

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

---0000---

HỒ NGỌC THẾ QUANG

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP GIẢM RUNG TÍCH CỰC  
BẰNG NGOẠI LỰC CƯỜNG BỨC  
TRONG QUÁ TRÌNH TIỆN

LUẬN ÁN TIẾN SĨ  
NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 05 năm 2024

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT**  
**THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

---0000---

**HỒ NGỌC THẾ QUANG**

**NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP GIẢM RUNG TÍCH CỰC**  
**BẰNG NGOẠI LỰC CƯỖNG BỨC**  
**TRONG QUÁ TRÌNH TIỆN**

**NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ - 9520103**

Hướng dẫn khoa học 1: PGS. TS. Đỗ Thành Trung

Hướng dẫn khoa học 2: GS. TS. Nguyễn Xuân Hùng

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 05 năm 2024

# QUYẾT ĐỊNH GIAO ĐỀ TÀI

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Số: 2414/QĐ-ĐHSPKT

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM  
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 03 tháng 10 năm 2016

## QUYẾT ĐỊNH

V.v giao đề tài luận án và người hướng dẫn nghiên cứu sinh khóa 2016-2019

**HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH**

Căn cứ Quyết định số 118/2000/QĐ-TTg ngày 10 tháng 10 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về việc thay đổi tổ chức của Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, tách Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh trực thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Căn cứ Quyết định số 70/2014/QĐ-TTg ngày 10/12/2014 của Thủ tướng Chính phủ về ban hành Điều lệ trường Đại học;

Căn cứ Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ;

Căn cứ Thông tư số 05/2012/TT-BGDĐT ngày 15/02/2012 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ ban hành kèm theo Thông tư số 10/2009/TT-BGDĐT ngày 07/5/2009 của Bộ trưởng Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo,

### QUYẾT ĐỊNH:

**Điều 1.** Giao đề tài luận án tiến sĩ và người hướng dẫn cho:

Nghiên cứu sinh : *Hồ Ngọc Thế Quang*

Ngành : *Kỹ thuật cơ khí*

Khoá: 2016 – 2019

Tên luận án : *Nghiên cứu phương pháp giảm rung tích cực bằng ngoại lực cưỡng bức trong quá trình tiện*

Người HD thứ nhất (HD chính) : *PGS.TS Đỗ Thành Trung*

Người HD thứ hai : *GS.TS Nguyễn Xuân Hùng*

Thời gian thực hiện : *03/10/2016 đến 03/10/2019*

**Điều 2.** Giao cho Phòng Đào tạo quản lý, thực hiện theo đúng Quy chế đào tạo trình độ tiến sĩ của Bộ Giáo dục & Đào tạo đã ban hành.

**Điều 3.** Trưởng các đơn vị, phòng Đào tạo, các Khoa quản ngành tiến sĩ và các Ông (Bà) có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này.

Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký./.

*Nơi nhận :*

- BGH (để biết);
- Như điều 2, 3;
- Lưu: VT, SDH (4b).



## LÝ LỊCH CÁ NHÂN

1. Họ và tên: HỒ NGỌC THẾ QUANG			
2. Năm sinh: 07/04/1981		3. Nam/Nữ: Nam	
4. Học hàm: Học vị: Thạc sỹ		Năm được phong học hàm: Năm đạt học vị: 2006	
5. Chức danh nghiên cứu: Giảng viên, nghiên cứu sinh Chức vụ: Giảng viên, trường Đại Học Nguyễn Tất Thành			
6. Điện thoại: 1900 2039		Mobile: 0918195005	
7. Fax: 028 39 404 759		E-mail: quanghnt.ncs@hcmute.edu.vn	
8. Quá trình đào tạo			
Bậc đào tạo	Nơi đào tạo	Chuyên môn	Năm tốt nghiệp
Đại học	Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM	Cơ khí chế tạo máy	2004
Thạc sỹ	Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM	Kỹ thuật cơ khí	2006
Tiên sỹ	Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM	Kỹ thuật Cơ khí	Chưa tốt nghiệp (Khóa 2016)
9. Quá trình công tác			
Thời gian (Từ năm đến năm)	Vị trí công tác	Tổ chức công tác	Địa chỉ Tổ chức
10/2004 đến 2/2007	Giảng viên	Trường Cao Đẳng Công Thương Tp. HCM	20 Đường Tăng Nhơn Phú, Phước Long B, Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh
3/2007 đến 12/2021	Giảng viên	Trường Đại Học Giao Thông Vận Tải Tp. HCM	02 Võ Oanh, Phường 25, Bình Thạnh, Thành phố Hồ Chí Minh
1/2022 đến nay	Giảng viên	Trường Đại Học Nguyễn Tất Thành	300A Nguyễn Tất Thành, Phường 13, Quận 4, Thành phố Hồ Chí Minh

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi khẳng định rằng đây là kết quả của công trình nghiên cứu mà tôi đã thực hiện dưới sự hướng dẫn của một nhóm các nhà khoa học. Các kết quả của nghiên cứu được trình bày trong luận án là trung thực, khách quan và chưa từng được công bố trên bất kỳ công trình nào khác. Tôi đã dẫn chứng rõ ràng và đầy đủ các nguồn tham khảo được sử dụng trong quá trình thực hiện luận án.

Tp.HCM, ngày 22 tháng 05 năm 2024  
Tác giả luận án

Hồ Ngọc Thế Quang

## LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi muốn bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến Ban Giám hiệu của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, đặc biệt là PGS.TS. Lê Hiếu Giang, đã tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận án này.

Tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành nhất đến các Thầy/Cô trong Khoa Cơ khí Chế tạo máy, đặc biệt là PGS.TS. Trương Nguyễn Luân Vũ, cùng với các Thầy/Cô từ các Phòng, Khoa và Ban khác tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh. Quý Thầy/Cô đã hỗ trợ và tạo điều kiện cho tôi trong thời gian qua, và đã dành nhiều thời gian quý báu của mình để truyền đạt kiến thức chuyên môn, cũng như chia sẻ những lời khuyên hữu ích trong quá trình học tập và nghiên cứu của tôi.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất đến quý Thầy/Cô là thành viên trong Hội đồng bảo vệ Tổng quan, Chuyên đề 1, Chuyên đề 2, và Cơ sở, đặc biệt là thầy hướng dẫn PGS.TS. Đỗ Thành Trung và GS.TS. Nguyễn Xuân Hùng. Quý Thầy/Cô không chỉ cung cấp những chỉ dẫn và góp ý quý báu về chuyên ngành, mà còn mang lại sự quan tâm, động viên và khích lệ trong suốt quá trình tôi tiến hành thực nghiệm, viết bài báo khoa học và viết thuyết minh luận án Tiến sĩ.

Cuối cùng, tôi muốn bày tỏ lòng biết ơn tới gia đình, đặc biệt là sự đồng cảm và chia sẻ vô cùng lớn từ vợ và các con. Họ đã luôn đồng hành cùng tôi và động viên để tôi vượt qua những khó khăn và thực hiện công việc nghiên cứu của mình.

Tôi xin chân thành cảm ơn!

## TÓM TẮT

Ngày nay, với áp lực của thị trường đòi hỏi các doanh nghiệp cơ khí chế tạo máy nói riêng và các công ty sản xuất nói chung phải nâng cao năng suất và giảm giá thành sản phẩm. Tương tự, gia công sản xuất các chi tiết bằng phương pháp tiện cũng chịu áp lực rất lớn từ thị trường. Một trong những yếu tố ảnh hưởng đến tăng năng suất và chất lượng sản phẩm là hiện tượng rung động trong quá trình tiện.

Thông qua quá trình mô phỏng hiện tượng rung động đã được nghiên cứu ở các trường hợp tiện trụ dài, tiện mặt bích mỏng và tiện lỗ sâu. Kết quả mô phỏng cho thấy có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ rung động và chất lượng bề mặt thành phẩm bao gồm độ cứng vững phôi, độ cứng vững của dao, sóng bề mặt phôi và chế độ cắt. Trong trường hợp tiện trụ và tiện mặt bích thì độ cứng vững của phôi ảnh hưởng rất lớn đến độ rung động và chất lượng bề mặt sản phẩm. Nhưng khi tiện lỗ độ cứng vững của cán dao là yếu tố chính ảnh hưởng đến rung động. Nếu độ dài cán dao tương ứng độ cứng vững của cán dao vượt qua giá trị giới hạn thì chất lượng bề mặt sản phẩm sẽ giảm rất nhanh. Trong nghiên cứu này, độ dài cán dao tới hạn được xác định là 60 mm, và khi đó độ nhám bề mặt Rz tương ứng là khoảng 20  $\mu\text{m}$ .

Thông qua quá trình thực nghiệm để thu thập dữ liệu và ứng dụng thuật toán máy học để nhận diện quá trình rung động cho trường hợp tiện lỗ và tiện mặt bích. Với thuật toán nhận diện âm thanh và thuật toán nhận diện bằng cả âm thanh và hình ảnh. Kết quả cho thấy độ chính xác của thuật toán đến 98%. Kết luận có thể sử dụng mô hình máy học để chế tạo các thiết bị phát hiện rung động trong quá trình gia công.

Nghiên cứu cũng đã tiến hành thực nghiệm phương pháp giảm rung bằng ngoại lực cưỡng bức từ trong khi tiện lỗ. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- + Với lực từ đơn hướng thì yếu tố giảm rung sẽ đạt giá trị cực trị khi lực từ bằng 140 N khi đó độ nhám đạt được là thấp nhất.
- + Với lực từ là tác dụng từ 2 hướng thì trường hợp lực từ theo hướng lực cắt chính cho kết quả tốt nhất khi lực từ bằng 60 N.
- + Với lực từ tác dụng từ 3 hướng thì yếu tố giảm rung không đáng kể.

Kết quả nghiên cứu nhận thấy, lực cưỡng bức từ có ảnh hưởng tốt đến quá trình giảm rung trong khi tiện, nguyên nhân là cán dao được đặt trong đệm từ trường. Dưới tác dụng của lực cắt, dao sẽ bị biến dạng và dao động. Khi lực từ tác dụng sẽ có xu hướng kéo dao về một hướng và sẽ làm mất năng lượng dao động của dao làm rung động của dao tắt nhanh. Kết quả nghiên cứu có thể áp dụng vào công nghiệp với thiết bị giảm rung trong quá trình cắt gọt bằng từ trường.



## ABSTRACT

Nowadays, with the market pressure demanding mechanical engineering and manufacturing companies in particular, to enhance productivity and reduce product costs, the machining process for producing components is no exception. One of the obstacles to increasing productivity is the occurrence of vibration during the machining process.

By simulation process, the phenomenon of vibration has been studied in cases of long shaft, thin flange, and deep hole boring in turning. The simulation results indicate that there are several factors influencing vibration and the surface quality of the finished product, including the rigidity of the workpiece, tool rigidity, surface waviness of the workpiece, and cutting parameters. In the case of shaft turning and flange turning, the workpiece rigidity has a significant impact on vibration and surface quality. However, in the case of hole boring, the tool rigidity is the main factor affecting vibration. If the tool overcomes the corresponding limit value of its rigidity, the surface quality of the product will deteriorate rapidly. In this study, the limiting length of the tool shank was determined to be 60 mm, and at that point, the corresponding surface roughness value (Rz) was approximately 20  $\mu\text{m}$ .

Through the experimental process of data collection and the application of machine learning algorithms, the vibration phenomenon was identified for both hole boring and flange turning cases. Algorithms for sound recognition and combined sound and image recognition were utilized. The results demonstrated an algorithm tỷ lệ chính xác of up to 98%. It can be concluded that machine learning models can be used to develop devices for detecting vibrations during the machining process.

The study also conducted experiments on the method of vibration reduction using coercive electromagnetic force during hole boring. The research results showed the following:

For a unidirectional magnetic force, the vibration reduction factor reached its extreme value when the magnetic force was 140 N, resulting in the lowest surface roughness.

For a magnetic force acting in two directions, the case where the magnetic force aligned with the main cutting force yielded the best results when the magnetic force was 60 N.

For a magnetic force acting in three directions, the vibration reduction factor was not significant.

The research findings indicate that coercive electromagnetic force has a positive impact on the vibration reduction process during machining, with the key factor being the placement of the tool in the magnetic field. Under the influence of cutting force, the tool undergoes deformation and oscillation. When the magnetic force is applied, it tends to pull the tool in one direction and diminishes the energy of tool oscillation, thereby quickly suppressing tool vibration. The research results can be applied to the industry with vibration reduction devices using magnetic fields in the cutting process.

## DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

<b>Ký hiệu</b>	<b>Ý nghĩa</b>
AI	Artificial Intelligence (Trí tuệ nhân tạo)
SLD	Stability Lobe Diagram (Biểu đồ vùng ổn định)
DoF	Degrees of Freedom (Bậc tự do)
FEM	Finite Element Method (Phương pháp phần tử hữu hạn)
ANN	Artificial Neural Network (Mạng nơ-ron nhân tạo)
CNN	Convolutional Neural Network (Mạng nơ-ron tích chập)
DenseNet	Densely Connected Convolutional Network (Mạng tích chập kết nối mật độ cao)
VGG16	Visual Geometry Group 16 (Mạng Nhóm Hình học Thị giác 16)
ResNet	Residual Network (Mạng nơ-ron dư)
FFT	Fast Fourier Transform (Phép biến đổi Fourier nhanh)
MLP	Multilayer Perceptron (Mạng nơ-ron đa tầng)
DVA	Dynamic Vibration Absorber
TMD	Tuned Mass Damper (giảm chấn khối lượng)
SSV	Spindle Speed Variation (Tốc độ trục chính thay đổi)
DOC	Depth of Cut (Chiều sâu cắt)
RNNs	Recurrent Neural Networks (Mạng Nơ-ron lặp lại)
LSTM	Long Short-Term Memory
MSE	Mean Squared Error
MRAC	Magnetic Rest Active Control
PLC	Programmable Logic Controller
AE	Acoustic Emission

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
b	Mm	Chiều sâu tiện
b <sub>lim</sub>	Mm	Chiều sâu cắt giới hạn
f	mm/phút	Bước tiến dao
v	m/phút	Vận tốc cắt
n	vòng/phút	Tốc độ quay trục chính
m	Kg	Khối lượng hệ
c	Ns/m	Độ giảm chấn
k	N/m	Độ cứng đàn hồi
Ra	$\mu m$	Độ nhám bề mặt
Rz	$\mu m$	Độ nhám bề mặt

## DANH MỤC BẢNG

<b>Bảng 3.1:</b> Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng 2D .....	64
<b>Bảng 3.2:</b> Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng tiện trụ 3D.....	66
<b>Bảng 3.3:</b> Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng tiện mặt bích 3D .	68
<b>Bảng 3.4:</b> Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng tiện lỗ .....	70
<b>Bảng 3.5:</b> Thông số mô hình mô phỏng lực từ trường .....	72
<b>Bảng 3.6:</b> Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình thí nghiệm tiện mặt bích .....	74
<b>Bảng 3.7:</b> Thông số dao, phôi và chế độ cắt mô hình thí nghiệm lực từ cường bức	77
<b>Bảng 3.8:</b> Các trường hợp bố trí lực từ.....	79
<b>Bảng 3.9:</b> Kiến trúc mạng mô hình CNN 2 dữ liệu đầu vào .....	83
<b>Bảng 3.10:</b> Các giá trị siêu tham số của mô hình .....	84
<b>Bảng 4.1:</b> Ma trận trực giao mô hình Taguchi L25.....	88
<b>Bảng 4.2:</b> Tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N mô hình 2D.....	88
<b>Bảng 4.3:</b> Mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt (Rz) và đường kính phôi (d) .....	92
<b>Bảng 4.4:</b> Mối quan hệ độ nhám bề mặt (Rz) và bề dày tấm mặt bích mỏng (t) .....	95
<b>Bảng 4.5:</b> Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và độ dài cán dao (l) .....	99
<b>Bảng 4.6:</b> Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và sóng nhấp nhô bề mặt phôi.....	104
<b>Bảng 4.7:</b> Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và vận tốc cắt (v)	106
<b>Bảng 4.8:</b> Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và bước tiến dao (f) .....	108
<b>Bảng 4.9:</b> Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và 4 yếu tố vận tốc cắt (v), bước tiến dao (f), chiều dài cán dao (l) và sóng nhấp nhô bề mặt phôi (s)	110
<b>Bảng 4.10:</b> Tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N mô hình 3D.....	111
<b>Bảng 4.11:</b> Mối quan hệ l, s, v, f và A, Rz bằng mô hình ANN .....	112
<b>Bảng 5.1:</b> Phân chia dữ liệu huấn luyện, hiệu chỉnh và kiểm tra .....	122
<b>Bảng 5.2:</b> Chỉ số đánh giá mô hình DenseNet .....	124
<b>Bảng 5.3:</b> Chỉ số đánh giá mô hình DenseNet với dữ liệu âm thanh .....	126

