mềm tính toán.

#### **Kết luận chương 2**

- Phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi và phân tích phương sai ANOVA xác định mức độ ảnh hưởng của chế độ cắt đến các yếu tố đầu ra, làm cơ sở lựa chọn thông số chế độ cắt tối ưu nhằm đạt giá trị mục tiêu tốt nhất.
- Có nhiều phương pháp dự đoán được sử dụng, có thể phân chia thành: phương pháp tiếp cận thông thường bằng kỹ thuật hồi quy

và phương pháp mới bằng trí tuệ nhân tạo. Mạng nơ-ron nhân tạo dùng cho bài toán dự đoán ngày càng phổ biến, đạt độ chính xác và hiệu quả hơn so với các mô hình truyền thống.

- Mạng nơ-ron truyền thẳng đa lớp được nghiên cứu làm cơ sở: xây dựng công cụ dự đoán - một bộ phận quan trọng trong giải pháp nâng cao tuổi bền dụng cụ.

### Chương 3

## **GIẢI PHÁP DỊCH ĐOẠN LƯỠI CẮT LÀM VIỆC NHẪM NÂNG CAO TUỔI BỀN DAO PHAY CẦU GIA CÔNG TRÊN MÁY PHAY CNC NHIỀU TRỤC**

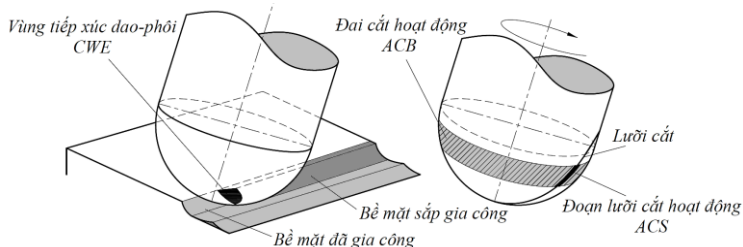
Nội dung chương này trình bày đặc điểm gia công của dao phay cầu từ đó phân tích ứng dụng phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc nhằm nâng cao tuổi bền dao phay cầu.

### **3.1. Đặc điểm gia công dao phay cầu trên máy CNC nhiều trục**

#### **3.1.1. Hệ thống máy CNC nhiều trục**

#### **3.1.2. Vùng tiếp xúc dao-phôi của dao phay cầu**

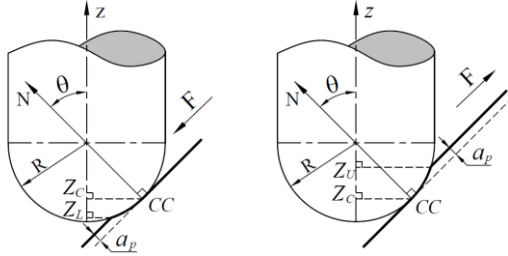
Khi dao phay cầu chuyển động theo đường chạy dao lập trình thì dụng cụ cắt (đúng hơn là lưỡi cắt) sẽ tiếp xúc với vật liệu gia công trên một vùng gọi là vùng tiếp xúc dao-phôi (Cutter-Workpiece Engagement - CWE) (hình 3.2). Nếu chỉ xem xét trên một lưỡi cắt của dao phay cầu, trong một thời điểm phân lưỡi cắt (trên một lưỡi cắt) đi vào trong vùng tiếp xúc dao-phôi gọi là đoạn lưỡi cắt làm việc (Active Cutting Segment - ACS). Khi gia công, dụng cụ quay quanh trục của nó thì đoạn lưỡi cắt làm việc sẽ quét thành hình đai được gọi là đai cắt làm việc (Active Cutting Belt - ACB).



Hình 3.2 Vùng tiếp xúc dao-phôi và đoạn lưỡi cắt làm việc

Điểm tiếp xúc dao cắt là một điểm nằm trên lưỡi cắt mà pháp tuyến bề mặt gia công đi qua điểm tâm mặt cầu đối với dao phay cầu, có cao

độ  $z_C$  chiều lên trục dao (hình 3.3). Ngoài ra cũng xác định được  $z_L$  là cao độ điểm tiếp xúc giới hạn dưới khi dao cắt đi xuống và  $z_U$  là cao độ điểm tiếp xúc giới hạn trên khi dao cắt đi lên. Khi đã biết giá trị góc nghiêng  $\theta$  và chiều sâu cắt  $a_p$ , đoạn lưỡi cắt làm việc ACS có thể được xác định bởi giới hạn giữa điểm  $z_C$  và  $z_U$  đối với chiều tiến dao lên hoặc  $z_C$  và  $z_L$  đối với chiều tiến dao đi xuống.



Hình 3.3 Vị trí các điểm tiếp xúc khi cắt nghiêng trục dao phay cầu

Khi góc nghiêng trục dao thay đổi thì kích thước đoạn lưỡi cắt làm việc cũng thay đổi tương ứng từ đỉnh đến phần thân trụ của dao cầu. Nghiên cứu vùng tiếp xúc dao-phôi có nhiều lợi ích: phục vụ tính toán lực cắt hoặc lên biểu đồ tốc độ tiến dao cho hoạt động phay.

### 3.1.3. Điều kiện cắt của đai cắt làm việc

Nếu gọi chiều dài cắt cho phép lớn nhất MACL (Maximally Allowed Cutting Length) của mỗi đai cắt làm việc là  $l_{max}$  thì tổng chiều dài cắt cho phép lớn nhất  $L_{max}$  của toàn bộ lưỡi cắt được tính theo công thức (3.2) như sau:

$$L_{max} = \sum_{j=1}^{n_{ACB}} l_{maxj} \quad (3.2)$$

trong đó:  $n_{ACB}$  là số lượng đai cắt làm việc có thể phân chia được trên phần lưỡi cắt có thể gia công được của dao phay cầu.