<b>Bảng 5.4:</b> Chỉ số đánh giá mô hình DenseNet với dữ liệu âm thanh và hình ảnh .	128
<b>Bảng 5.5:</b> Kết quả các tiêu chí đánh giá mô hình CNN 2 dữ liệu đầu vào .....	129
<b>Bảng 5.6:</b> So sánh kết quả nghiên cứu với các nghiên cứu gần đây .....	130
<b>Bảng 6.1:</b> Chuyển vị của dao tiện khi đặt lực từ $F_{1m}$ .....	141
<b>Bảng 6.2:</b> Chuyển vị của dao tiện khi đặt lực từ $F_{2m}$ .....	141
<b>Bảng 6.3:</b> Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH1 .....	142
<b>Bảng 6. 4:</b> Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH2 .....	144
<b>Bảng 6.5:</b> Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH3 .....	146
<b>Bảng 6.6:</b> Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH4 .....	149
<b>Bảng 6.7:</b> Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH5 .....	151

## DANH MỤC HÌNH

<b>Hình 1.1:</b> Nguyên lý khi tiện: trái (tiện trụ), phải (tiện mặt đầu).....	9
<b>Hình 1.2:</b> Phân biệt trạng thái ổn định và mất ổn định; (a,b): Trạng thái ổn định; (c): Trạng thái mất ổn định.....	10
<b>Hình 1.3:</b> Các hướng nghiên cứu về rung động trong gia công tiện.....	14
<b>Hình 1.4:</b> Biểu đồ trạng thái ổn định giữa tốc độ trục chính và chiều sâu cắt [10].	15
<b>Hình 1.5:</b> Sử dụng lực từ trường để giảm rung [72] .....	33
<b>Hình 1.6:</b> Ứng dụng kỹ thuật điều khiển lưu biến điện để giảm rung [74].....	33
<b>Hình 2.1:</b> Lực tác dụng lên dao .....	36
<b>Hình 2.2:</b> Các phương lực cắt khi tiện .....	37
<b>Hình 2.3:</b> Sự tương tác giữa dao và quá trình cắt [10].....	38
<b>Hình 2.4:</b> Mô hình dao động cán dao tiện hai bậc tự do với hai thành phần lực cắt.[80].....	38
<b>Hình 2.5:</b> Mất ổn định do dao ăn lẹm vào chi tiết gia công làm biến đổi lực của động lực học .....	41
<b>Hình 2.6:</b> Ảnh hưởng của vận tốc cắt đến chiều rộng cắt tới hạn $B_k$ khi tiện .....	43
<b>Hình 2.7:</b> Ảnh hưởng của bước tiến dao đến chiều rộng cắt tới hạn khi tiện. ....	44
<b>Hình 2.8:</b> Chỉ tiêu đo nhám bề mặt $R_a$ (hình a ) và $R_z$ (hình b) .....	46
<b>Hình 2.9:</b> Lưu đồ giải thuật mô phỏng gia công tiện .....	49
<b>Hình 2.10:</b> Sơ đồ mạng nơ-ron cơ bản .....	51
<b>Hình 2.11:</b> Cấu trúc cơ bản của mạng CNN .....	53
<b>Hình 2.12:</b> Sơ đồ mô hình dao động cơ – điện từ trường.....	56
<b>Hình 2.13:</b> Sơ đồ khối của hệ thống điện - cơ.....	57
<b>Hình 3.1:</b> Sơ đồ thiết lập các bước nghiên cứu với mô hình tiện lỗ sâu .....	60
<b>Hình 3.2:</b> Mô hình phân tích lực làm biến dạng cán dao khi tiện lỗ.....	61
<b>Hình 3.3:</b> Mô hình lực tác dụng lên cán dao khi có lực từ tác động.....	62
<b>Hình 3.4:</b> Mô hình động lực học cán dao khi tiện có lực từ tác động.....	62

<b>Hình 3.5:</b> Mô hình 2D gia công tiện với dao tròn tại độ cứng Kx .....	65
<b>Hình 3.6:</b> Sóng nhấp nhô bề mặt phôi.....	65
<b>Hình 3.7:</b> Mô hình tiện trụ.....	66
<b>Hình 3.8:</b> Mô hình mặt bích mỏng .....	68
<b>Hình 3.9:</b> Mô hình tiện lỗ .....	69
<b>Hình 3.10:</b> Thông số sóng bề mặt phôi .....	69
<b>Hình 3.11:</b> Mô hình tiện dưới tác dụng lực cưỡng bức từ.....	71
<b>Hình 3.12:</b> Mô hình tiện lỗ dưới tác dụng lực cưỡng bức từ .....	71
<b>Hình 3.13:</b> Mô hình cán dao dưới tác dụng 3 lực từ cưỡng bức .....	71
<b>Hình 3.14:</b> Bản vẽ chi tiết mặt bích.....	73
<b>Hình 3.15:</b> Bề mặt chi tiết gia công phóng đại.....	73
<b>Hình 3.16:</b> Máy tiện CNC Moriseiki SL_20 .....	74
<b>Hình 3.17:</b> Thu thập âm thanh trong quá trình tiện mặt bích.....	75
<b>Hình 3.18:</b> Hình ảnh thu thập khi tiện mặt bích.....	75
<b>Hình 3.19:</b> Máy đo độ nhám bề mặt chi tiết Mitutoyo SJ301 .....	75
<b>Hình 3.20:</b> Bề mặt chi tiết tiện sau khi đo độ nhám và đánh dấu vùng ổn định và vùng rung động .....	76
<b>Hình 3.21:</b> Mô hình tiện lỗ dưới tác dụng lực từ cưỡng bức .....	76
<b>Hình 3.22:</b> mô hình thí nghiệm lực từ cưỡng bức .....	77
<b>Hình 3.23:</b> Thông số hạt dao và cán dao tiện.....	77
<b>Hình 3.24:</b> Bộ điều khiển đại cảm biến đo lực và bộ PLC điều khiển .....	78
<b>Hình 3.25:</b> Mô hình lực từ tác dụng lên cán dao.....	79
<b>Hình 3.26:</b> Cấu trúc mạng nơ-ron .....	80
<b>Hình 3.27:</b> Cấu trúc mô hình CNN với 2 dữ liệu đầu vào .....	81
<b>Hình 4.1:</b> Nhấp nhô bề mặt phôi và nhấp nhô bề mặt chi tiết sau gia công.....	86
<b>Hình 4.2:</b> Nhấp nhô bề mặt phôi lệch pha với nhấp nhô bề mặt sản phẩm $\theta \neq 0$ ....	86
<b>Hình 4.3:</b> Nhấp nhô bề mặt phôi lệch pha với nhấp nhô bề mặt sản phẩm $\theta = 0$ ....	86
<b>Hình 4.4:</b> Biểu đồ cho tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N .....	89



<b>Hình 4.5:</b> Mô phỏng tiện trụ dài với $d = 4.5$ mm .....	91
<b>Hình 4.6:</b> Mô phỏng tiện trụ dài khi $d = 5.0$ mm .....	92
<b>Hình 4.7:</b> Trích xuất biên dạng chi tiết sau khi tiện .....	92
<b>Hình 4.8:</b> Mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt ( $R_z$ ) và đường kính phôi ( $d$ ).....	93
<b>Hình 4.9:</b> Quá trình tiện mặt bích mỏng .....	94
<b>Hình 4.10:</b> Chuyển vị phôi và biên dạng bề mặt chi tiết thành phẩm sau khi tiện ..	94
<b>Hình 4.11:</b> Quan hệ độ nhám bề mặt ( $R_z$ ) và bề dày tấm mặt bích mỏng ( $t$ ) .....	95
<b>Hình 4.12:</b> Ứng suất Von Mises cho độ dài giá đỡ dụng cụ 40 mm và 80 mm.....	97
<b>Hình 4.13:</b> Lực cắt cho các độ dài cán dao khác nhau từ 10 đến 80 mm.....	98
<b>Hình 4.14:</b> Phân tích hồi quy của lực cắt và chiều dài cán dao.....	99
<b>Hình 4.15:</b> Phân tích hồi quy mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt và chiều dài cán dao .....	100
<b>Hình 4.16:</b> Ứng suất Von Mises trong trường hợp nhấp nhô bề mặt phôi $s$ là 0.01 mm và 0.2 mm.....	101
<b>Hình 4.17:</b> Lực cắt trong các trường hợp $s = 0.01, 0.05, 0.15$ và 0.2 mm .....	102
<b>Hình 4.18:</b> Mối quan hệ lực cắt và sóng nhấp nhô phôi .....	102
<b>Hình 4.19:</b> Mối quan hệ nhám bề mặt sản phẩm và sóng nhấp nhô bề mặt phôi ..	103
<b>Hình 4.20:</b> Mối quan hệ lực cắt và vận tốc cắt thể hiện theo chiều dài cắt gọt .....	105
<b>Hình 4.21:</b> Mối quan hệ lực cắt và vận tốc cắt thể hiện theo thời gian.....	105
<b>Hình 4.22:</b> Quan hệ giữa lực cắt và vận tốc cắt .....	106
<b>Hình 4.23:</b> Quan hệ giữa nhám bề mặt sản phẩm và vận tốc cắt .....	107
<b>Hình 4.24:</b> Quan hệ giữa lực cắt và bước tiến dao .....	107
<b>Hình 4.25:</b> Quan hệ giữa độ nhám bề mặt sản phẩm và bước tiến dao.....	109
<b>Hình 4.26:</b> Tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N mô hình 3D .....	111
<b>Hình 5.1:</b> Mô hình thí nghiệm thu thập dữ liệu âm thanh khi tiện.....	113
<b>Hình 5.2:</b> Thí nghiệm thu thập dữ liệu âm thanh với chi tiết rung động và ổn định khi tiện.....	114
<b>Hình 5.3:</b> Dữ liệu âm thanh được đổi qua miền tần số .....	115

<b>Hình 5.4:</b> Biến đổi FFT các đoạn âm thanh thu được .....	115
<b>Hình 5.5:</b> Độ chính xác trên tập huấn luyện và hiệu chuẩn (hình trái ), giá trị mất mát trên tập dữ liệu huấn luyện và hiệu chuẩn (hình phải).....	116
<b>Hình 5.6:</b> Ma trận nhầm lẫn mô hình bài toán nhận diện rung động bằng âm thanh .....	116
<b>Hình 5.7:</b> Chi tiết mặt bích sau khi gia công.....	118
<b>Hình 5.8:</b> Bề mặt chi tiết tiện sau khi đo độ nhám và đánh dấu vùng ổn định và vùng rung động .....	119
<b>Hình 5.9:</b> Ảnh chụp vị trí rung động.....	120
<b>Hình 5.10:</b> Ảnh chụp vị trí ổn định .....	120
<b>Hình 5.11:</b> Chuyển đổi FFT âm thanh sang hình ảnh .....	121
<b>Hình 5.12:</b> Ảnh rung động kết hợp hình ảnh và âm thanh.....	121
<b>Hình 5.13:</b> Ảnh ổn định kết hợp hình ảnh và âm thanh .....	121
<b>Hình 5.14:</b> So sánh độ chính xác mô hình với dữ liệu đầu vào là ảnh chụp bề mặt chi tiết gia công .....	122
<b>Hình 5.15:</b> Trái: độ chính xác trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh. Phải: mất mát trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh mô hình DenseNet.....	123
<b>Hình 5.16:</b> Ma trận nhầm lẫn mô hình DenseNet dữ liệu đầu vào là hình ảnh.....	125
<b>Hình 5.17:</b> So sánh độ chính xác mô hình với dữ liệu đầu vào là ảnh chụp bề mặt chi tiết gia công .....	125
<b>Hình 5.18:</b> Ma trận nhầm lẫn mô hình DenseNet với dữ liệu đầu vào là âm thanh .....	126
<b>Hình 5.19:</b> So sánh độ chính xác mô hình với dữ liệu đầu vào là ảnh ghép âm thanh và ảnh bề mặt gia công.....	127
<b>Hình 5.20:</b> Ma trận nhầm lẫn mô hình DenseNet với dữ liệu đầu vào ảnh ghép...128	128
<b>Hình 5.21:</b> Trái: độ chính xác trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh. Phải: mất mát trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh mô hình CNN 2 dữ liệu đầu vào .....	129
<b>Hình 5.22:</b> Ma trận nhầm lẫn mô hình hai đầu vào.....	130
<b>Hình 5.23:</b> Áp dụng mô hình phát hiện bề mặt rung động.....	131

<b>Hình 5.24:</b> Nhận diện rung động trong quá trình gia công tiện .....	132
<b>Hình 5.25:</b> Biểu đồ mô phỏng lực cắt theo thời gian .....	133
<b>Hình 5.26:</b> Dữ liệu học và dữ liệu kiểm tra mô hình .....	134
<b>Hình 5.27:</b> So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình kết nối đầy đủ .....	135
<b>Hình 5.28:</b> So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình Recurrent ..	135
<b>Hình 5.29:</b> So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình LSTM.....	136
<b>Hình 5.30:</b> Dữ liệu thực nghiệm đo lực cắt theo thời gian.....	136
<b>Hình 5.31:</b> Nhóm dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra.....	137
<b>Hình 5.32:</b> So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình kết nối đầy đủ .....	137
<b>Hình 5.33:</b> So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình Recurrent ..	138
<b>Hình 5.34:</b> So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình LSTM.....	138
<b>Hình 6.1:</b> Lực từ khối và lực từ mặt tác dụng lên khối lực giác .....	140
<b>Hình 6.2:</b> Chuyển vị cán dao dưới tác dụng của lực từ.....	140
<b>Hình 6.3:</b> Các mẫu thí nghiệm .....	141
<b>Hình 6.4:</b> Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH1 .....	143
<b>Hình 6.5:</b> Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH1 .....	143
<b>Hình 6.6:</b> Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH1 .....	143
<b>Hình 6.7:</b> Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH2 .....	145
<b>Hình 6.8:</b> Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH2 .....	145
<b>Hình 6.9:</b> Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH2 .....	146
<b>Hình 6.10:</b> Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH3 .....	147
<b>Hình 6.11:</b> Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH3 .....	148
<b>Hình 6.12:</b> Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH3 .....	148
<b>Hình 6.13:</b> Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH4 .....	149
<b>Hình 6.14:</b> Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH4 .....	150
<b>Hình 6.15:</b> Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH4 .....	150

<b>Hình 6.16:</b> Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH5 .....	152
<b>Hình 6.17:</b> Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH5 .....	152
<b>Hình 6.18:</b> Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH5 .....	153
<b>Hình 6.19:</b> Chi tiết gia công đang bị rung động và có tác dụng của từ trường .....	153