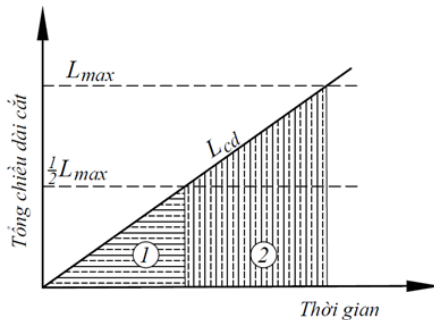
Nếu gọi chiều dài chạy dao của đoạn lưỡi cắt làm việc là  $l_{cd}$ . Khi thực hiện gia công, dụng cụ cắt được điều khiển chạy theo đường chạy dao của chương trình NC, thì tổng chiều dài chạy dao theo chương trình gia công được xác định bằng công thức (3.3):

$$L_{cd} = \sum_{j=1}^{n_{ACB}} l_{cdj} \quad (3.3)$$

Xét trên một đai cắt làm việc thì  $l_{max}$  ứng với một giá trị góc nghiêng dao  $\theta$  nhất định, điều kiện để đoạn lưỡi cắt đó có thể làm việc tiếp là  $l_{cd} < l_{max}$ . Sau khi gia công xong toàn bộ chi tiết mà chiều dài chạy dao  $l_{cd}$  của đai cắt chưa đạt đến  $l_{max}$  của nó thì có thể tiếp tục gia công cho chi tiết tiếp theo. Trong quá trình gia công nếu chiều dài đường chạy dao  $l_{cd}$  đạt đến giới hạn  $l_{max}$  tức là đạt đến ngưỡng chiều dài cắt cho phép của đai cắt làm việc hiện tại thì phải chuyển sang đai cắt làm việc khác còn cho phép. Nếu tất cả các đai cắt làm việc đã đạt đến ngưỡng cho phép của chúng thì cần thiết phải thay dao cắt mới.

Tổng chiều dài cắt cho phép  $L_{max}$  của dao cắt được xác định dựa trên MACL của từng đoạn lưỡi cắt làm việc  $l_{max}$ ; theo công thức (3.2), và chiều dài chạy dao gia công  $L_{cd}$  theo công thức 3.3. Tỷ số  $\frac{L_{cd}}{L_{max}}$  được thể hiện dạng đồ thị như trên hình 3.5 được chia làm 2 vùng:

- 1) Khi  $L_{cd} \leq \frac{1}{2}L_{max}$  thì dụng cụ cắt chắc chắn được sử dụng để gia công chi tiết tiếp theo.
- 2) Khi  $\frac{1}{2}L_{max} \leq L_{cd} \leq L_{max}$  thì có thể tiếp tục gia công đến khi đạt MACL  $L_{max}$  mới thay dao mới hoặc thay luôn dao mới nếu không cho phép trong quá trình gia công.



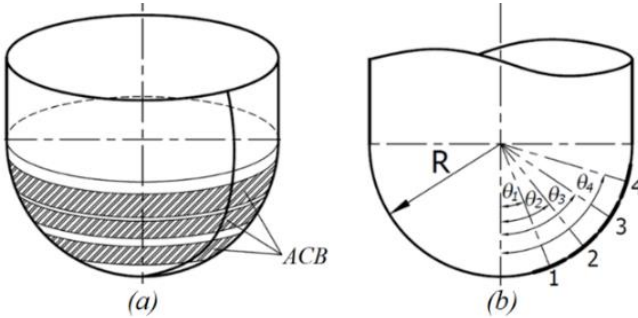
Hình 3.5 Tỷ số chiều dài chạy dao và chiều dài cắt cho phép lớn nhất

Số lượng chi tiết  $N_{ct}$  được gia công bằng một dao phay cầu tính theo công thức **Error! Reference source not found.** như sau:

$$N_{ct} = \frac{L_{max}}{L_{cd}} \quad (3.5)$$

### 3.1.3. Dịch lưỡi cắt làm việc của dao phay cầu

Đai cắt làm việc ACB được phân bố từ đỉnh dao cho đến phần thân trụ dao theo từng đoạn liên tiếp nhau (hình 3.6-a). Mỗi đai cắt làm việc sẽ ứng với cao độ  $z$  nhất định (một giá trị góc nghiêng dao nhất định) và có giới hạn ngưỡng chiều dài cắt cho phép lớn nhất là  $l_{max}(z)$ . Khi chiều dài chạy dao gia công tại điểm đó đạt đến ngưỡng  $l_{max}(z)$  thì sẽ thay đổi góc nghiêng để chuyển sang đai cắt làm việc khác nhằm tránh hiện tượng vượt quá lượng mòn cho phép gây ra sai số gia công. Quá trình này cứ tiếp diễn cho đến khi toàn bộ lưỡi cắt của dao được tham gia cắt hoặc toàn bộ đường chạy gia công đã hoàn thành.



Hình 3.6 Sắp xếp các đoạn lưỡi cắt làm việc trên lưỡi cắt

Các đoạn lưỡi cắt làm việc được dịch chuyển liên tục trong quá trình gia công gọi là phương pháp “dịch lưỡi cắt làm việc” (Active cutting edge shifting - ACES) - là phương pháp được đề cập trong một số nghiên cứu và đã được kiểm chứng tính hiệu quả rất ưu việt. Dịch lưỡi cắt làm việc cần tránh vị trí cắt tại đỉnh dao, vì vận tốc cắt tại đỉnh dao rất thấp (gần bằng “0”) sẽ làm tăng lực cắt và độ nhám bề mặt.

Cần xác định giá trị chiều dài cắt cho phép lớn nhất  $l_{max}(z)$  của mỗi đai cắt làm việc ACB. Có thể tính toán bằng công thức Taylor nếu biết giá trị các hằng số phụ thuộc hoặc sử dụng công cụ dự đoán bằng trí tuệ nhân tạo đã được sử dụng phổ biến.