# MỤC LỤC

QUYẾT ĐỊNH GIAO ĐỀ TÀI .....	i
LÝ LỊCH CÁ NHÂN .....	ii
LỜI CAM ĐOAN.....	iii
LỜI CẢM ƠN.....	iv
TÓM TẮT .....	v
ABSTRACT .....	vii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT.....	ix
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU .....	x
DANH MỤC BẢNG .....	xi
DANH MỤC HÌNH .....	xiii
MỤC LỤC .....	xix
MỞ ĐẦU .....	1
1. Lý do chọn đề tài.....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu.....	3
3. Nội dung nghiên cứu .....	3
4. Phạm vi nghiên cứu và giới hạn đề tài.....	4
5. Phương pháp nghiên cứu.....	6
6. Ý nghĩa khoa học .....	7
7. Giá trị thực tiễn .....	7
8. Cấu trúc của luận án.....	8
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN .....	9
1.1. Giới thiệu công nghệ gia công tiện .....	9
1.2. Các dạng rung động và mất ổn định trong gia công tiện .....	10
1.2.1 Rung động cưỡng bức .....	11
1.2.2 Rung động riêng .....	12

1.2.3 Tự rung .....	12
1.3. Tình hình nghiên cứu ngoài nước .....	13
1.3.1 Nghiên cứu về lý thuyết và phân tích dự đoán rung động .....	14
1.3.1.1 Phân tích biểu đồ ổn định .....	14
1.3.1.2 Phân tích Nyquist .....	16
1.3.1.3 Phân tích phần tử hữu hạn .....	17
1.3.2 Thực nghiệm dự đoán và xác định rung động .....	18
1.3.2.1. Kỹ thuật thu thập và xử lý tín hiệu .....	19
1.3.2.2. Ứng dụng tín hiệu lực và gia tốc rung động .....	20
1.3.2.3. Ứng dụng tín hiệu âm thanh và phát hiện âm thanh .....	21
1.3.2.4. Phương pháp phân tích mảnh phoi .....	23
1.3.2.5. Kỹ thuật ứng dụng trí tuệ nhân tạo .....	25
1.3.3 Các kỹ thuật và giải pháp hạn chế và loại bỏ rung động .....	28
1.3.3.1. Kỹ thuật hạn chế rung động bị động .....	28
1.3.3.2. Kỹ thuật hạn chế rung động chủ động .....	30
1.4. Tình hình nghiên cứu trong nước .....	33
1.5. Kết luận chương 1 và vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu .....	35
CHƯƠNG 2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT .....	36
2.1. Cơ học cắt gọt, hiện tượng rung động .....	36
2.2. Các yếu tố ảnh hưởng và các biện pháp hạn chế rung động [75] .....	39
2.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến rung động quá trình cắt .....	39
2.2.1.1. Ảnh hưởng của máy .....	39
2.2.1.2. Ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa dao và phôi .....	40
2.2.1.3. Ảnh hưởng của thông số hình học của dao .....	41
2.2.1.4. Ảnh hưởng chế độ cắt .....	42
2.2.1.5. Ảnh hưởng của vật liệu gia công .....	44
2.2.2. Các biện pháp nâng cao ổn định của quá trình cắt .....	45
2.2.2.1. Các biện pháp liên quan đến cấu trúc của máy .....	45

2.2.2.2.	Các biện pháp liên quan đến phôi và dụng cụ gia công.....	45
2.2.2.3.	Các biện pháp liên quan đến quá trình cắt .....	45
2.3.	Đánh giá chất lượng bề mặt gia công .....	46
2.4.	Mô phỏng quá trình tiện bằng FEM .....	46
2.5.	Lý thuyết Taguchi .....	49
2.6.	Lý thuyết về mạng Nơ-ron .....	51
2.6.1.	Mạng Nơ-ron ANN .....	51
2.6.2.	Mạng nơ-ron tích chập CNN.....	52
2.7.	Lực nam châm và mô phỏng cơ - từ trường.....	53
2.7.1.	Tính lực từ nam châm bằng phương pháp phần tử hữu hạn .....	54
2.7.2.	Bài toán môi trường đa vật lý cơ – điện từ trường.....	56
2.8.	Kết luận chương 2 .....	57
CHƯƠNG 3 THIẾT LẬP MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU .....		58
3.1.	Mô hình động lực học bài toán giảm rung bằng lực từ .....	60
3.2.	Mô hình mô phỏng gia công tiện và mô phỏng lực từ .....	63
3.2.1.	Mô phỏng tiện bằng mô hình 2D .....	64
3.2.2.	Mô phỏng tiện bằng mô hình 3D .....	66
3.2.3.	Mô hình mô phỏng lực từ trường.....	70
3.3.	Mô hình thực nghiệm .....	72
3.3.1.	Mô hình thực nghiệm tiện mặt bích mỏng .....	72
3.3.1.1.	Thiết kế mô hình thí nghiệm tiện mặt bích .....	72
3.3.1.2.	Thu thập và xử lý tín hiệu tiện mặt bích .....	74
3.3.1.3.	Kịch bản thí nghiệm tiện mặt bích.....	75
3.3.2.	Mô hình thực nghiệm giảm rung tích cực bằng lực từ.....	76
3.2.2.1.	Điều kiện thí nghiệm .....	76
3.2.2.2.	Thu thập và xử lý tín hiệu lỗi .....	77
3.2.2.3.	Trình tự thí nghiệm.....	78

3.4. Mô hình mạng Nơ-ron.....	79
3.5. Nhận diện rung động với dữ liệu đầu vào âm thanh và hình ảnh .....	80
3.6. Kết luận chương 3 .....	84
<b>CHƯƠNG 4 NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐẶC</b>	
<b>TÍNH RUNG ĐỘNG .....</b>	<b>85</b>
4.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt chi tiết bằng mô phỏng	
2D.....	85
4.1.1. Ảnh hưởng sóng bề mặt phôi .....	85
4.1.2. Tối ưu các thông số cắt gọt và sóng bề mặt phôi đến độ nhám bằng	
mô hình Taguchi .....	87
4.2. Ảnh hưởng độ cứng vững của phôi đến chất lượng bề mặt chi tiết .....	90
4.2.1. Mô hình tiện trụ .....	90
4.2.2. Mô hình tiện mặt bích mỏng .....	93
4.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến biến động của lực và chất lượng bề mặt.....	95
4.3.1. Ảnh hưởng của chiều dài cán dao .....	96
4.3.2. Ảnh hưởng sóng bề mặt phôi .....	101
4.3.3. Ảnh hưởng của vận tốc cắt.....	104
4.3.4. Ảnh hưởng của bước tiến dao .....	107
4.3.5. Ảnh hưởng đa yếu tố .....	109
4.4. Đánh giá kết quả nội dung mô phỏng khảo sát ảnh hưởng các yếu tố	112
<b>CHƯƠNG 5 ỨNG DỤNG HỌC MÁY ĐỂ NHẬN DIỆN VÀ DỰ ĐOÁN</b>	
<b>RUNG ĐỘNG .....</b>	<b>113</b>
5.1. Nhận diện rung động bằng âm thanh .....	113
5.2. Nhận diện rung động bằng âm thanh và hình ảnh.....	117
5.2.1. Thu thập dữ liệu .....	117
5.2.2. Ứng dụng các mô hình CNN phát hiện rung động bằng hình ảnh bề	
mặt chi tiết.....	122



5.2.3. Ứng dụng mô hình CNN để phát hiện rung động bằng dữ liệu âm thanh.....	125
5.2.4. Kết quả mô hình cho file hình ảnh ghép giữa file hình ảnh và file âm thanh .....	127
5.2.5. Kết quả mô hình với dữ liệu đầu vào của mô hình CNN 2 đầu vào .....	129
5.2.6. Nhận xét nội dung nhận diện rung động bằng âm thanh và hình ảnh khi tiện.....	132
5.3. Bài toán dự đoán giá trị lực theo thời gian.....	133
5.3.1. Mô hình bài toán chuỗi thời gian với dữ liệu mô phỏng.....	133
5.3.2. Mô hình bài toán chuỗi thời gian với dữ liệu thực nghiệm.....	136
5.4. Đánh giá kết quả nội dung ứng dụng máy học để nhận diện và dự đoán rung động .....	139
<b>CHƯƠNG 6 NGHIÊN CỨU GIẢM RUNG TÍCH CỰC BẰNG NGOẠI LỰC CUỖNG BỨC.....</b>	<b>140</b>
6.1. Mô phỏng biến dạng cán dao dưới tác dụng của lực từ trường.....	140
6.2. Kết quả thí nghiệm .....	141
6.2.1. Trường hợp tác động một lực theo phương cắt chính .....	142
6.2.2. Trường hợp tác động 2 lực theo phương.....	144
6.2.2.1. Tác dụng 2 lực $F_{1m} = 2F_{2m}$ .....	144
6.2.2.2. Tác dụng 2 lực $F_{1m} = F_{2m}$ .....	146
6.2.2.3. Tác dụng 2 lực $F_{2m} = F_{3m}$ .....	148
6.2.3. Tác dụng 3 lực theo 3 hướng.....	150
6.3. Nhận xét nội dung ứng dụng phương pháp giảm rung tích cực bằng ngoại lực.....	153
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....</b>	<b>155</b>
1. Kết luận của luận án.....	155

2. Tính mới của luận án.....	157
3. Kiến nghị.....	159
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	160
CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....	172
Phụ lục .....	174

## MỞ ĐẦU

Trong phần này, NCS giới thiệu về cơ sở lựa chọn hướng đi cho nghiên cứu, từ đó xác định mục tiêu, phương pháp và nội dung của luận án. Dựa trên những yếu tố này, NCS sẽ làm sáng tỏ những đóng góp quan trọng về mặt khoa học và giá trị thực tế mà luận án sẽ mang lại khi nghiên cứu đạt được kết quả. Nhờ vậy, kết quả nghiên cứu có thể được áp dụng hiệu quả trong lĩnh vực gia công hiện nay.

### 1. Lý do chọn đề tài

Tiện là một trong những phương pháp gia công phổ biến nhất, được sử dụng rộng rãi để sản xuất nhiều loại sản phẩm khác nhau. Các sản phẩm chủ yếu của gia công tiện thường có dạng tròn xoay, trong đó các chi tiết dạng tấm mỏng, trục dài, lỗ trong dài rất phổ biến. Trong quá trình gia công các chi tiết dạng trên, hiện tượng rung động thường xảy ra. Dấu hiệu của rung động là dao cắt rung lắc, bề mặt tiện không đồng đều, tiếng ồn được tạo ra trong quá trình cắt không bình thường, hệ thống công nghệ máy, phôi và đồ gá rung động bất thường. Rung động có thể gây ra nhiều tác động tiêu cực trong quá trình gia công. Đầu tiên, rung động làm giảm chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm ở công đoạn gia công tinh, điều này rất quan trọng vì ở bước gia công tinh này chất lượng bề mặt và kích thước chi tiết được hình thành. Khi đó nếu rung động xảy ra chi tiết trở thành phế phẩm không sửa được. Thứ hai, rung động có thể tạo ra tiếng ồn quá mức, làm giảm chất lượng môi trường làm việc. Thứ ba, rung động có thể gây hỏng các thành phần của máy móc, do đó làm tăng chi phí bảo dưỡng và sửa chữa. Cuối cùng, rung động cũng có thể gây giảm tuổi thọ của dụng cụ và năng suất sản xuất. Rung động là một vấn đề đã được các nhà khoa học và kỹ sư nghiên cứu trong nhiều thế kỷ nhưng đến nay rung động vẫn là một trở ngại lớn khi cố gắng tăng năng suất và chất lượng sản phẩm trong hầu hết các quy trình gia công cắt gọt, bao gồm tiện, phay, khoan và mài.

Trong tất cả các nhà máy và đơn vị gia công sản xuất và sản phẩm hiện nay, luôn đòi hỏi việc nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm. Các nhà sản xuất luôn muốn chọn thông số công nghệ cắt gọt: vận tốc cắt nhanh hơn, chiều sâu cắt lớn hơn... để giảm chi phí sản xuất, tạo lợi thế cạnh tranh. Nhưng một trong những rào

cản lớn hiện nay là rung động, vì vậy họ không thể thực hiện việc này một cách thuận lợi.

Hiện nay, do đặc thù kinh tế nên các thiết bị máy gia công cắt gọt như tiện, phay, mài ... sử dụng ở các công ty sản xuất cơ khí ở Việt Nam chủ yếu là nhập khẩu máy mới từ Đài Loan, Trung Quốc hay máy đã qua sử dụng xuất xứ từ Nhật. Thông thường, các thiết bị này có độ chính xác và độ cứng vững thấp và rất dễ xuống cấp trong thời gian ngắn. Rất ít công ty đủ kinh phí đầu tư những máy mới hiện đại từ Mỹ, Châu Âu hay Nhật với độ cứng vững và chính xác cao. Do vậy, lợi thế cạnh tranh của các công ty vừa và nhỏ ở Việt Nam rất thấp do không thể gia công sản phẩm với năng suất và độ chính xác cao với các thiết bị dễ bị rung động như vậy. Vì vậy, nhu cầu về tăng độ cứng vững, tăng khả năng chống rung động của các thiết bị ở các công ty này là rất lớn.

Hiện nay thị trường đã có một số công cụ và thiết bị công nghiệp để hạn chế và loại bỏ rung động trong quá trình tiện như phương pháp thay đổi trục chính liên tục, sử dụng cán dao giảm chấn hay cán dao có độ cứng biến dạng cao như cán dao bằng vật liệu hợp kim cứng... Tuy nhiên, các phương pháp trên còn có nhiều hạn chế trong một số trường hợp cụ thể như phương pháp thay đổi tốc độ trục chính liên tục sẽ không phù hợp với các chi tiết có đường kính thay đổi liên tục. Với cán dao giảm chấn, khi thay đổi chế độ cắt cần hiệu chỉnh lại các thông số của cán dao và điều này rất phức tạp; hơn nữa, cán dao giảm chấn chỉ có thể gia công các chi tiết có đường kính lớn hơn 16 mm. Nhược điểm của cán dao làm bằng hợp kim cứng là chi phí rất cao và thường giòn dễ gãy vỡ nên ít phổ biến. Nghiên cứu này nhằm khắc phục những hạn chế của các phương pháp giảm rung hiện có và đưa ra phương án giảm rung linh động hơn và dễ sử dụng hơn.

Bản thân tác giả tốt nghiệp kỹ sư cơ khí chế tạo máy từ Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM năm 2004 và tốt nghiệp thạc sĩ cùng ngành năm 2006. Tác giả cũng khởi nghiệp, vận hành công ty Cơ khí chế tạo máy gần 20 năm, trong quá trình thực hiện luôn gặp phải các vấn đề về rung động khi gia công, vấn đề về độ chính xác về kích thước và chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm, luôn phải tìm

phương án giải quyết hiện tượng “rung rần” bề mặt khi gia công. Tác giả luôn tìm mọi cách, học hỏi kinh nghiệm từ nhiều người mà vẫn không giải quyết được.

Chính vì vậy, luận án “Nghiên cứu phương pháp giảm rung tích cực bằng ngoại lực cưỡng bức trong quá trình tiện” là rất cần thiết. Kết quả nghiên cứu trong luận án này đóng vai trò là cơ sở khoa học và tài liệu tham khảo quan trọng để phục vụ công tác đào tạo và nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực cơ khí, đặc biệt là trong lĩnh vực gia công cơ khí. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng hướng đến việc chuyển giao công nghệ cho các đơn vị trong lĩnh vực sản xuất sản phẩm cơ khí, đặc biệt là các đơn vị sản xuất bằng chủ yếu phương pháp tiện. Kết quả nghiên cứu có thể áp dụng ở các công ty hạn chế về đầu tư máy đắt tiền như đã nói trên để tạo lợi thế cạnh tranh. Đặc biệt, kết quả nghiên cứu sẽ hữu ích đối với các đơn vị sản xuất sản phẩm dạng trụ dài đường kính nhỏ, các chi tiết dạng thành mỏng và các chi tiết dạng lỗ có đường kính nhỏ sâu vì các chi tiết này rất dễ bị rung động.

## **2. Mục tiêu nghiên cứu**

Mục tiêu của đề tài là nghiên cứu phương pháp giảm rung tích cực bằng ngoại lực cưỡng bức trong quá trình tiện nhằm cải thiện độ nhám bề mặt chi tiết thành phẩm với các mục tiêu cụ thể sau:

- + Nghiên cứu đặc tính cơ học và đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến hiện tượng rung động khi tiện.
- + Nghiên cứu ứng dụng phương pháp học máy nhận diện và phát hiện rung động trong khi tiện.
- + Nghiên cứu thiết lập mô hình thực nghiệm xác định thông số tối ưu của phương pháp giảm rung tích cực bằng ngoại lực cưỡng bức trong quá trình tiện.

## **3. Nội dung nghiên cứu**

Nghiên cứu tổng quan và cơ sở lý thuyết các vấn đề liên quan đến quá trình cắt gọt kim loại, quá trình rung động của hệ thống công nghệ máy, dao, đồ gá... Từ đó, đề xuất các vấn đề cần nghiên cứu cụ thể, các giải pháp công nghệ phù hợp và hiệu quả trong việc phát hiện, hạn chế hay loại bỏ hiện tượng rung động này.

Thiết lập các mô hình mô phỏng, các mô hình thí nghiệm để khảo sát đặc tính của hiện tượng rung động, các yếu tố ảnh hưởng rung động cũng như mô hình để thu thập dữ liệu, xử lý dữ liệu để phát hiện, hạn chế hay loại bỏ rung động.

Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến độ rung động trong khi tiện bằng phương pháp mô phỏng. Các yếu tố như chế độ cắt, chất lượng phôi, độ cứng vững cán dao ... và chỉ tiêu đánh giá độ rung động này là lực cắt và chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công.

Nghiên cứu phương pháp nhận diện phát hiện ra rung động từ các dữ liệu thu thập được như hình ảnh, âm thanh, lực, gia tốc.

Nghiên cứu ảnh hưởng của lực từ trường tác động lên đặc tính rung động của cán dao và độ nhám bề mặt chi tiết gia công với mô hình luynet từ trường.

#### **4. Phạm vi nghiên cứu và giới hạn đề tài**

Trong gia công tiện có rất nhiều mô hình tiện như: tiện trụ, tiện lỗ, tiện mặt đầu, tiện cắt đứt, tiện ren... tất cả các mô hình tiện trên đều có thể xuất hiện hiện tượng rung động do độ cứng vững của cán dao và của phôi không được đảm bảo. Tuy nhiên hiện nay các giải pháp kỹ thuật giảm rung bằng cách tăng độ cứng vững của dao như dùng vật liệu cán dao có độ cứng biến dạng cao (cán dao hợp kim cứng) hay dùng các loại giá đỡ khác nhau để tăng độ cứng vững của phôi rất hiệu quả trong mô hình tiện trụ. Chính vì vậy trong nghiên cứu này tác giả chỉ tập trung ở mô hình tiện lỗ và tiện mặt bích mỏng. Với mô hình tiện trụ nghiên cứu chỉ tập trung khảo sát ảnh hưởng của độ cứng vững phôi đến rung động bằng phương pháp mô phỏng.

Hiện nay thép và hợp kim của thép được sử dụng rất phổ biến do cơ tính và giá thành thấp. Ngoài ra với các ưu điểm về đặc tính trọng lượng nhẹ và cơ tính ngày càng được nâng cao nhôm và các hợp kim nhôm ngày càng phổ biến trong lĩnh vực gia công chế tạo máy như như lĩnh vực hàng không, lĩnh vực thiết bị tự động hóa như xi lanh khí nén, van khí nén ... Nên trong nghiên cứu này tác giả sử dụng hai loại vật liệu chính là thép SS400 cho mô hình tiện mặt bích và nhôm Al

6061 cho mô hình tiện lỗ. Hai loại vật liệu này là hai loại vật liệu được sử dụng phổ biến nhất trong lĩnh vực gia công chế tạo máy.

Trong nội dung nhận diện rung động trong quá trình tiện bằng công cụ máy học có rất nhiều tín hiệu có thể được thu thập để đưa vào mô hình huấn luyện như: lực cắt, gia tốc rung động và âm thanh và hình ảnh. Môi trường làm việc trong khi tiện rất khắc nghiệt do phoi bắn, nước làm mát, nhiệt...nên việc bố trí các thiết bị cảm biến trong buồng máy khá khó khăn. Do vậy tác giả sử dụng âm thanh như là tín hiệu giám sát quá trình và hình ảnh bề mặt chi tiết đặc trưng cho kết quả của quá trình. Ngoài ra do hạn chế về cách bố trí thiết bị cảm biến hình ảnh (máy ảnh) khi thu thập hình ảnh tiện lỗ nên nghiên cứu chỉ thiết lập nhận diện rung động bằng hình ảnh cho mô hình tiện mặt bích. Ngược lại với thuận lợi về bố trí thiết bị thu thập dữ liệu âm thanh nên nghiên cứu thực hiện cho cả hai mô hình tiện lỗ và tiện mặt bích mỏng.

Tương tự do hạn chế hiện tại trong việc bố trí thiết bị tạo ra lực cho mô hình bài toán tiện mặt bích từ nên tác giả chỉ sử dụng mô hình tác động lực từ lên cán dao cho bài toán tiện lỗ. Với mô hình tiện mặt bích mỏng với kết quả bài toán nhận diện và phát hiện rung động đó là cơ sở để các kỹ sư công nghệ thực hiện các phương pháp gá đặt hợp lý nhằm tránh hiện tượng rung động này.

Tóm lại, các mô hình nghiên cứu của luận án là bức tranh tổng thể về hiện tượng rung động trong khi tiện và các giải pháp kỹ thuật để thu thập dữ liệu phát hiện rung động và áp dụng lực từ trường để cải thiện rung động. Tùy vào phương pháp nghiên cứu với ưu điểm và nhược điểm của từng phương pháp mà mô hình nghiên cứu sẽ phù hợp. Với khả năng linh động và ưu điểm của phương pháp mô phỏng, luận án áp dụng cho cả ba mô hình tiện trụ, tiện mặt bích và cả tiện lỗ. Tuy nhiên với phương pháp thu thập và xử lý tín hiệu âm thanh và hình ảnh, nghiên cứu chỉ tập trung cho mô hình tiện mặt bích và tiện lỗ. Và khi áp dụng lực từ cường bức nghiên cứu tập trung cho mô hình tác dụng lực lên cán dao tiện lỗ. Điều này cũng rất phù hợp trong mô hình thực tế khi các giải pháp kỹ thuật giảm rung hiện có rất phổ biến và hiệu quả cho mô hình tiện trụ và tiện mặt bích. Với mô hình tiện lỗ sâu,

rung động vẫn là thách thức với các nhà nghiên cứu và các nhà sản xuất đặc biệt với các chi tiết lỗ sâu và dài ví dụ như thân xi lanh khí nén.

Có nhiều chỉ tiêu để đánh giá độ rung động trong quá trình tiện như: đánh giá qua độ biến động lực cắt, đánh giá qua gia tốc rung, qua chuyển vị của phôi và dao ... Tuy nhiên nghiên cứu này sử dụng chỉ tiêu độ nhám bề mặt với hai tiêu chí đó là Ra và Rz được sử dụng để làm chỉ tiêu đánh giá độ rung động trong quá trình tiện bởi vì kết quả rung động ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng bề mặt sản phẩm. Với các thiết bị đo độ nhám phổ biến trên thị trường và trong công nghiệp sẽ thuận lợi cho việc nghiên cứu.

Có nhiều phương pháp để tạo ra lực cưỡng bức bên ngoài tác động làm giảm quá trình rung động khi gia công như lực nam châm vĩnh cửu, vật liệu từ giáo và điện giáo... Trong nghiên cứu này sử dụng lực từ trường từ nam châm điện một chiều với điện áp 0 – 24V do nam châm điện một chiều rất phổ biến và dễ điều khiển giá trị lực thay đổi theo ý muốn.

## **5. Phương pháp nghiên cứu**

Trong quá trình thực hiện, tác giả sử dụng các phương pháp nghiên cứu sau:

Mô phỏng quá trình tiện và các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến rung động.

Phương pháp học máy cụ thể là thuật toán CNN với các cấu trúc mạng DenseNet, VGG16, Inception Net, ResNet và mô hình CNN đa dữ liệu đầu vào để nhận diện phát hiện ra hiện tượng rung động.

Phương pháp học máy cụ thể là bài toán chuỗi thời gian với hai mô hình Recurrent Neuron Network và Long Short Term Memory để dự đoán giá trị lực tương lai dựa vào lịch sử lực cắt và giá trị lực cắt dự đoán theo thời gian sẽ mang đặc trưng về đặc tính rung động của hệ.

Thực nghiệm, thu thập và phân tích dữ liệu khảo sát ảnh hưởng của lực từ trường đến đặc tính rung động và chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm. Từ đó xác định thông số tối ưu của lực từ trường này.

Trong nghiên cứu này, các thiết bị nghiên cứu đã được thực hiện bằng sự hỗ trợ các trang thiết bị có sẵn tại Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ



Chí Minh như: máy tiện, đo độ nhám, thiết bị cảm biến (cảm biến gia tốc rung động, cảm biến lực,...) và các vật liệu gia công cơ khí thông dụng ở tại Việt Nam. Bên cạnh đó, với sự hỗ trợ của Viện công nghệ cao Cirtech - ĐH Kỹ thuật Công nghệ Tp. HCM, thiết bị máy chủ với cấu hình GPU mạnh để huấn luyện các mô hình học máy. Tuy nhiên, so với các nghiên cứu về lĩnh vực cơ khí cắt gọt được tiến hành tại các quốc gia phát triển, một trong những hạn chế của phương pháp nghiên cứu trong luận án này là không thể sử dụng các thiết bị kiểm tra hiện đại trên thế giới như: các thiết bị đo lực chính xác từ thạch anh (cảm biến lực Kistler), các thiết bị đo chuyển vị, đo gia tốc chính xác, cũng như sử dụng các vật liệu thông minh như từ giảo, điện giảo để là tác nhân cưỡng bức tác động vào quá trình tiện.

## **6. Ý nghĩa khoa học**

Mô phỏng quá trình cắt gọt với các yếu tố công nghệ khác nhau dẫn đến khảo sát được các yếu tố tác động lên quá trình thời gian nhanh với chi phí thấp so với làm thực nghiệm. Áp dụng các công cụ thông minh trí tuệ nhân tạo để phát hiện, giải mã các quy luật các cơ chế hiện tượng rung động phi tuyến phức tạp trong gia công. Bằng cách thay đổi thông số hệ cơ học, lực tác động cưỡng bức bên ngoài làm thay đổi đặc tính rung động của hệ rung động.

## **7. Giá trị thực tiễn**

Từ kết quả nghiên cứu, việc hiểu rõ quy luật hoạt động, cơ chế ảnh hưởng của các thông số đến hiện tượng rung động sẽ giúp các nhà nghiên cứu các kỹ sư công nghệ lựa chọn thông số phù hợp tránh rung động khi gia công. Thông qua kết quả nghiên cứu, bằng phương pháp máy học có thể chế tạo các thiết bị phát hiện rung động và học dự đoán được quy luật rung động của hệ thống để hiểu rõ đặc trưng rung động của hệ thống hiện có. Với kết quả của việc nghiên cứu tác động của lực từ trường và chế tạo thành công bộ luynet từ trường được cấp bằng giải pháp hữu ích và có thể áp dụng vào công nghiệp.

## **8. Cấu trúc của luận án**

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

Chương 3: Thiết lập mô hình nghiên cứu

Chương 4: Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính rung động

Chương 5: Ứng dụng học máy để nhận diện và dự đoán rung động

Chương 6: Nghiên cứu giảm rung tích cực bằng ngoại lực cưỡng bức

Kết luận, kiến nghị và phụ lục

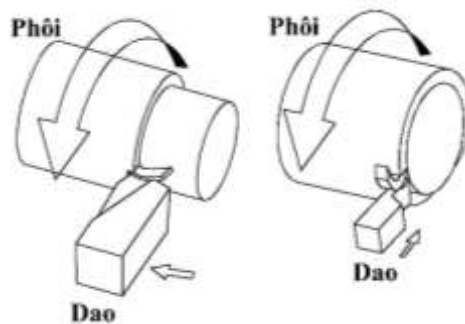
# CHƯƠNG 1

## TỔNG QUAN

Giới thiệu tổng quan về công nghệ gia công tiện. Thống kê và phân tích các nghiên cứu đã được thực hiện cả trong lẫn ngoài nước về hiện tượng rung động trong quy trình tiện. Qua đó, đánh giá các thành tựu đã đạt được và phát hiện những khía cạnh cần được cải thiện. Đưa ra các đề xuất về các vấn đề cần được nghiên cứu tiếp theo và các giải pháp công nghệ phù hợp, hiệu quả.

### 1.1. Giới thiệu công nghệ gia công tiện

Tiện là phương pháp gia công cắt gọt thông dụng nhất, tạo nên bề mặt gia công nhờ hai chuyển động gọi là chuyển động tạo hình: chuyển động quay tròn của chi tiết và di chuyển thẳng của dao (hình 1.1).



**Hình 1.1:** Nguyên lý khi tiện: trái (tiện trụ), phải (tiện mặt đầu)

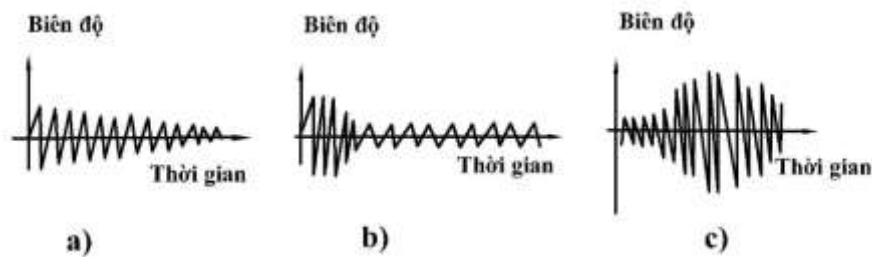
Để thực hiện quá trình cắt kim loại, dao cần áp dụng một lực lên phôi để vượt qua lực liên kết trong cấu trúc kim loại. Mức độ lực cắt có ảnh hưởng đến tuổi thọ của dao và chất lượng bề mặt sau quá trình gia công.

Chính vì các nguyên nhân ảnh hưởng đến giá trị lực như trên nên lực tác dụng khi tiện không phải là lực tĩnh mà là lực động. Trong quá trình tiện cắt gọt, hiện tượng rung động luôn xuất hiện và lan truyền qua toàn bộ hệ thống công nghệ bao gồm máy móc, dao cắt, đồ gá và chi tiết. Trong số rung động này, rung động của dao và chi tiết tác động trực tiếp đến chất lượng bề mặt sản phẩm và độ chính xác của quá trình gia công chi tiết.

## 1.2. Các dạng rung động và mất ổn định trong gia công tiện

- Quá trình cắt được coi là ổn định khi dao cắt, dưới tác dụng của lực và sau khi bị biến dạng, sẽ tự điều chỉnh đến một vị trí cân bằng. Quá trình dao động có đặc điểm dao cắt dao động tắt dần hoặc giảm đáng kể độ lớn và ít biến đổi trong thời gian tiếp theo của dao động.

- Quá trình cắt được xem là mất ổn định khi rung động trong quá trình cắt ngày càng gia tăng, có thể biên độ rung động tăng hoặc dao cắt dần dần thoát khỏi vị trí cân bằng cho đến khi đạt đến một giới hạn xác định (hình 1.2).