### 3.2. Dữ liệu vị trí dao cắt trong chương trình gia công CNC

### 3.3. Đề xuất một giải pháp nâng cao tuổi bền dao phay cầu

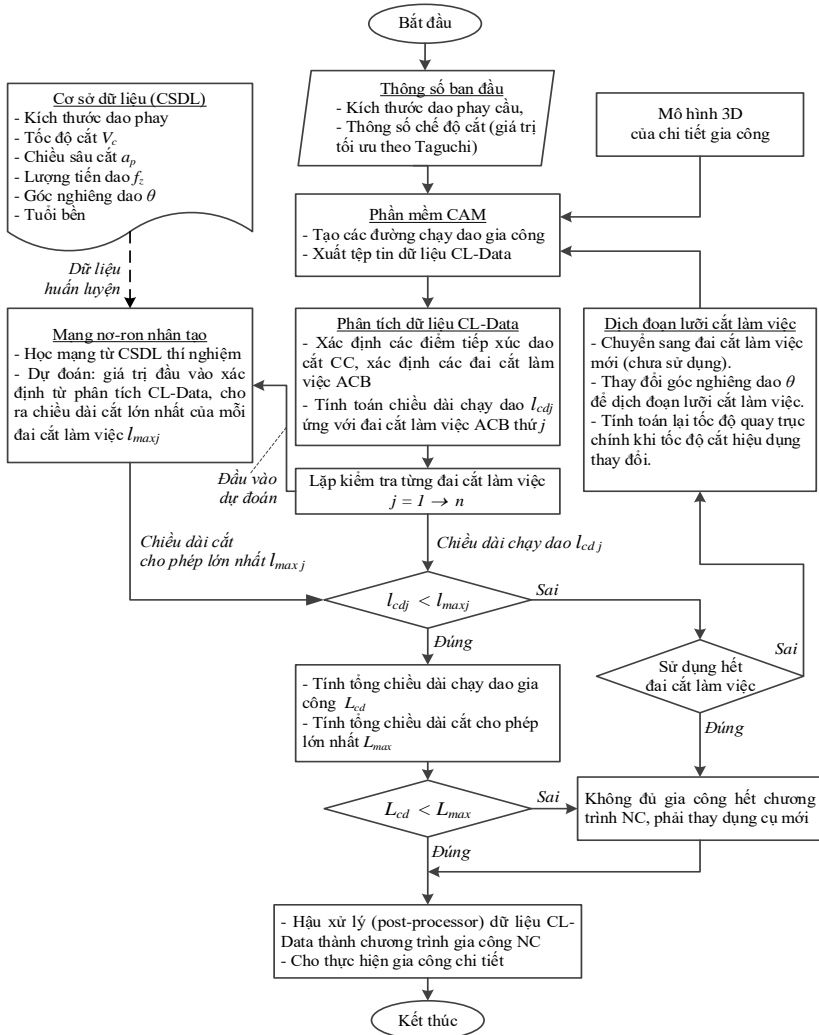
Qua những cơ sở lý thuyết đã được nghiên cứu trong luận án, để xây dựng được một giải pháp nâng cao tuổi bền của dao phay cầu khi

gia công tinh bằng máy phay CNC năm trục theo phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc cần tiến hành theo các bước sau:

1. Xây dựng cơ sở dữ liệu từ sổ tay tra cứu công nghệ, thông số công bố của nhà sản xuất, hoặc từ thí nghiệm tuổi bền theo các thông số công nghệ trong điều kiện gia công cụ thể. Tuổi bền dụng cụ được xác định thông qua chiều dài cắt cho phép lớn nhất (MACL)  $l_{max}$  tại các điểm thí nghiệm rời rạc trên lưỡi cắt.
2. Xây dựng bộ công cụ dự đoán chiều dài cắt cho phép lớn nhất  $l_{max}$  tại điểm bất kỳ trên lưỡi cắt ứng với thông số gia công cụ thể bằng mạng nơ-ron nhân tạo.
3. Từ dữ liệu CL Data, phân tích và xác định đai cắt làm việc ACB. Sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo để dự đoán chiều dài cắt cho phép lớn nhất  $l_{max}$ , tính toán điều kiện  $l_{cd} \leq l_{max}$  cho từng đai cắt làm việc. Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì cần thay đổi định hướng dao phay cầu trên phần mềm CAM để tạo chương trình gia công mới, lặp lại quá trình tính toán điều kiện  $l_{cd} \leq l_{max}$  của từng đai cắt làm việc sao cho thỏa mãn, nếu không thì phải thay thế dao cắt mới.
4. Tính tổng chiều dài cắt cho phép lớn nhất  $L_{max}$  và tổng chiều dài chạy dao gia công  $L_{cd}$  của toàn bộ lưỡi cắt, tỷ số  $L_{cd}/L_{max}$  làm điều kiện xem xét dao cắt hiện tại có thể tiếp tục gia công hay phải thay thế dao cắt mới.

Các bước thực hiện giải pháp nâng cao tuổi bền dao phay cầu được trình bày theo sơ đồ khối như hình 3.9.

Phần mềm CAM tạo ra các đường chạy dao gia công và đồng thời xuất dữ liệu CL-Data làm cơ sở để phân tích thành các đai cắt làm việc. Chiều dài cắt cho phép lớn nhất  $l_{max}$  (dự đoán từ mạng nơ-ron nhân tạo) được so sánh với chiều dài chạy dao  $l_{cd}$  (tính toán từ phần mềm CAM) của từng đai cắt làm việc, nếu  $l_{cd} > l_{max}$  nghĩa là mòn dao sẽ vượt giới hạn cho phép, như vậy với quãng đường vượt quá đó cần thay bằng đoạn lưỡi cắt làm việc khác khi mà chiều dài cắt của nó chưa vượt ngưỡng cho phép theo dự đoán. Một số đoạn đai cắt làm việc tham gia nhiều vào quá trình cắt dẫn tới mòn không đều trên toàn bộ lưỡi cắt thì cũng cần phân bổ lại chiều dài tham gia cắt của các đoạn lưỡi cắt để cho lượng mòn được phân bố đều trên toàn bộ lưỡi cắt.



Hình 3.9 Sơ đồ khối trình tự thực hiện nâng cao tuổi bền dao phay cầu

### 3.4. Phần mềm hỗ trợ giải pháp nâng cao tuổi bền dụng cụ

Phần mềm CTMSoft tích hợp các chức năng độc lập như: quy hoạch thực nghiệm (đầu vào là các thông số chế độ cắt, đầu ra là tuổi bền, nhám bề mặt hoặc tốc độ bóc tách vật liệu), mạng nơ-ron nhân tạo (đầu vào dự đoán là giá trị thông số chế độ cắt, đầu ra là tuổi bền tính

theo chiều dài cắt), phân tích dữ liệu tệp tin CLS để xác định đai cắt làm việc và chiều dài chạy dao tương ứng. Phần mềm được đặt tên là CTMSoft, ngôn ngữ lập trình phần mềm là Microsoft Visual C# cho phép tạo giao diện làm việc trực quan và mạnh mẽ trong tính toán số học. Các mô đun phần mềm được tổ chức theo từng cửa sổ riêng biệt, nhưng sẽ được liên kết dữ liệu dùng chung, các mô đun cụ thể như sau:

1. Mô đun Quản lý dữ liệu: quản lý các dữ liệu thống nhất;
2. Mô đun Quy hoạch thực nghiệm: theo phương pháp Taguchi và phân tích phương sai ANOVA;
3. Mô đun Mạng nơ-ron nhân tạo: Huấn luyện mạng và dự đoán các thông số đầu ra mong muốn;
4. Mô đun Phân tích dữ liệu vị trí dao cắt từ tệp tin CLS: phân tích chương trình gia công NC xác định đai cắt làm việc và chiều dài chạy dao của từng đai cắt làm việc, làm cơ sở dịch đoạn lưỡi cắt làm việc.