**Hình 1.2:** Phân biệt trạng thái ổn định và mất ổn định; (a,b): Trạng thái ổn định; (c): Trạng thái mất ổn định

Rung động lần đầu tiên được xác định là hiện tượng hạn chế khả năng tăng năng suất gia công bởi Taylor[1] và được tổng hợp bởi Milton C. Shaw[2] và Altintas[3], Taylor người đã tiến hành nghiên cứu rất sâu về các quy trình cắt gọt kim loại từ sớm ở thế kỷ 19. Mô hình lực cắt theo luật công suất  $3/4$  đã được đưa ra, nghĩa là khi rung động xảy ra người thợ gia công nên giảm đi  $1/3$  khả năng máy và ông khẳng định rằng rung động là "vấn đề mơ hồ và tinh vi nhất mà người thợ máy phải đối mặt". Arnold [4] đã kiểm tra nhiều yếu tố ảnh hưởng đến dao cắt trong quá trình tiện, cả về mặt phân tích và thực nghiệm cho máy tiện và các máy khác và giải thích các cơ chế tạo ra rung động và đề xuất lý thuyết lực cắt là một hàm của tốc độ. Ông cũng cho rằng nguyên nhân rung động không phải do các lực bên ngoài, mà là do các lực được tạo ra và tồn tại trong quá trình cắt chính nó. Theo Tobias [5] và Tlustý [6] nguyên nhân rung động là do sự không ổn định hệ thống công nghệ trong các quá trình gia công. Khi quan sát rung động của dao và phôi, tác giả nhận thấy khi rung động lực cắt thay đổi một cách liên tục và lần lượt theo chu

kỳ tuần hoàn nhưng tăng dần biên độ và cuối cùng quá trình này là hiện tượng rung động xảy ra. Chiều sâu cắt là thông số quan trọng trong việc quyết định rung động xảy ra hay không trong quá trình cắt. Tlustý và Polacek đã trình bày điều kiện ổn định khi gia công tiện trong đó giới hạn ổn định được tính toán dựa trên động lực học của hệ thống. Nghiên cứu phát hiện khi tiện với độ sâu cắt cao hơn giới hạn ổn định, cường độ của các lực động và dao động tăng lên, tạo ra trạng thái không ổn định và khi đó rung động xảy ra. Giải pháp giải quyết là chọn lực cắt tương ứng với đặc điểm động lực học của hệ thống công nghệ. Tobias [5] và Meritt [7] đã nghiên cứu về mô hình động lực học đáp ứng, các vấn đề độ cứng vững hệ thống công nghệ và các vấn đề giới hạn ổn định của rung động. Tuy nhiên những nghiên cứu này chỉ áp dụng cho cắt trực giao, với hướng của lực cắt và độ dày cắt gọt không thay đổi theo thời gian.

Trong quá trình tiện, thông thường tồn tại ba loại rung động khác nhau do thiếu độ cứng vững của hệ thống công nghệ, bao gồm dao, gá dao, phôi và máy, như Tobias [7] đã giải thích. Các loại rung này bao gồm rung tự do, rung cưỡng bức và rung tự kích. Rung tự do xảy ra do các lực va đập, còn rung cưỡng bức là do tác động của sự mất cân bằng trong các bộ phận của máy công cụ như hệ truyền động, vòng bi, trục. Rung tự do và rung cưỡng bức có thể dễ dàng xác định và loại bỏ. Tuy nhiên, rung tự kích vẫn chưa được hiểu rõ hoàn toàn do tính phức tạp của tự rung. Đây là loại rung gây hại nhất trong mọi quá trình gia công, bao gồm cả quá trình tiện.

### **1.2.1 Rung động cưỡng bức**

Rung động cưỡng bức là hiện tượng rung động xuất hiện khi một lực kích thích động lực học tác động vào cấu trúc của hệ thống công nghệ.

Đặc điểm của rung động cưỡng bức là hệ thống công nghệ sẽ rung động với tần số của lực kích thích và rung động sẽ xuất hiện với biên độ rất lớn khi tần số kích thích xấp xỉ hoặc bằng tần số dao động riêng của hệ thống hoặc của một chi tiết cụ thể trong hệ thống, được gọi là "chi tiết điều khiển" như trục chính của máy tiện hoặc bàn xe dao máy tiện. Trạng thái này được gọi là trạng thái cộng hưởng.

### **1.2.2 Rung động riêng**

Rung động riêng của hệ thống công nghệ là hiện tượng rung động phát sinh do va đập trong quá trình hoạt động, ví dụ như khi đóng li hợp hoặc khi dụng cụ bắt đầu vào quá trình cắt.

Rung động riêng thực chất là một dạng rung động cưỡng bức xảy ra khi có lực kích thích dạng xung. Tuy nhiên ảnh hưởng của rung động riêng không đáng kể vì nó là một loại rung động tắt dần rất nhanh.

### **1.2.3 Tự rung**

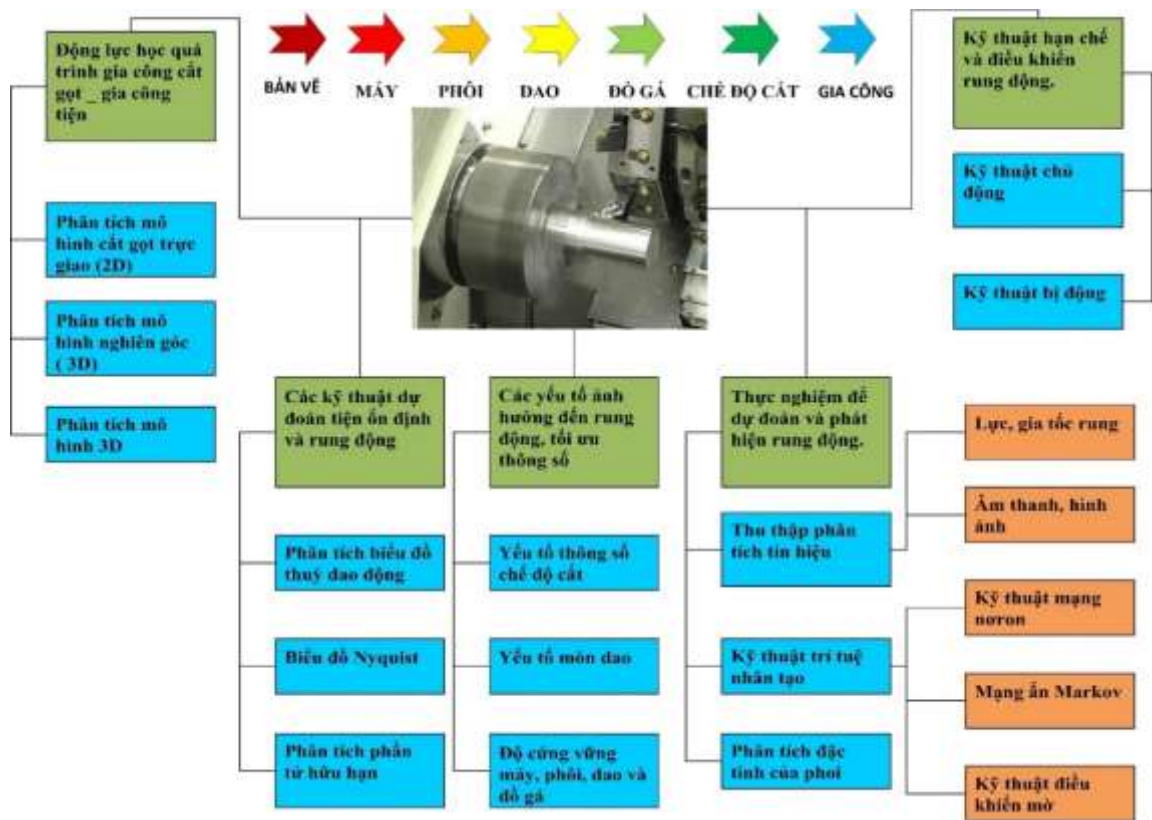
Tự rung là hiện tượng rung động xuất hiện và diễn ra song hành với quá trình cắt. Sự hình thành của tự rung không phải do tác động của lực bên ngoài mà là do chính quá trình cắt. Khi quá trình cắt ngừng lại, tự rung cũng sẽ kết thúc. Trong một số điều kiện nhất định, loại rung động này được xem là yếu tố chủ yếu gây ra sự không ổn định.

Tự rung hay còn gọi là rung tự kích thường được phân loại thành rung tự kích chính và rung tự kích phụ [8]. Rung tự kích chính do ma sát giữa dao và phôi, hiệu ứng nhiệt cơ hoặc sự kết hợp giữa chúng. Rung tự kích phụ do sự tái tạo bề mặt gồ ghề trên phôi. Rung tự kích là loại rung ảnh hưởng xấu nhất so với các loại rung khác. Đa phần nghiên cứu đã được tiến hành để tránh rung tự kích này bằng cách dự đoán sự xảy ra sớm hơn hoặc phát hiện rung động ngay khi rung động xảy ra. Nhiều nhà nghiên cứu đã thử nghiệm các phương pháp kiểm soát rung tự kích bằng cách điều khiển chủ động hoặc bị động. Quintana và Ciurana [9] đã trình bày nghiên cứu về trạng thái hiện tại của rung tự kích trong quá trình gia công và phân loại các phương pháp hiện tại đảm bảo điều kiện cắt không rung. Quá trình phân tích rung tự kích, dự đoán sự ổn định rung và phát hiện rung là rất phức tạp, cần được nghiên cứu độc lập cho từng quá trình cắt khác nhau như tiện, phay và khoan.

Đối tượng nghiên cứu của đề tài chính là hiện tượng rung động tự kích này. Tiếng Anh gọi là “chatter”, để đơn giản trong tài liệu này khi nói đến rung động hay rung rần chính là chỉ đến loại rung động tự kích này.

### **1.3. Tình hình nghiên cứu ngoài nước**

Tình hình nghiên cứu về rung động trong quá trình tiện trên thế giới đang nhận được sự quan tâm rất lớn từ cộng đồng nghiên cứu và ngành công nghiệp gia công. Rung động trong quá trình tiện là một vấn đề phức tạp và có thể ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng gia công và hiệu suất sản xuất. Vì vậy, nhiều nhà nghiên cứu và tổ chức nghiên cứu đang tìm hiểu và phát triển các phương pháp và công nghệ để phòng ngừa hoặc kiểm soát rung động trong quá trình tiện. Các nghiên cứu về rung động trong quá trình tiện trên thế giới tập trung vào nhiều khía cạnh khác nhau (hình 1.3). Một số nghiên cứu tập trung vào việc phân tích và hiểu cơ chế rung động, bao gồm tác động của thông số cắt, hình học công cụ, độ cứng vật liệu, và các yếu tố khác đến sự phát sinh của rung động. Các phương pháp mô phỏng và mô hình hóa cũng được sử dụng để nghiên cứu và dự đoán rung động. Nghiên cứu cũng tập trung vào việc phát triển các công cụ và hệ thống giám sát rung động để theo dõi và phát hiện rung động. Các công nghệ như cảm biến âm thanh, cảm biến gia tốc, và hệ thống giám sát tự động được sử dụng để thu thập dữ liệu và phân tích tín hiệu để xác định sự phát sinh của rung động. Ngoài ra, các nghiên cứu còn tìm hiểu về các phương pháp kiểm soát rung động nhằm giảm thiểu tác động của rung động đến quá trình tiện. Các phương pháp này có thể bao gồm sử dụng hệ thống điều khiển tự động, tối ưu hóa tham số cắt, cải tiến thiết kế công cụ, và sử dụng vật liệu gia công đặc biệt.



**Hình 1.3:** Các hướng nghiên cứu về rung động trong gia công tiện

### 1.3.1 Nghiên cứu về lý thuyết và phân tích dự đoán rung động

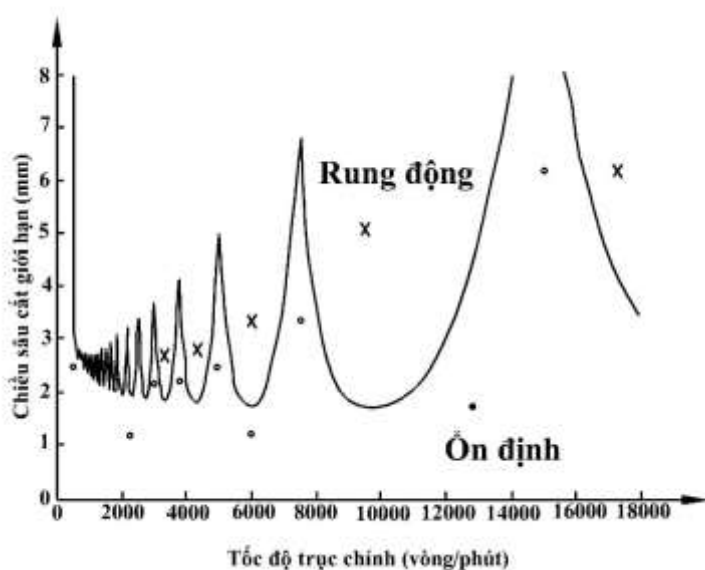
Có nhiều phương pháp khác nhau để dự đoán điều kiện ổn định của hiện tượng rung động trong khi tiện, trong đó các phương pháp phổ biến nhất bao gồm xây dựng SLD, sử dụng biểu đồ Nyquist và phân tích phân tử hữu hạn. Trong đó xây dựng biểu đồ SLD là phương pháp phổ biến nhất được các nhà nghiên cứu và các kỹ sư ưa chuộng do tính đơn giản và rõ ràng trong việc xác định trạng thái cắt ổn định và không ổn định. SLD có thể được tạo cho các mô hình toán học chứa bất kỳ số bậc tự do DoF nào trong quá trình cắt.

#### 1.3.1.1 Phân tích biểu đồ ổn định

Trong kỹ thuật gia công, Stability Lobe Diagram là biểu đồ được sử dụng để đánh giá và dự đoán ổn định của quá trình cắt (hình 1.4). Biểu đồ này trình bày các vùng ổn định và không ổn định của quá trình cắt dựa trên các tham số như vận tốc cắt và độ sâu cắt. Trên biểu đồ, trục ngang thể hiện vận tốc cắt, trong khi trục đứng thể hiện độ sâu cắt. Các đường cong hoặc vùng trên biểu đồ biểu thị các điểm ổn



định và không ổn định của quá trình cắt. Khi các điểm nằm trong vùng ổn định, quá trình cắt là ổn định và không gây ra hiện tượng rung động. Ngược lại, khi các điểm nằm trong vùng không ổn định, quá trình cắt sẽ gặp vấn đề rung động và không ổn định. SLD giúp kỹ sư và nhà nghiên cứu xác định các thông số gia công tối ưu để đạt được quá trình cắt ổn định và tăng năng suất gia công. SLD là công cụ quan trọng để đánh giá và tối ưu hóa quá trình cắt trong các ứng dụng gia công khác nhau.



**Hình 1.4:** Biểu đồ trạng thái ổn định giữa tốc độ trục chính và chiều sâu cắt [10].

Tham số cắt quan trọng nhất, quyết định cho việc phát sinh rung động trong quá trình tiện, là chiều sâu cắt. Quá trình cắt sẽ ổn định hơn khi chiều sâu cắt nhỏ hơn. Khi tăng chiều sâu cắt, rung động bắt đầu xảy ra ở một giá trị giới hạn của chiều sâu cắt giới hạn ( $b_{lim}$  - giới hạn chiều sâu cắt) và rung động trở nên rõ hơn khi tăng  $b$  lớn hơn  $b_{lim}$ . Do đó,  $b_{lim}$  là tham số quan trọng nhất đối với tính ổn định của quá trình cắt. Giá trị của  $b_{lim}$  phụ thuộc vào đặc tính động của hệ thống công nghệ, vật liệu chi tiết, vận tốc cắt và tốc độ cấp liệu, và thông số hình học của dao [7], [10]. SLD có thể được sử dụng để dự đoán tính ổn định rung động trong quá trình tiện. Giới hạn chiều sâu cắt  $b_{lim}$  sẽ khác nhau ở từng tốc độ trục chính ( $n$ ) khác nhau. Rung động của dao và chi tiết gia công xuất hiện dưới dạng các thùy ( $n = 1, 2,$

3, y) và bất kỳ sự kết hợp chiều sâu cắt và tốc độ trục nào nằm dưới các thùy này sẽ dẫn đến quá trình hoạt động ổn định (không rung động), và nằm trên các thùy này sẽ dẫn đến quá trình hoạt động không ổn định (rung động). Với sự trợ giúp của SLD, rất dễ dàng để lựa chọn các kết hợp tốc độ trục và chiều sâu cắt lý tưởng để đạt được tỷ lệ bóc tách vật liệu tối đa trong quá trình tiện. Meritt [7] đã trình bày các điều kiện ổn định thông qua biểu đồ ổn định, trong đó có thể dự đoán rung động dựa trên các thông số quá trình, chẳng hạn như chiều sâu cắt và tốc độ trục. Điều đó đóng góp quan trọng vì phương pháp cho phép cải thiện tỷ lệ loại bỏ vật liệu mà không gây rung động bằng cách lựa chọn các tham số quá trình thích hợp. Các mô hình ổn định rung động tuyến tính được trình bày bởi Das, Tobias [11] và Tlustý [12] đã xem xét tác động của chiều dày lớp cắt gọt thay đổi, sẽ làm thay đổi lực cắt. Sự thay đổi lực cắt này là nguyên nhân của rung động.

#### 1.3.1.2 Phân tích Nyquist

Biểu đồ Nyquist được tạo ra bằng cách biểu diễn phổ phản hồi của hệ thống trong biểu đồ phức tạp. Trên biểu đồ Nyquist, phần thực của phổ phản hồi được đặt trên trục x và phần ảo được đặt trên trục y. Biểu đồ Nyquist biểu thị sự phân bố của các điểm trên mặt phẳng phức tạp, đại diện cho phổ phản hồi của hệ thống. Các đường cong hoặc hình dạng trên biểu đồ Nyquist có thể cung cấp thông tin về tính ổn định của hệ thống. Ví dụ, nếu tất cả các điểm của phổ phản hồi nằm trong nửa phần phải của mặt phẳng phức tạp (phần thực dương), thì hệ thống được coi là ổn định. Ngược lại, nếu có ít nhất một điểm nằm trong nửa phần trái (phần thực âm), thì hệ thống có thể không ổn định. Biểu đồ Nyquist là công cụ hữu ích trong phân tích và thiết kế hệ thống điều khiển, cho phép kiểm tra và đánh giá tính ổn định của hệ thống phản hồi và tối ưu hóa hiệu suất điều khiển.

Một số nhà nghiên cứu đã sử dụng biểu đồ Nyquist để dự đoán rung động. Nigm [13] đã đề xuất phương pháp dựa trên lý thuyết điều khiển phản hồi có tính chất tương tự với Meritt [7] nhưng có lợi thế là tính đến động lực học của quá trình cắt. Phương pháp phân tích này thích hợp để triển khai cả đồ họa hoặc phân tích và phương pháp có thể tính toán toàn bộ dải tái sinh. Tác giả đã sử dụng tiêu chí

Nyquist để dự đoán tính ổn định. Phương pháp chỉ yêu cầu vẽ biểu đồ tiếp nhận thay vì vẽ đường biên tần số đáp ứng mở bằng yêu cầu của tiêu chí Nyquist. Vẽ biểu đồ tiếp nhận ít tốn thời gian hơn việc vẽ đường biên tần số đáp ứng mở. J. Qiu [14], Wang [15] và Altintas [16] cũng đã thực hiện phân tích ổn định sử dụng tiêu chí Nyquist. Ổn định rung động của quá trình cắt động được giải quyết bằng cách sử dụng tiêu chí Nyquist để xác định các hệ số lực cắt động để phân tích tác động của vận tốc cắt, mài mòn dụng cụ, tần số rung và bước sóng lên tính ổn định rung động.

### 1.3.1.3 Phân tích phần tử hữu hạn

FEM hoặc FEA là phương pháp tính toán số dựa trên phương trình vi phân để mô phỏng và phân tích các hiện tượng cơ học trong các hệ thống phức tạp. Trong việc phát hiện rung động trong quá trình tiện, FEM/FEA có thể được sử dụng để phân tích và dự đoán hiện tượng này. Phương pháp FEM/FEA giúp dự đoán và đánh giá khả năng xảy ra rung động, từ đó giúp tối ưu hóa thông số tiện, thiết kế đồ gá, hoặc điều khiển quá trình tiện để tránh rung động không mong muốn và nâng cao hiệu suất. Bằng cách phát hiện rung động bằng FEM/FEA trước khi rung động xảy ra, các biện pháp phòng ngừa có thể được áp dụng để giảm thiểu hoặc loại bỏ rung động, đảm bảo chất lượng gia công và tăng năng suất [17], [18].

Mahdavinejad [19] đã dự đoán tính ổn định của quá trình tiện bằng phân tích phần tử hữu hạn bằng phần mềm ANSYS. Tính linh hoạt của cấu trúc máy móc, chi tiết gia công và dụng cụ đã được xem xét trong mô hình FEA này. Altan T và cộng sự [20] đề xuất mô hình tiện 3D dựa trên FEA. Mô hình FEA 3D này có khả năng xác định các lực cắt trong trường hợp hình dạng phôi và dao phức tạp. Kỹ thuật FEM/FEA rất hữu ích trong việc dự đoán tính ổn định trong giai đoạn thiết kế của bất kỳ quá trình nào, giúp tiết kiệm rất nhiều thời gian và tiền bạc trong môi trường sản xuất. Hạn chế của mô hình FEM là không thể xem xét các thuộc tính của mối nối giữa các bộ phận ghép của máy công cụ vì các thuộc tính này khó mô tả theo cách toán học. Với sự tiến bộ trong khả năng tính toán và công nghệ, các mô hình

phân tích tiên tiến hơn trong tương lai có khả năng được nghiên cứu sử dụng các kỹ thuật FEM/FEA.

### **1.3.2 Thực nghiệm dự đoán và xác định rung động**

Do yêu cầu ngày càng áp lực về việc giảm chi phí sản xuất và dưới áp lực của thị trường, quá trình gia công tự động trở thành hướng phát triển quan trọng trong hầu hết các ngành công nghiệp sản xuất. Tương tự, công nhân đứng máy giám sát quá trình gia công tiện ngày càng bị hạn chế, công việc của nhân viên thường là phát hiện rung động bất thường để tránh tác động tiêu cực đến bề mặt sản phẩm và gây sai số hình dáng và kích thước chi tiết gia công hoặc những sự cố bất thường. Do đó, các hệ thống nhận diện và phát hiện rung động và sự cố trong lúc gia công luôn được đầu tư nghiên cứu và phát triển. Kỹ thuật thực nghiệm rất hữu ích trong việc dự đoán điều kiện ổn định ở chế độ ngoại tuyến và phát hiện sự bắt đầu rung động ở chế độ trực tuyến. Các kỹ thuật thực nghiệm này có thể dùng làm dữ liệu để thiết lập môi trường gia công tự động. Kỹ thuật thực nghiệm được áp dụng ngoại tuyến để dự đoán tính ổn định rung động bằng cách tạo ra SLD của hệ thống với sự trợ giúp của các thông số của hệ thống dụng cụ - chi tiết gia công được thu được thông qua gia công thử. Tuy nhiên việc xây dựng SLD bằng thử nghiệm cắt trực tiếp rất tốn chi phí và tốn thời gian. Các kỹ thuật thực nghiệm được phân loại và đánh giá dựa trên các kỹ thuật được sử dụng để dự đoán tính ổn định rung động phổ biến như xử lý tín hiệu, phân tích mảnh và phương pháp trí tuệ nhân tạo.

Giám sát điều khiển tín hiệu có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các tín hiệu lực, gia tốc rung và âm thanh. Armarego và B. Toubhans [21], [22] đã tiến hành các thử nghiệm cắt trực giao theo nhiều vận tốc cắt, bước tiến dao và chiều sâu cắt để tạo ra cơ sở dữ liệu gia công tiện cho từng loại dao và vật liệu tương ứng. Knight [23], [24], [25] trình bày biểu đồ ổn định thực nghiệm cho quá trình tiện với mô hình cấu trúc máy công cụ đơn giản cho các điều kiện cắt khác nhau và cho thấy sự biến đổi đáng kể trong mức độ ổn định với vận tốc cắt, bước tiến dao và chiều sâu cắt.

### 1.3.2.1. Kỹ thuật thu thập và xử lý tín hiệu

Xác minh và phát hiện tính ổn định rung động dự đoán có thể được thực hiện với các cảm biến khác nhau có thể đo lường lực, di chuyển, vận tốc, gia tốc và tín hiệu âm thanh được tạo ra từ quá trình gia công. Các cảm biến khác nhau được sử dụng để thu thập các tín hiệu trên và trở thành một phần của hệ thống thu tín hiệu. Sau đó, tiến hành xử lý tín hiệu để thu được thông tin hữu ích từ các tín hiệu nhận được thông qua các cảm biến [24], [25]. Các kỹ thuật xử lý tín hiệu truyền thống như phân tích miền thời gian, phân tích miền tần số và phân tích miền thời gian-tần số thông thường được khảo sát.

F. Bleicher và D. Biermann [26] đã thử nghiệm nhiều loại cảm biến và khả năng của chúng để phát hiện rung động và mòn của dụng cụ trong quá trình gia công, với mục tiêu xây dựng một trung tâm gia công không cần sự giám sát của con người. Các loại cảm biến lực, rung và âm thanh đã được thử nghiệm trong quá trình tiện và phay. Kết quả cho thấy rằng tín hiệu lực là tín hiệu hiệu quả nhất để phát hiện rung động, so với tín hiệu khác. Điều này là do rung động biểu thị sự chuyển động tương đối giữa dao và chi tiết gia công, làm cho việc đo bằng cảm biến rung trở nên khó khăn. Trong khi đó, lực cắt cung cấp thông tin trực tiếp về sự chuyển động tương đối giữa dao và chi tiết gia công, với các biến đổi lực cắt rõ ràng, giúp phân biệt rung động trở nên dễ dàng hơn.

Heyns [27] và Zhu [28] cho rằng các phương pháp miền thời gian thường được sử dụng phổ biến nhất trong TCM, nhưng các phương pháp này mất đi một số thông tin tín hiệu trong miền thời gian. Phép biến đổi Fourier nhanh (FFT) và Phép biến đổi Wavelet (WT) đã được so sánh và phát hiện rằng WT hiệu quả hơn rất nhiều so với FFT, do tính đặc trưng và tính cục bộ của phương pháp. WT cung cấp thông tin về tần số theo cách được cục bộ hóa trong thời gian. WT có tiềm năng lớn trong việc phát hiện các thay đổi đột ngột dao cắt trong TCM. Phương pháp WT hữu hiệu và không nhạy cảm với các điều kiện làm việc thay đổi.

### 1.3.2.2. Ứng dụng tín hiệu lực và gia tốc rung động

Việc sử dụng đo lực và rung trong quá trình tiện có thể giúp phát hiện sớm các hiện tượng rung động. Cảm biến lực và rung được sử dụng để đo và ghi lại thông tin về lực tác động và dao động của công cụ cắt. Khi rung động xảy ra, thông số lực và rung thường có xu hướng tăng lên, cho thấy sự không ổn định trong quá trình gia công.

Dữ liệu thu thập từ đo lực và rung sau đó có thể được phân tích để xác định các tín hiệu của rung động. Việc phát hiện sớm và theo dõi rung động trong quá trình tiện giúp ngăn chặn các vấn đề liên quan đến chất lượng sản phẩm, bảo vệ công cụ cắt và tăng hiệu suất quá trình gia công. Tín hiệu lực và rung được ưa chuộng bởi hầu hết các nhà nghiên cứu vì chúng cung cấp cái nhìn tổng quan về động học của quá trình cắt và rất hữu ích trong việc giám sát điều kiện của các quá trình gia công. Kỹ thuật đo lực và rung là một trong những kỹ thuật được sử dụng phổ biến nhất trong việc phát hiện rung tái sinh, do mối quan hệ phức tạp giữa lực cắt, rung động và các cơ chế gây ra rung động. Các kỹ thuật xử lý tín hiệu khác nhau được sử dụng để thu được các tín hiệu cần thiết từ đo lực và đo rung.

H. Dogan [29] và C. V Biju [30], [31] đề xuất và tiến hành thử nghiệm việc sử dụng giá đỡ dao tích hợp cảm biến đo lực để phát hiện rung động. Kết quả phân tích cho thấy có sự tăng đáng kể về biên độ tại khi xuất hiện rung động của các tín hiệu mô-men uốn và xoắn. Tuy nhiên, không thể xác định được tần số rung động cụ thể từ các tín hiệu về mô-men uốn và xoắn. Với tín hiệu gia tốc cho thấy sự xuất hiện của hiện tượng rung động. Do đó, các phương pháp tránh rung động trong thời gian thực bằng cách điều chỉnh tốc độ trục chính hợp lý để rung động không xảy ra.

Y. Mohammadi [31], Yeh và Lai [32] đã phát triển hệ thống giám sát rung động và xử lý tín hiệu cho quá trình tiện. Trong quá trình giám sát, thành phần động của lực cắt được phát hiện và giá trị độ lệch chuẩn của lực cắt được tính toán thông qua xử lý tín hiệu. Sự xuất hiện của rung động được đánh giá bằng cách sử dụng sự tăng đột ngột của giá trị lệch chuẩn. Thay vì chọn một ngưỡng đơn giản như Lin và Hu [33], khái niệm ngưỡng giá trị được đề xuất cho việc lựa chọn ngưỡng để tránh

nhận dạng sai biệt trong phát hiện rung động. Đồng thời cũng đã đề cập rằng hiện tượng lệch mũi dao sẽ ảnh hưởng đến lực cắt và hiệu suất của quá trình gia công. Do đó, lệch mũi dao cũng được lựa chọn là một trong các yếu tố điều khiển trong nghiên cứu này.

Thomas và Beauchamp [34] đã tiến hành nghiên cứu thống kê về các thông số mô tả của dao cắt trong quá trình tiện khô. Lực cắt được đo bằng các cảm biến đo biến dạng trong các hướng tiếp xúc và pháp tuyến. Cảm biến gia tốc kế ba trục được gắn trên dụng cụ để đo gia tốc trong các hướng của lực  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ . Tín hiệu gia tốc được phân tích trong miền tần số bằng bộ phân tích FFT. Cũng đã phát hiện rằng việc tăng bán kính mũi dao sẽ giảm lực cắt theo hướng tiếp xúc. Điều này cho phép chọn bước tiến dao lớn hơn, làm giảm thời gian gia công và từ đó giảm chi phí sản xuất.

Chiou và đồng nghiệp [35] đã xác minh thực nghiệm mô hình phân tích ổn định bao gồm quá trình lực sẽ giảm dần. Các thông số đặc trưng như độ cứng vật liệu, độ cứng hệ thống công nghệ và tần số tự nhiên ảnh hưởng đến lực cắt đã được xác định thực nghiệm. Để làm điều này, tác giả sử dụng động lực kế đã được gắn trên cán dao để đo lực cắt trong các hướng cắt chính và hướng bước tiến dao. Các thử nghiệm tác động đã được thực hiện để xác định phản ứng cấu trúc của hệ thống máy dụng cụ. Bước tiến dao và vận tốc trục chính ảnh hưởng đến rung động được xác định từ cảm biến gia tốc được gắn trên đuôi cán dao. Nghiên cứu cũng đã chứng minh rằng tác động của sự mòn cụ ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính rung động trong quá trình tiện.