### **Kết luận chương 3**

- Từ đặc điểm gia công dao phay cầu cho thấy có thể thực hiện dịch đoạn lưỡi cắt làm việc bằng cách thay đổi góc nghiêng dao.
- Dữ liệu vị trí dao CL-Data từ phần mềm CAM là cơ sở tính chiều dài chạy dao của đai cắt làm việc trong một chương trình gia công NC. Chiều dài cắt cho phép lớn nhất của đai cắt làm việc được dự đoán bằng mạng nơ-ron nhân tạo.
- Phân bố lại đai cắt làm việc bằng cách dịch đoạn lưỡi cắt làm việc để thỏa mãn chiều dài chạy dao không vượt quá chiều dài cắt cho phép lớn nhất của đai cắt làm việc, sẽ làm lượng mòn được phân bố đều trên lưỡi cắt, nâng cao tuổi bền của dao phay cầu.
- Phần mềm CTMSoft hỗ trợ giải pháp nâng cao tuổi bền dụng cụ được viết bằng ngôn ngữ lập trình Visual C# với các mô đun chức năng cho phép giải quyết các bài toán đặt ra của luận án.



## Chương 4

# THỰC NGHIỆM KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT VỚI CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ VÀ KIỂM CHỨNG GIẢI PHÁP NÂNG CAO TUỔI BỀN DỤNG CỤ

### 4.1. Khảo sát ảnh hưởng chế độ cắt với các thông số công nghệ

#### 4.1.1. Xây dựng mô hình thí nghiệm

Tham khảo các nghiên cứu liên quan và kinh nghiệm gia công thực tế, chọn các thông số điều khiển làm đầu vào thí nghiệm là: vận tốc cắt, lượng tiến dao, chiều sâu cắt và góc nghiêng dao phay cầu. Đại lượng đầu ra của thí nghiệm được lựa chọn gồm: Tuổi bền, nhám bề mặt và năng suất gia công.

#### 4.1.2. Các điều kiện thí nghiệm

#### 4.1.3. Xây dựng quy hoạch thực nghiệm

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Taguchi: lựa chọn số mức và giá trị các mức của thông số trong bảng 4.5 như sau:

Bảng 4.5 Giá trị các mức của các yếu tố đầu vào

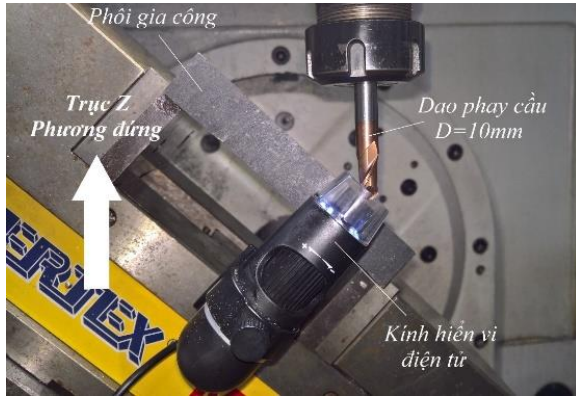
STT	Yếu tố đầu vào	Giá trị các mức				Đơn vị đo
		1	2	3	4	
1	Vận tốc cắt ( $V_c$ )	90	120	150	180	m/phút
2	Lượng tiến dao ( $f_z$ )	0.05	0.10	0.15	0.20	mm/răng
3	Chiều sâu cắt ( $a_p$ )	0.05	0.10	0.15	0.20	mm
4	Góc nghiêng dao ( $\theta$ )	15	30	45	60	độ

Theo lựa chọn có bốn yếu tố đầu vào và mỗi yếu tố được chọn có bốn mức, vậy chọn bảng trực giao Taguchi  $L_{16}(4^4)$  với 16 thí nghiệm. Chế độ cắt của thí nghiệm bổ sung (cho huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo) được chọn trong bộ thí nghiệm đầu đủ, sẽ thực hiện thêm 12 thí nghiệm, các giá trị thông số đầu vào được lựa chọn phân rải ra trong toàn bộ không gian thiết kế.

#### 4.1.4. Tiến hành thí nghiệm và thu thập dữ liệu

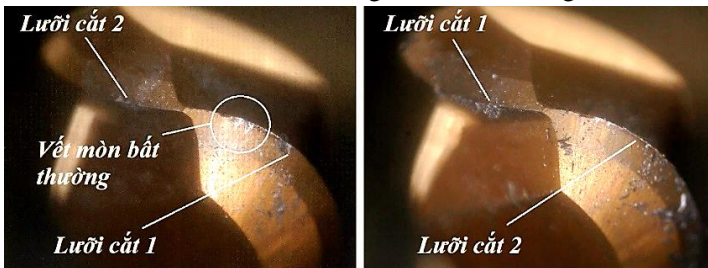
Phôi cắt thử nghiệm được gá trên ê tô thủy lực, cạnh dài của phôi nằm dọc theo trục Y của máy nhằm giảm hành trình chạy không, góc nghiêng trục dao được thiết lập qua góc quay của trục B trên máy CNC 5 trục. Định kỳ sau khi cắt được 2.2m chiều dài sẽ di chuyển dao cắt đến vị trí kính hiển vi đo lượng mòn mặt sau, cả hai lưỡi cắt được chụp ảnh bằng cách lập chu trình quay dao  $180^\circ$  theo trục chính. Kính hiển

vi gá với ê-tô và luôn hướng vuông góc với bề mặt gia công nhằm chụp đúng vị trí vết mòn trên lưỡi cắt của dao phay cầu (hình 4.4).



Hình 4.4 Vị trí thực hiện chụp ảnh mòn lưỡi cắt khi cắt thí nghiệm

Trong quá trình giám sát tình trạng lưỡi cắt trực tuyến (online), phải dừng gia công ngay khi quan sát thấy xuất hiện lượng mòn bất thường (do yếu tố nhiễu tác động). Ví dụ khi thực hiện thí nghiệm số 1, tại lần chụp ảnh thứ 16 (chiều dài cắt 35.2 m) quan sát được lượng mòn tại lưỡi cắt số 1 xuất hiện lượng mòn bất thường (hình 4.7).



Hình 4.7 Ảnh chụp lưỡi cắt xuất hiện vết mòn bất thường

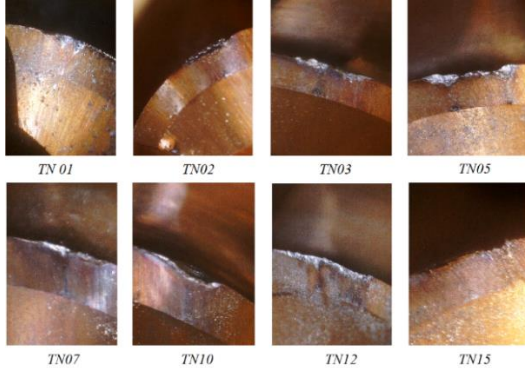
Sau khi thực hiện thí nghiệm gia công và thu thập các ảnh chụp mòn lưỡi dao (mỗi ảnh chụp sau 2,2m đường chạy dao), sử dụng phần mềm chuyên dụng thực hiện đo vết mòn trên lưỡi cắt, giới hạn lượng mòn tối đa là 0.3mm. Hình 4.8 thể hiện vết mòn lưỡi cắt đạt đến giới hạn tuổi bền của dao phay cầu trong một số thí nghiệm điển hình.

Chiều dài cắt tính như công thức (4.1), với  $z=2$  là số lưỡi cắt:

$$L_{\text{cắt}} = \frac{k * 2.2}{z} = 1.1k \quad (m) \quad (4.1)$$

Đơn vị tuổi bền tính theo thời gian gia công (phút) thì căn cứ vào đại lượng tốc độ tiên dao  $f$  (mm/phút), quy đổi theo công thức (4.2):

$$f = f_z \cdot z \cdot n = \frac{L_{\text{cắt}} \cdot 1000}{t} \Rightarrow t = \frac{L_{\text{cắt}} \cdot 1000}{f_z \cdot z \cdot n} \text{ (phút)} \quad (4.2)$$



Hình 4.8 Một số hình ảnh mòn điển hình trong các thí nghiệm

## 4.2. Phân tích ảnh hưởng của chế độ cắt đến các thông số công nghệ

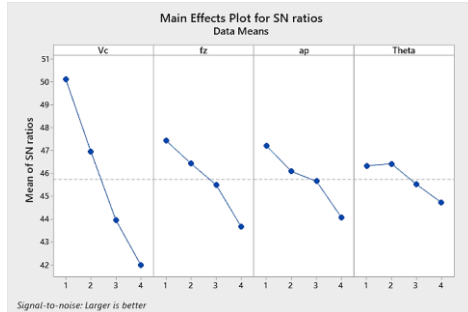
### 4.2.1. Phân tích ảnh hưởng chế độ cắt đến tuổi bền dụng cụ

Phương pháp Taguchi cho phép đánh giá mức độ tác động độc lập hoặc tác động lẫn nhau giữa các yếu tố chính, yếu tố không điều khiển (yếu tố nhiễu). Tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N (Signal to Noise) được sử dụng để phân tích, nhằm đánh giá kết quả quá trình đảm bảo chính xác hơn. Kết quả tính toán tỷ số S/N của tuổi bền theo đánh giá “lớn hơn thì tốt hơn” thu được từ những mức của thông số thể hiện trên hình 4.9 bằng phần mềm Minitab®. Kết quả tính toán trên hình 4.9 cho thấy tốc độ cắt có mức ảnh hưởng lớn nhất  $V_c$ , tiếp theo là lượng tiến dao  $f_z$ , chiều sâu cắt  $a_p$  và ít ảnh hưởng nhất là góc nghiêng trục dao  $\theta$ .

Response Table for Signal to Noise Ratios				
Larger is better				
Level	$V_c$	$f_z$	$a_p$	Theta
1	50.11	47.43	47.20	46.33
2	46.95	46.42	46.08	46.41
3	43.95	45.49	45.65	45.51
4	41.97	43.65	44.05	44.72
Delta	8.14	3.78	3.15	1.69
Rank	1	2	3	4

Hình 4.9 Bảng đáp ứng tỷ số S/N của tuổi bền dụng cụ trên Minitab®

Mục tiêu mong muốn là đạt tuổi bền lớn nhất ứng với mức của yếu tố có tỷ số S/N lớn nhất. Trên hình 4.10 cho thấy giá trị lớn nhất của tỷ số S/N đạt được khi: vận tốc cắt  $V_c$  với mức 1 (90 m/phút); lượng tiến dao răng  $f_z$  với mức 1 (0.05 mm/răng); chiều sâu cắt  $a_p$  với mức 1 (0.05mm) và góc nghiêng trục dao  $\theta$  với mức 1 ( $15^\circ$ ).



Hình 4.10 Đồ thị ảnh hưởng chính cho tỷ số S/N của tuổi bền trên Minitab®

Phân tích phương sai ANOVA: nếu không kể đến tác động lẫn nhau của việc điều khiển thì ảnh hưởng của vận tốc cắt là lớn nhất, đến 66.40%, tiếp theo là chiều sâu cắt 16.12%, lượng tiến dao răng 13.33% và cuối cùng là góc nghiêng trục dao 4.13%, trong khi nhiễu là 0.02%.

Như vậy ảnh hưởng của vận tốc cắt là lớn và nổi trội nhất với mức độ ảnh hưởng gần như gấp 4 lần mức ảnh hưởng của yếu tố thứ hai là lượng tiến dao, điều này rất phù hợp với công thức Taylor. Với mức độ ảnh hưởng lớn của vận tốc cắt, trong thực tế gia công cần tập trung điều khiển yếu tố này trong giải cắt đã lập sẽ đem lại hiệu quả cao.

#### 4.2.2 Ảnh hưởng chế độ cắt đến nhám bề mặt và năng suất gia công

**Nhám bề mặt:** Góc nghiêng trục dao, lượng tiến dao và chiều sâu cắt là các thông số ảnh hưởng ngược hướng đến giá trị nhám bề mặt. Ngược lại, vận tốc cắt càng lớn thì càng cải thiện chất lượng bề mặt vì làm giảm giá trị sai lệch trung bình của bề mặt sau gia công.

**Năng suất gia công:** Vận tốc cắt, lượng tiến dao và chiều sâu cắt càng lớn thì càng có lợi cho năng suất gia công. Riêng thông số góc nghiêng trục dao thì ảnh hưởng rất ít đến năng suất gia công.