### **1.3.2.3. Ứng dụng tín hiệu âm thanh và phát hiện âm thanh**

Trong quá trình tiện, đo âm thanh và thu thập thông tin về âm thanh và sóng âm phát ra từ quá trình gia công có thể giúp xác định tình trạng của dao cắt, phát hiện các sự cố máy móc hoặc điều kiện cắt không bình thường, như tiếng kêu nhiều hoặc chấn động. Việc đo âm thanh và sự phát âm trong tiện có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các cảm biến âm thanh được gắn vào máy hoặc vị trí gần quá trình tiện. Dữ liệu thu thập từ các đo đạc này sau đó có thể được phân tích để đưa ra

thông tin về quá trình gia công và tình trạng của dao cắt. Âm thanh phát ra từ máy thường nằm trong khoảng có thể nghe được bởi tai người. Công nhân điều khiển bên cạnh máy có thể phân biệt sự thay đổi trong âm thanh gia công do lỗi máy hoặc điều kiện cắt bất thường như tiếng kêu nhiều hoặc chấn động, đây cũng là cơ sở để chế tạo các thiết bị nhận diện rung động hay sự cố bất thường trong quá trình tiện.

Grabec và Leskovar [36], [37] là những người đầu tiên phân tích âm thanh phát ra từ quá trình cắt hợp kim nhôm và phát hiện rằng phổ tần số nghe được là rời rạc, trong khi phổ tần số siêu âm là liên tục. Tác động của các thông số cắt liên quan đến phân bố phổ đã được nghiên cứu, và giải thích định tính về những hiệu ứng tương ứng đã được đưa ra. Đề xuất rằng AE có thể được sử dụng để đánh giá độ sắc của dao cắt.

AE (Acoustic Emission) là sóng âm, hoặc chính xác hơn, là sóng dao động đi qua vật liệu do sự giải phóng năng lượng căng thẳng đột ngột, theo Li [37]. Đa số ứng dụng giám sát AE đã dựa vào giá trị RMS của tín hiệu AE. AE được tạo ra từ quá trình cắt kim loại bao gồm tín hiệu liên tục và tín hiệu chập chờn, có đặc điểm khác nhau rõ rệt. Tín hiệu liên tục liên quan đến việc cắt trong vùng chính và mài mòn trên mặt cắt chính và mặt cắt phụ, trong khi tín hiệu nổ hoặc chập chờn là kết quả của việc gãy dao hoặc vỡ mảnh chip. Lợi ích chính của AE là dải tần số của tín hiệu AE cao hơn rất nhiều so với tần số rung của máy và tiếng ồn môi trường, và nhiều không xâm nhập vào quá trình cắt.

Ứng dụng của AE vào việc đánh giá chất lượng gia công trong quá trình tiện liên quan đến rung động và mài mòn dao đã được mô tả bởi Chung và đồng nghiệp [38]. Chiou và đồng nghiệp [39] đã sử dụng cảm biến AE để phát hiện rung động trong trường hợp mài mòn dao. Kết quả cho thấy giá trị RMS (trung bình căn bậc hai) của tín hiệu AE khá nhạy cảm đối với rung động và mài mòn dao, vì các đặc điểm của tín hiệu AE thay đổi theo cơ cấu quá trình cắt và rung động biến đổi. Cảm biến AE kết hợp với cảm biến gia tốc đã được sử dụng và thành công trong việc phát hiện tần số rung động, biên độ và tác động của mài mòn dao đến quá trình. Lange và Abu-Zahra [40], [41] trình bày phương pháp giám sát rung động dao bằng



cách sử dụng phân tích sóng siêu âm bằng phép biến đổi wavelet. Sóng siêu âm được đẩy thông qua cán dao hướng về mũi và phản chiếu trở lại từ cạnh cắt. Trạng thái dao động của sự tiếp xúc và không tiếp xúc giữa dao và vật liệu phôi, được tạo ra như kết quả của rung động dao, ảnh hưởng đến lượng năng lượng sóng siêu âm truyền vào vật liệu và lượng năng lượng phản chiếu. Sự thay đổi trong năng lượng của tín hiệu phản hồi có mối liên hệ trực tiếp với mức độ nghiêm trọng của rung động. Cảm biến siêu âm có thể phát hiện sự tiếp xúc đầu tiên giữa dao và phôi, vỡ mảnh dao và mài mòn mặt bên. Budak và Ozlu [41] đã sử dụng cảm biến gia tốc và cảm biến AE để xác minh mô hình ổn định rung động đa chiều bao gồm bán kính mũi dao. Hệ thống đo âm thanh được sử dụng để đo tần số rung động để so sánh các mô hình SDoF và đa chiều [42]. Yu và đồng nghiệp [43] đã phát hiện ra rằng khi xảy ra rung động, các rung động đáng kể trong hệ thống được thiết lập, có thể được phát hiện bằng cấp độ áp suất âm thanh từ micro để xác định chính xác tần số rung động. Micro được đặt gần giá đỡ dao để thu âm sóng âm từ quá trình cắt và được kết nối với bộ phân tích tần số và bộ vẽ đồ thị. Kết quả cho thấy có sự tăng khoảng 20 dB trong cấp độ áp suất âm thanh do rung động.

#### **1.3.2.4. Phương pháp phân tích mảnh phoi**

Trong quá trình tiện, phoi được tạo ra khi dao cắt tương tác với vật liệu gia công. Phương pháp phân tích phoi trong quá trình tiện được sử dụng để nghiên cứu và đánh giá các tính chất của phoi nhằm hiểu rõ hơn về quá trình cắt và tình trạng của dao cắt. Phương pháp này bao gồm thu thập các mảnh phoi được tạo ra trong quá trình tiện và sau đó phân tích chúng. Các phương pháp phân tích có thể bao gồm quan sát các mảnh phoi để xem kích thước, hình dạng và cấu trúc của chúng, phân tích cấu trúc vật liệu để xác định tính chất vật liệu, và phân tích hóa học để xác định thành phần hóa học của mảnh phoi. Thông qua phân tích mảnh phoi trong quá trình tiện có thể thu thập thông tin về hiệu suất cắt, tình trạng mài mòn của dao cắt, tác động của điều kiện cắt và đánh giá chất lượng gia công. Phương pháp này giúp nâng cao hiệu suất, chất lượng gia công và cung cấp thông tin quan trọng cho việc điều chỉnh tham số trong quá trình tiện.

Một số nhà nghiên cứu đã phân tích mảnh phoi được tạo ra trong quá trình tiện để xác định điều kiện ổn định và phát hiện hiện tượng mất ổn định xảy ra. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp phân tích này là quá trình hình thành mảnh phoi chỉ cung cấp thông tin về rung động sau khi rung động đã xảy ra. Do đó, phương pháp này không thể dự đoán được rung động.

Patwari và đồng nghiệp [44] đã quan sát các mẫu mảnh phoi từ góc trên và góc cắt bằng kính hiển vi quét SEM (quét điện tử quang học) và phát hiện rằng các mảnh phoi được tạo ra trong quá trình tiện và cắt ren có cùng dãy răng cưa có khoảng cách đều dọc theo mép tự do của mảnh phoi. Sau khi phân tích biên độ rung động, cũng đã được phát hiện rằng rung động xuất hiện trong hệ thống khi tần số răng cưa của mảnh phoi bằng hoặc là bội số nguyên của tần số tự nhiên nổi bật của các thành phần hệ thống.

Nurulamin và đồng nghiệp [45] đã xác định rằng các mảnh phoi được tạo ra trong quá trình tiện, cắt ren và phay hiển thị một số đặc tính riêng biệt chung dưới dạng các răng cưa trên phoi. Các răng cưa chính được xác định riêng biệt với các răng cưa phụ và tần số của chúng. Mảnh phoi đã được nghiên cứu bằng kính hiển vi quét SEM, kính hiển vi quang và máy ảnh số. Đã phát hiện rằng quá trình hình thành mảnh phoi không ổn định do hình thành các răng cưa phụ, răng cưa chính và các vết nứt tại ranh giới giữa hai răng cưa phụ liền kề. Rung động xuất hiện trong hệ thống khi tần số không ổn định của quá trình hình thành mảnh phoi trở nên gần bằng hoặc là một bội số nguyên của các tần số tự nhiên nổi bật của các thành phần hệ thống trong quá trình tiện. Giá đỡ dao là thành phần hệ thống nổi bật gây ra rung động trong quá trình tiện. Một số nhà nghiên cứu vẫn liên kết quá trình hình thành mảnh phoi với động học của quá trình tiện và quyết định các điều kiện rung động. Tuy nhiên, phân tích mảnh phoi chỉ có thể là bước xác định sau cùng của quá trình vì phương pháp không thể dự đoán được tính ổn định của quá trình trước khi gia công.

### 1.3.2.5. Kỹ thuật ứng dụng trí tuệ nhân tạo

Các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI) để phát hiện rung động trong quá trình tiện là các phương pháp và công nghệ sử dụng trí tuệ nhân tạo để nhận biết và phát hiện sự xuất hiện của rung động trong quá trình tiện. Các kỹ thuật AI này sử dụng các thuật toán và phân tích dữ liệu để xác định và phân loại các trạng thái rung động. Một số nhà nghiên cứu đã trình bày các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo như Mạng Nơ-ron nhân tạo (ANN), Mô hình Markov ẩn (HMM) và Logic mờ (Fuzzy logic) để dự đoán và phát hiện sự xuất hiện của tiếng ồn bằng cách phân loại các đặc trưng tín hiệu thu được thông qua các tín hiệu cảm biến.

#### ➤ *Mạng Nơ-ron nhân tạo*

ANN là một mô hình xử lý thông tin được lấy ý tưởng từ cách hệ thống thần kinh sinh học, như não, xử lý thông tin. Yếu tố quan trọng của mô hình này là cấu trúc mới của hệ thống xử lý thông tin. ANN bao gồm một số lượng lớn các nơ-ron liên kết với nhau, hoạt động cùng nhau để giải quyết các vấn đề cụ thể. ANN có thể được sử dụng cho các ứng dụng như nhận dạng mẫu hoặc phân loại dữ liệu thông qua quá trình học.

Tansel và đồng nghiệp [46] đã sử dụng dữ liệu đầu vào từ cảm biến gia tốc rung để dự đoán sự phát triển của hiện tượng rung động bằng cách sử dụng mạng nơ-ron, nghiên cứu đã đạt độ chính xác 98%. Tín hiệu rung động được trình bày cho hai kiến trúc mạng nơ-ron dựa trên cấu trúc mạng nơ-ron đa tầng MLP. Mô hình đã sử dụng các tín hiệu điều hòa trong hệ thống để ước lượng tần số và phân tích các tín hiệu gia tốc để dự đoán rung động. Thử nghiệm được thực hiện bằng cách sử dụng mô hình dự đoán và thông qua thử nghiệm trực tuyến trong quá trình tiện, MLP có thể phát hiện các rung động không ổn định và do đó kéo dài tuổi thọ dao đáng kể.

Lee và đồng nghiệp [47] đã phát triển mô hình để nghiên cứu lực cắt phi tuyến khi tiện. Mạng nơ-ron truyền thẳng đã được sử dụng để mô phỏng các thành phần lực cắt. Mô hình này có thể được áp dụng dễ dàng vào các quy trình tiện, phay và khoan. Dimla Jr và đồng nghiệp [48] đã xem xét các kỹ thuật theo dõi tình trạng

dao cắt được phát triển thông qua ứng dụng của mạng nơ-ron và bằng cách theo dõi và kiểm soát mài mòn dụng cụ. Tuy nhiên, nghiên cứu chỉ có đề cập ngắn gọn về việc sử dụng mạng nơ-ron để phát hiện rung động và các hệ thống giám sát tình trạng dao cắt dựa trên mạng nơ-ron, chúng chưa được thử nghiệm hoặc triển khai trực tuyến.

Lange và Abu-Zahra [40] đã sử dụng phân tích gói sóng để lọc tín hiệu sóng siêu âm được tạo ra từ quá trình tiện. Mạng nơ-ron truyền thẳng đa tầng (MLP) đã được sử dụng để phân tích tín hiệu cảm biến siêu âm thu được. Phản ứng của hệ thống đối với các mức tần số khác nhau của hiện tượng rung động được khảo sát, nhưng tần số rung động không thể được đo lường. Benardos và đồng nghiệp [49] đã sử dụng mạng nơ-ron để phát triển mô hình để dự đoán sự sai lệch kích thước của sản phẩm bằng cách khảo sát các thông số cắt và đặc điểm hình học của phôi với sự thay đổi chiều sâu cắt.

Kotaiah và đồng nghiệp [50] đã nghiên cứu tác động của các thông số cắt trong quá trình tiện và ảnh hưởng rung động do nhấp nhô bề mặt phôi và lực cắt lên dao cắt thông qua loạt các thí nghiệm. Sau khi đo lường lực cắt động, độ nhám, mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và đầu ra đã được xác định bằng mô hình mạng nơ-ron và sau đó được áp dụng cho thuật toán di truyền (GA) để tối ưu hóa dữ liệu gia công. Chae và cộng sự [51] và đã được giải thích về dự đoán tình trạng mòn dao trong quá trình gia công của thép và nhôm. Tuy nhiên, việc phát hiện rung động không được thực hiện bằng kỹ thuật mạng nơ-ron trong công trình này.

Kỹ thuật mạng nơ-ron yêu cầu dữ liệu thực nghiệm lớn và đầy đủ khi nghiên cứu quy trình cụ thể và điều kiện vật liệu cụ thể, điều này có thể không phù hợp cho các quy trình khác nhau, điều kiện cắt và điều kiện vật liệu khác nhau.

#### ➤ *Mô hình Markov ẩn*

HMM là một mô hình có tính chất "ẩn", tức là một số thông tin quan trọng không được quan sát trực tiếp mà chỉ có thể được ước lượng thông qua các quan sát quan trọng khác. Trong HMM, quá trình mô hình hóa dựa trên sự thay đổi của các trạng thái ẩn, trong đó mỗi trạng thái có một phân phối xác suất nhất định. Mô hình

cũng quan tâm đến sự chuyển đổi giữa các trạng thái và sự sinh ra các quan sát quan trọng dựa trên trạng thái hiện tại. HMM được sử dụng rộng rãi trong nhận dạng giọng nói. Nó rất phù hợp để mô hình hóa chuỗi thời gian động, và có khả năng mạnh mẽ trong việc nhận dạng mẫu từ thông tin phong phú nhận được từ tín hiệu cảm biến.

Zhang và đồng nghiệp [52] trình bày kỹ thuật kết hợp mới gọi là HMM-ANN (Hybrid Hidden Markov Model - Artificial Neural Network) để giám sát hiện tượng rung động trong quá trình tiện. Kỹ thuật HMM-ANN kết hợp lợi thế của cấu trúc mô hình tuần tự HMM và phân loại mẫu ANN để giám sát quá trình rung động khi tiện. HMM rất phù hợp cho việc giám sát rung động và phát hiện mòn dao.

#### ➤ *Logic mờ*

Fuzzy logic cho phép xử lý thông tin mà không yêu cầu đầu vào hoàn toàn rõ ràng hoặc chính xác. Nó cho phép đánh giá và ra quyết định dựa trên các biến ngôn ngữ, sử dụng các quy tắc IF-THEN mờ. Các giá trị mờ được xác định bằng cách sử dụng hàm thành viên, các hàm này xác định mức độ thuộc về của một giá trị đầu vào cho mỗi tập mờ.