#### 4.2.3 Dự đoán tuổi bền dụng cụ dùng mạng nơ-ron nhân tạo

Để đảm bảo tính khách quan và tin cậy cho kết quả dự đoán, cần sử dụng các phần mềm chuyên dụng được thương mại hóa như

Matlab®, Visual Gene, WinNN32..., luận án đã lựa chọn phần mềm Visual Gene làm công cụ dự đoán cho tuổi bền. Với 28 thí nghiệm đã thực hiện, được phân chia: 85% (24 thí nghiệm) dùng huấn luyện (training) và 15% (4 thí nghiệm) dùng thẩm định (validation). Phần mềm CTMSoft cũng thực hiện quá trình huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo với bộ thông số huấn luyện và kiểm tra cũng giống như trên.

*Bảng 4.11 Đánh giá sai số dự đoán của phần mềm Visual Gene và CTMSoft*

Tiêu chí đánh giá sai số dự đoán	Visual Gene	CTMSoft
Sai số tuyệt đối trung bình - MAE	4.9538	5.1425
Sai số toàn phương trung bình - MSE	64.0491	193.8924
Sai số phần trăm tuyệt đối TB - MAPE	0.0260	0.0266

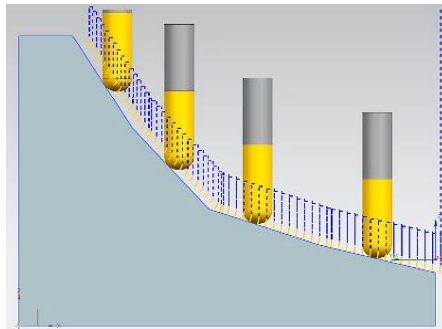
Bảng 4.11 thể hiện so sánh sai số dự đoán giữa hai phần mềm, Visual Gene cho kết quả dự đoán có sai lệch nhỏ và phân bố đều, trong khi CTMSoft có sai lệch giá trị trong bộ huấn luyện rất nhỏ, nhưng bộ kiểm tra thì lại có sai lệch lớn. Nguyên nhân sai lệch là do khác nhau trong cấu trúc mạng, loại hàm truyền cũng như thuật toán huấn luyện.

### **4.3. Kiểm chứng giải pháp nâng cao tuổi bền dao phay cầu**

#### **4.3.1. Dịch đoạn lưới cắt làm việc gia công mặt phẳng nghiêng**

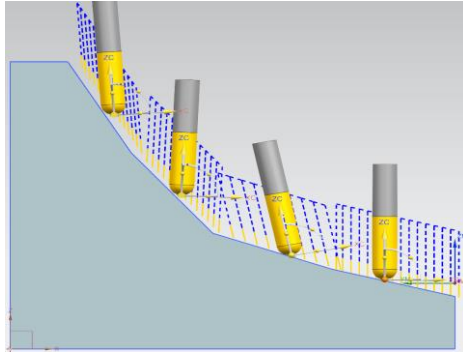
Chi tiết gia công kiểm chứng được thiết kế với 4 góc nghiêng không cách đều, tạo với mặt phẳng ngang góc nghiêng  $15.0^{\circ}$ ,  $20.0^{\circ}$ ,  $50.0^{\circ}$  và  $60.0^{\circ}$ . Xây dựng hai mô hình gia công kiểm chứng:

Mô hình gia công 1: Các thông số chế độ cắt như đã chọn và hướng trục dao luôn song song với trục Z. Đây là phương pháp gia công thường dùng vì nó thuận lợi cho lập trình chương trình NC và phù hợp với các máy CNC 3 trục phổ biến (hình 4.22).



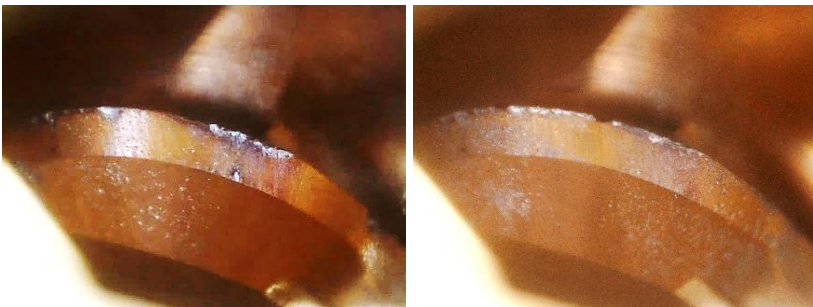
*Hình 4.22 Đường chạy dao gia công khi góc nghiêng dao không đổi*

Mô hình gia công 2: Để đảm bảo các đoạn lưỡi cắt làm việc không chồng lấn thì giá trị các góc nghiêng lần lượt là  $15.0^{\circ}$ ,  $31.3^{\circ}$ ,  $47.5^{\circ}$  và  $64^{\circ}$  (hình 4.23). Sử dụng chức năng “Tilt Tool Axis” trên phần mềm NX11, có thể chủ động đặt góc trục dao so với bề mặt gia công với giá trị góc dẫn (lead angle) và góc lật (tilt angle) bất kỳ.



Hình 4.23 Đường chạy dao dùng phương pháp dịch lưỡi cắt làm việc

Sau khi tiến hành gia công đã thu thập ảnh chụp vết mòn lưỡi cắt trong hai thí nghiệm kiểm chứng (hình 4.24). Với mô hình gia công 1: đúng theo quy luật, khi các lưỡi cắt làm việc có sự chồng lấn sẽ gây mòn cục bộ tại vị trí đó dẫn đến tuổi bền của dao thí nghiệm chỉ đạt chiều dài cắt 920.8m, mòn khốc liệt nhất tại vị trí ứng với góc nghiêng  $60^{\circ}$  bởi vì giá trị vận tốc cắt tại đây lớn nhất (đường kính cắt hiệu dụng lớn nhất). Đối với mô hình gia công 2: sự phân bố vết mòn tương đối đồng đều trên lưỡi cắt, tuổi bền của dao thí nghiệm đã được cải thiện đáng kể và đạt chiều dài cắt 1356.8m, vết mòn phân bố đồng đều hơn.



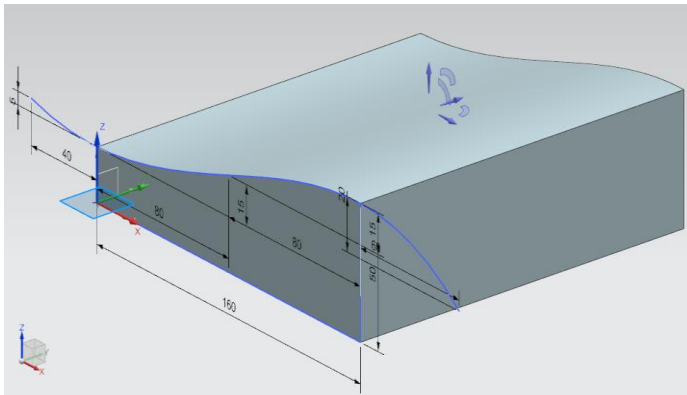
Hình 4.24 Vết mòn trên lưỡi cắt trong hai mô hình thí nghiệm kiểm chứng

Kết quả tính toán số lớp mặt phôi được gia công, bằng cách áp dụng phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc cho tuổi bền dụng cụ cải thiện một cách rõ rệt, chiều dài cắt của dao phay cầu tăng  $1356.8/920.8 \approx 1.5$  lần so với mô hình gia công truyền thống.

Như vậy, bằng cách áp dụng phương pháp dịch lưỡi cắt làm việc có thể tăng tuổi bền dụng cụ nhưng vẫn duy trì chất lượng bề mặt theo yêu cầu. Việc áp dụng phương pháp mới này không cần thay đổi trang bị công nghệ mà chỉ cần thay đổi chương trình gia công CNC, cho thấy hướng tiếp cận này hoàn toàn có thể áp dụng trong thực tế sản xuất.

### 4.3.2. Dịch lưỡi cắt làm việc khi gia công bề mặt tự do

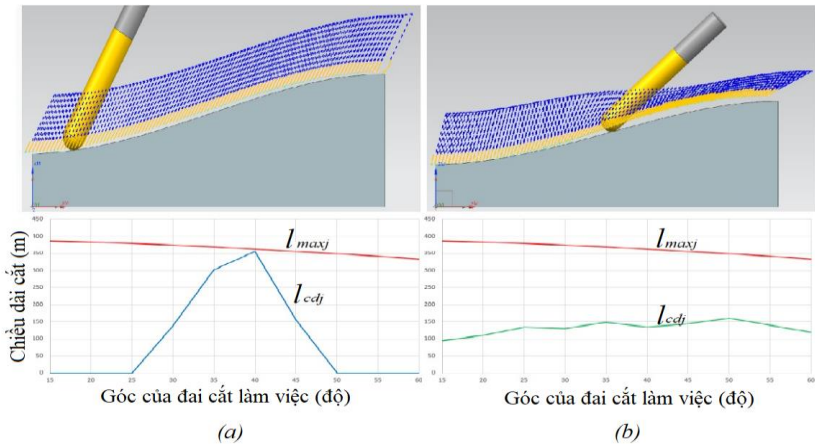
Chỉ với mục đích kiểm chứng và không làm phức tạp vấn đề thì mặt cong được hình thành trên cơ sở đường cong Bézier bậc ba dùng xây dựng mô hình cho thí nghiệm, các thông số kích thước cũng như hình dạng chi tiết gia công được biểu diễn trên hình 4.26.



Hình 4.26 Mô hình bề mặt tự do xây dựng trên phần mềm NX11

Dùng phần mềm NX tạo chu trình phay “Variable Contour” trong nhóm “mill\_multi\_axis” với các thông số gia công đã chọn, sử dụng tính năng “tilt\_tool\_axis” dùng điều khiển góc nghiêng trục dao theo hướng tiến dao để tránh cắt tại đỉnh của dao phay cầu. Thiết lập hai mô hình gia công với hai phương án thay đổi góc nghiêng khác nhau: một là góc nghiêng không đổi  $\theta_n = 30^\circ$  và hai là thay đổi tuyến tính  $\theta_n = 15^\circ \rightarrow 60^\circ$ . Tập tin dữ liệu CLS từ phần mềm NX sẽ được tính toán

chiều dài chạy dao  $l_{cdj}$  cùng với chiều dài cắt cho phép lớn nhất  $l_{maxj}$  ứng với từng đai cắt làm việc  $j$  bằng phần mềm CTMSoft.



Hình 4.28 Thí nghiệm gia công bề mặt tự do, (a)- góc nghiêng cố định, (b)- góc nghiêng thay đổi tuyến tính

Chiều dài chạy dao  $l_{cdj}$  được tính toán từ chương trình NC tại đai cắt làm việc  $j$  khác nhau. Đồng thời chiều dài cắt cho phép lớn nhất MACL ứng với từng đai cắt làm việc cũng được tính toán dựa vào mạng nơ-ron nhân tạo cho giá trị  $l_{maxj}$  tương ứng. Hình 4.28 dễ dàng nhận biết được vị trí nào của lưỡi cắt tham gia gia công theo chương trình và có nằm trong giới hạn làm việc hay không. Phương án gia công 1: phân bố đai cắt làm việc tập trung tại một khoảng góc nghiêng  $30^{\circ} \div 45^{\circ}$ , dao phay có thể gia công hết chương trình mà chưa hết tuổi bền, nhưng không thể tiếp tục gia công chi tiết tiếp theo vì tại vị trí lưỡi cắt  $\beta = 40^{\circ}$  đã gần hết tuổi bền. Phương án gia công 2: sử dụng dịch đoạn lưỡi cắt làm việc (hình 4.28-b) thì sự phân bố đoạn lưỡi cắt làm việc đồng đều hơn ( $15^{\circ} \div 60^{\circ}$ ), dao phay có thể tiếp tục gia công thêm một chi tiết tiếp theo mới hết tuổi bền.

Như vậy với mô hình gia công trên chi tiết có bề mặt tự do bằng việc sử dụng phần mềm CAM mạnh mẽ, có thể kiểm soát góc nghiêng trục dao tốt như gia công trên mặt phẳng. Điều đó chứng tỏ giải pháp nâng cao tuổi bền bằng cách dịch chuyển đoạn lưỡi cắt làm việc có thể thực hiện khả thi trong thực tế gia công các bề mặt phức tạp.



### **Kết luận chương 4**

- Thực hiện các thí nghiệm đánh giá mức độ ảnh hưởng của các chế độ cắt đến các thông số công nghệ, cho thấy mức độ ảnh hưởng của vận tốc cắt đến tuổi bền lớn nhất, làm căn cứ lựa chọn thông số chế độ cắt để tối ưu tuổi bền.
- Góc nghiêng có mức độ ảnh hưởng nhỏ nhất đến các thông số đầu ra nên áp dụng dịch đoạn lưỡi cắt làm việc để cải thiện tuổi bền mà không ảnh hưởng nhiều đến các thông số khác.
- Mạng nơ-ron nhân tạo trên phần mềm CTMSoft có chức năng tương đương phần mềm Visual Gene Developer sẽ làm công cụ dự đoán hỗ trợ hữu ích cho giải pháp nâng cao tuổi bền dụng cụ đang nghiên cứu.
- Bằng các thí nghiệm kiểm chứng đã chứng minh cho tính đúng đắn của phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc. Đối với bề mặt chi tiết có góc nghiêng gây khúc và bề mặt cong đơn điệu thì dễ dàng ứng dụng phương pháp, những bề mặt phức tạp hơn vẫn có khả năng ứng dụng nếu có phần mềm hỗ trợ tính toán hợp lý.

## **KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN**

### **KẾT LUẬN**

Luận án đã hoàn thành các mục tiêu đề ra và giải quyết được các vấn đề cần nghiên cứu về giải pháp nâng cao tuổi bền của dao phay cầu. Các kết quả của luận án này có thể là tài liệu bổ sung lý thuyết xử lý số liệu thực nghiệm, tạo công cụ hỗ trợ giải quyết các bài toán tối ưu trong lĩnh vực gia công cơ khí. Sau đây là một số kết luận chủ yếu:

1. Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tuổi bền dao phay cầu: ngoài chế độ cắt còn có định hướng dao và góc nghiêng dao. Xác định tuổi bền thông qua đo lường mòn mặt sau được sử dụng phổ biến, dễ thực hiện và chính xác.
2. Phương pháp Taguchi và phân tích phương sai ANOVA dùng để tối ưu quy hoạch thực nghiệm và xác định được mức độ ảnh hưởng chế độ cắt đến mục tiêu đầu ra.

3. Mạng nơ-ron nhân tạo dễ sử dụng, có khả năng dự đoán chính xác, mở ra hướng ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong lĩnh vực sản xuất cơ khí tiên tiến.
4. Đưa ra giải pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc nhằm nâng cao tuổi bền dao phay cầu, một giải pháp có ý nghĩa thực tiễn khi các phương pháp tối ưu thông số công nghệ đã được thực hiện.
5. Xây dựng phần mềm CTMSoft với các chức năng: quy hoạch thực nghiệm, dự đoán bằng mạng nơ-ron nhân tạo và phân tích dữ liệu vị trí dao hỗ trợ cho giải pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc.
6. Bằng thực nghiệm đã thiết lập được mối quan hệ thực nghiệm chế độ cắt và tuổi bền làm cơ sở chọn lựa chế độ cắt tối ưu, đồng thời khẳng định tính khả thi ứng dụng phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc với những bề mặt gia công thực tế.

### **HƯỚNG PHÁT TRIỂN**

Kết quả nghiên cứu của luận án đã chứng minh tính khả thi của giải pháp nâng cao tuổi bền dao phay cầu bằng phương pháp dịch đoạn lưỡi cắt làm việc, trên cơ sở ứng dụng những phương pháp mới trong dự đoán và xử lý số liệu thực nghiệm. Những kết quả đạt được của đề tài làm nền tảng để phát triển những nghiên cứu tiếp theo:

1. Tiếp tục nghiên cứu phát triển thêm tính năng phần mềm CTMSoft, bổ sung dữ liệu huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo với: kích thước dao phay cầu, vật liệu gia công, kết cấu động học máy phay CNC... Nhằm tạo một phần mềm hoàn thiện phục vụ cho mục đích nghiên cứu và ứng dụng vào sản xuất thực tế. Nghiên cứu giải pháp phân vùng bề mặt gia công phức tạp một cách tối ưu hơn để thực hiện hiệu quả dịch đoạn lưỡi cắt làm việc.
2. Phương pháp tiếp cận và các kết quả nghiên cứu trong luận án có thể phát triển hệ thống giám sát tình trạng dụng cụ (Tool Condition Monitoring - TCM) ngay trong-quá trình (in-processing) gia công có chi phí thấp, dễ dàng trang bị trong thực tế sản xuất tại Việt Nam.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Lê Văn Văn và Nguyễn Tài Hoài Thanh (2015), "Ảnh hưởng của góc nghiêng trục dao phay cầu tới độ nhám bề mặt khi gia công tinh trên máy phay CNC 5 trục", Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật - Học viện KTQS. 169, tr. 9.
2. Nguyễn Tài Hoài Thanh và Dương Văn Ngụy (2016), "Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ công nghệ tới tuổi bền dao phay cầu khi gia công thép 40x sau nhiệt luyện, " Tạp chí hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về cơ khí - động lực. 1(1), tr. 4.
3. Nguyễn Tài Hoài Thanh và Dương Văn Ngụy (2017), "Nghiên cứu ảnh hưởng của lực cắt đến tuổi bền dao phay cầu khi gia công thép hợp kim cứng sau nhiệt luyện", Tạp chí hội nghị Khoa học và Công nghệ Toàn quốc về cơ khí - động lực. 3(1), tr. 5.
4. Nguyễn Văn Toàn, Nguyễn Tuấn Hiếu và Nguyễn Tài Hoài Thanh (2017), "Dự đoán nhám bề mặt khi phay CNC theo phương pháp hồi quy đa biến và phương pháp trí tuệ nhân tạo", Tạp chí nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự. 47, tr. 8.
5. Vũ Văn Tịnh, Dương Quốc Dũng và Nguyễn Tài Hoài Thanh (2018), "Nghiên cứu cơ chế mòn mảnh dao khi tiện cứng thép 40X", Tạp chí Giao thông Vận tải. 5, tr. 4.
6. Nguyễn Văn Đức, Nguyễn Tài Hoài Thanh và Nguyễn Tuấn Hiếu (2018), "Nghiên cứu ảnh hưởng chiến lược chạy dao và các thông số công nghệ tới chất lượng bề mặt gia công khi phay hợp kim Inconel 625 bằng dao phay cầu", Tạp chí Giao thông Vận tải. 5, tr. 4.
7. Nguyễn Tài Hoài Thanh và Hồ Việt Hải (2021), "Dự đoán tuổi bền dao phay đầu cầu khi gia công tinh thép hợp kim 40X sử dụng phương pháp mạng nơ ron nhân tạo", Tạp chí Cơ khí. 12-2021, tr. 7.