Du và đồng nghiệp [53] tiến hành nghiên cứu về giám sát tình trạng dụng cụ trong quá trình tiện bằng cách sử dụng lý thuyết tập mờ, được giới thiệu lần đầu bởi Zadeh [54]. Các tình trạng của dao cắt như rung động, gãy và mòn dụng cụ đã được khảo sát. Các cảm biến lực, gia tốc rung động và công suất đã được giám sát và 11 đặc trưng tín hiệu đã được lựa chọn để mô tả các đặc điểm quá trình. Phương pháp mờ tuyến tính đã được so sánh với một số phương pháp phân loại khác nhau, bao gồm phương pháp K-mean, phương pháp nhận dạng mẫu Fisher và phương pháp fuzzy C-mean, và kết quả từ phương pháp mờ đề xuất cho thấy độ tin cậy tổng thể là 90% trong việc phát hiện các tình trạng của dao cắt.

Tansel và cộng sự [55] đã sử dụng phương pháp S-transformation để xây dựng đồ thị 3D hiển thị sự biến thiên biên độ tín hiệu gia tốc trong miền thời gian và tần

số trong quá trình tiện. Phương sai của chỉ số giảm dần trong dải nhỏ xung quanh tần số tự nhiên là chỉ số tốt nhất để phát hiện hiện tượng rung động.

Quá trình ra quyết định trong hệ thống mờ nhanh chóng do tính đơn giản của thuật toán, nhưng lại gặp khó khăn trong việc lựa chọn các hàm thành viên phù hợp cho hệ thống mục tiêu. Nói chung, kỹ thuật Mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) đã được xem là tốt hơn và phổ biến hơn so với kỹ thuật HMM và hệ thống mờ do khả năng huấn luyện, cấu trúc song song đại số, độ chính xác cao trong dự đoán hay phân loại các đặc trưng tín hiệu, khả năng triển khai nhanh chóng và phần cứng, phần mềm ANN thương mại có sẵn. ANN giảm đáng kể thời gian tính toán trong quá trình ra quyết định, nhận dạng mẫu và nghiên cứu mô phỏng.

### **1.3.3 Các kỹ thuật và giải pháp hạn chế và loại bỏ rung động**

Hạn chế và kiểm soát rung động là một vấn đề rất thách thức trong quá trình tiện. Sự cần thiết phát triển các kỹ thuật tốt hơn để hạn chế và kiểm soát rung động ngày càng trở nên cấp thiết do yêu cầu sản xuất với nhu cầu năng suất cao, độ chính xác cao, phế phẩm và giá thành sản xuất thấp hơn. Các kỹ thuật hạn chế và kiểm soát rung động có thể được phân loại thành hai loại, đó là hạn chế và kiểm soát rung động chủ động và hạn chế và kiểm soát rung động bị động.

#### **1.3.3.1. Kỹ thuật hạn chế rung động bị động**

Trong kỹ thuật ức chế rung động bị động, mục tiêu là ức chế rung ồn bằng cách thay đổi đặc tính của hệ thống. Đặc tính của hệ thống có thể được thay đổi hoặc điều chỉnh bằng cách cải thiện thiết kế của máy tiện hoặc sử dụng các thiết bị bổ sung có khả năng hấp thụ năng lượng phụ và làm gián đoạn hiệu ứng tái tạo [9]. Những thiết bị bổ sung này thường có độ cứng thấp hơn và có khả năng hạn chế và kiểm soát hiện tượng rung động. Các thiết bị hấp thụ rung như giảm chấn ma sát, giảm chấn khối lượng hoặc giảm chấn con quay là một số thiết bị phổ biến được thêm vào máy để hạn chế rung động.

Xiao và cộng sự [56] đã đưa ra phương pháp ức chế rung động bằng cách áp dụng phương pháp cắt rung. Nghiên cứu phát hiện phương pháp cắt rung ổn định hơn so với cắt thông thường vì cắt rung ức chế rung ồn bằng cách làm gián đoạn

hiệu ứng tái tạo rung động. Năng lượng được tạo ra từ quá trình cắt cũng có thể được giảm bằng cách thay đổi điều kiện cắt để ức chế rung động.

Marui và cộng sự [57] đã tích hợp tấm ma sát vào thân của cán dao để cải thiện khả năng giảm rung của hệ thống thông qua ma sát xảy ra giữa thành trong của lỗ và bề mặt tấm ma sát được chèn vào. Tuy nhiên, mức độ cải thiện khả năng giảm rung bị ảnh hưởng bởi vị trí của lỗ và thông số giữa lỗ hình chữ nhật và tấm ma sát được chèn vào. Việc chèn tấm ma sát đã thay đổi hành vi của hệ thống thông qua việc tăng khả năng giảm rung và tăng cường sự ổn định bằng cách ức chế rung ồn.

Trong kỹ thuật hạn chế rung động bị động, bộ hấp thụ rung động DVA hoặc bộ giảm rung dạng điều chỉnh khối lượng TMD đã được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng thực tế [58]. Tobias [59] đã mô tả một số kỹ thuật thực tế trong đó bộ hấp thụ rung được lắp vào các thành phần khác nhau của máy công cụ để ức chế rung ồn và cải thiện tính ổn định quy trình. Rivin và Kang [60] đã đề xuất thiết bị kẹp dạng lớp bao gồm các tấm thép và vật liệu cao su dẻo có tính đàn hồi để giữ dao cắt và tăng cường khả năng giảm rung của hệ thống nhằm ức chế rung ồn. Tarng [61] và Lee [62] đã sử dụng bộ kích hoạt tấm điện áp làm bộ hấp thụ rung, thông số điện áp được điều chỉnh để ức chế rung ồn trong quá trình tiện. Tarng và cộng sự đã điều chỉnh tần số tự nhiên của bộ hấp thụ rung thủ công để sửa đổi hàm phản ứng tần số của dao cắt và phù hợp với tần số tự nhiên của chế độ mục tiêu của cấu trúc cần được giảm rung. Yang và cộng sự [63] đã đề xuất tối ưu phân thực âm bằng cách gắn các bộ giảm rung khối lượng bị động vào cấu trúc máy và tăng khả năng chống rung của quá trình tiện. Wang và cộng sự [64] đã đề xuất TMD phi tuyến mới có khả năng hấp thụ năng lượng thông qua ma sát trượt và rung của khối lượng riêng để ức chế rung ồn trong quá trình tiện. TMD phi tuyến mới với tỷ lệ khối lượng là 0,01 đã cải thiện đáng kể độ sâu cắt giới hạn quan trọng lên đến 150-180% so với hệ thống không được giảm rung.

Các kỹ thuật hạn chế rung bị động có nhiều ưu điểm như dễ triển khai, chi phí thấp và không cần năng lượng từ bên ngoài. Tuy nhiên, để đạt hiệu quả tốt, các bộ

giảm rung bị động dạng này cần yêu cầu điều chỉnh rất chính xác, điều này khó khăn do sự thay đổi về đặc trưng cấu trúc hệ thống công nghệ và các thông số trong quá trình cắt.

### **1.3.3.2. Kỹ thuật hạn chế rung động chủ động**

Trong kỹ thuật giảm rung tích cực, các rung động được loại bỏ tích cực thông qua việc theo dõi liên tục và chẩn đoán quy trình tiện và thực hiện các thay đổi cần thiết trong quy trình. Một số nhà nghiên cứu đã sử dụng các kỹ thuật để làm gián đoạn hiệu ứng tái tạo bằng cách thay đổi tích cực các thông số quy trình như tốc độ, độ dịch chuyển và độ sâu cắt.

Lin và Hu [33] đề xuất phương pháp thay đổi bước tiến dao và tốc độ trục chính để hạn chế rung động. Mei và cộng sự [65] đã biến đổi góc cắt chính và góc cắt sau của dao cắt để loại bỏ hiện tượng rung ồn. Frumusanu và cộng sự [66] đã trình bày kỹ thuật điều khiển thông minh về tính ổn định trong quá trình tiện. Kỹ thuật này bao gồm việc theo dõi trực tuyến tín hiệu lực cắt. Độ biên độ trung bình của tín hiệu này trong miền tần số được trích xuất làm đặc trưng riêng. Hệ thống điều khiển ổn định mới cho quá trình tiện đánh giá vị trí điểm hoạt động của hệ thống gia công liên quan đến giới hạn ổn định, sử dụng đặc trưng này và tham chiếu liên tục giá trị đặc trưng hiện tại với giới hạn cho phép của chúng. Mô hình điều khiển đặc biệt với tính tuần tự được sử dụng để đưa ra các quyết định thích hợp liên quan đến việc điều chỉnh tốc độ quay của phôi. Nghiên cứu đã thành công trong việc tránh được rung động. Tuy nhiên, các thử nghiệm cần được kiểm tra trong môi trường thực tế.

Kỹ thuật khác để loại bỏ rung ồn là biến đổi tốc độ trục chính liên tục SSV, trong đó tốc độ trục được biến đổi liên tục để làm gián đoạn hiệu ứng tái tạo rung động. Phương pháp biến đổi liên tục tốc độ trục đang thu hút sự quan tâm ngày càng tăng vì tính đơn giản và hiệu quả trong việc hạn chế rung động. Tính ổn định của hệ thống máy công cụ có thể được nâng cao bằng cách lựa chọn đúng tốc độ trục và tính ổn định có thể được tăng thêm bằng cách sử dụng kỹ thuật SSV. Yamato S và cộng sự [67] đã đưa ra ý tưởng rằng bằng cách thay đổi tốc độ trục đến phần ổn



định của biểu đồ thùy ổn định. Tsao và cộng sự [68] đã đưa ra mô hình hệ thống với tốc độ biến thiên. Điều này dẫn đến hệ thống biến thiên thời gian với độ dài trễ không đổi. Tính ổn định của hệ thống đã được phân tích bằng cách sử dụng phương pháp chênh lệch hữu hạn.

Liao và Young [69] đã đề xuất kỹ thuật kiểm soát rung động trực tuyến với việc tự thiết lập tốc độ trực chính. Lực cắt được ghi lại bằng cảm biến đo lực và tần số rung động được xác định bằng phân tích phổ. Tần số rung động được sử dụng để tính toán tốc độ trực mới mà ở đó rung động có thể được hạn chế hay loại bỏ. Thành công của nghiên cứu này là điều khiển bước tiến dao theo trong quá trình thay đổi tốc độ trực chính.

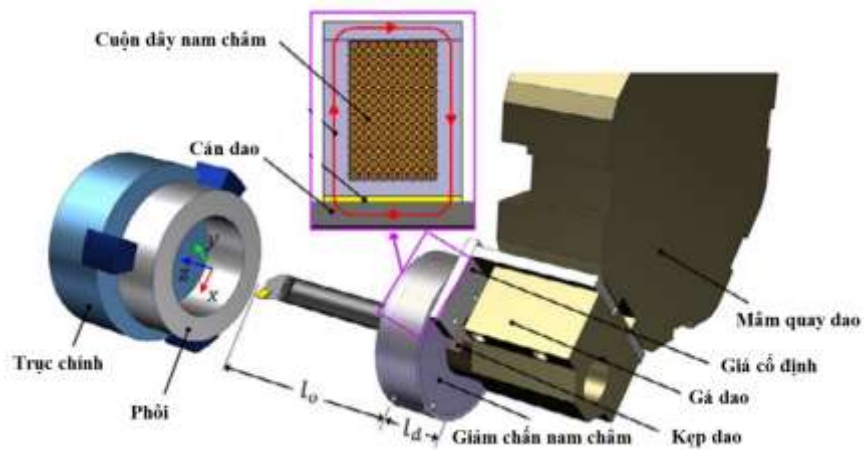
Mặc dù kỹ thuật SSV dễ áp dụng, nhưng ứng dụng phương pháp bị giới hạn chỉ trong một số trường hợp tiện cụ thể nên khó áp dụng SSV cho các ứng dụng công nghiệp. Để làm gián đoạn hiệu ứng tái tạo, biến đổi tốc độ trực phải rất nhanh, điều này có thể không thể thực hiện được do quán tính của hệ thống trực chính. Kỹ thuật SSV cũng không hiệu quả vì một phần lớn năng lượng được tiêu thụ để tăng tốc và giảm tốc trực. Khi có nhiễu về tốc độ trực ở tốc độ gia công cao có thể gây mất cân bằng nghiêm trọng và không ổn định của hệ thống trực, dẫn đến hỏng hóc nghiêm trọng các thành phần máy công cụ. Kỹ thuật SSV còn tăng thêm chi phí cho quá trình gia công.

Hướng nghiên cứu ứng các vật liệu tích cực để hạn chế rung động ngày càng phổ biến. Các vật liệu tích cực có khả năng chuyển đổi lực cơ và biến đổi thành các hình thức năng lượng khác. Những yếu tố tích cực này thường được tích hợp vào hệ thống công nghệ hoặc máy nhằm chống lại rung động tái tạo. Do khả năng phát hiện và kích hoạt xuất sắc trong các tình huống quan trọng, những yếu tố này thường được gọi là vật liệu thông minh. Vật liệu thông minh là những vật liệu có hiện tượng điện giảo, hiệu ứng từ giảo hoặc chất lỏng ion và hợp kim có khả năng nhớ hình dạng. Park và cộng sự [70] đã nghiên cứu vật liệu thông minh như vật liệu điện từ áp lực và hiệu ứng từ co và ứng dụng của chúng trong việc kiểm soát chống rung động khi tiện và các quy trình cắt khác. Chiou và cộng sự [71] đã sử dụng bạc

đạn điện tĩnh và điện áp làm ổ trục chính để có thể thay đổi đáp ứng tần số và các đặc tính dao động để kiểm soát rung động. Mostafa K.A. Saleh và các cộng sự [72]: sử dụng bộ giảm chấn chất lỏng từ tính. Cán dao được tích hợp với hệ thống giảm chấn chất lỏng từ tính kết hợp thuật toán điều khiển hợp lý nhằm khắc phục độ rung trong quá trình tiện. Các thử nghiệm trong nghiên cứu đã chứng minh rằng độ ổn định tăng đáng kể nhờ việc áp dụng điều khiển bộ giảm chấn chất lỏng từ tính [73]. (hình 1.5).

L. Prabhu [74] sử dụng giảm chấn chất lỏng từ tính gắn theo hướng từ tâm ra ngoài. Các thí nghiệm đã được tiến hành với tốc độ trục chính khác nhau. Các tín hiệu rung dựa trên độ nhám bề mặt và gia tốc rung. Kết quả thực nghiệm cho thấy, rung động của dao giảm khi sử dụng bộ giảm chấn chất lỏng từ tính. (hình 1.6).

Các hệ thống chủ động đòi hỏi nguồn rung động thứ hai để tăng tổng năng lượng của các sóng rung động. Hầu hết các hệ thống kiểm soát rung động chủ động chỉ hạn chế ở tốc độ trục thấp. Các hệ thống chủ động cũng yêu cầu phần cứng và phần mềm phức tạp hơn và đắt hơn so với các hệ thống bị động.



**Hình 1.5:** Sử dụng lực từ trường để giảm rung [72]



**Hình 1.6:** Ứng dụng kỹ thuật điều khiển lưu biến điện để giảm rung [74]

#### 1.4. Tình hình nghiên cứu trong nước

Hiện nay trong nước theo tác giả được biết trong những năm gần đây có rất nhiều công trình nghiên cứu và các đề tài nghiên cứu về quá trình rung động trong cắt gọt kim loại. Các công trình điển hình như của PGS. TS Nguyễn Đăng Bình và TS. Dương Phúc Tý [75]. Ở nghiên cứu hiện tượng tự rung và mất ổn định quá trình cắt kim loại này tác giả đã tổng hợp lại tất cả cơ sở lý thuyết và các khái niệm trong việc khảo sát quá trình rung khi cắt gọt kim loại. Đồng thời tác giả cũng đưa ra phương pháp khảo sát mới là khảo sát quá trình rung khi cắt kim loại theo hướng năng lượng.

Trong luận án tiến sĩ của Dương Phúc Tý tác giả đã nghiên cứu xác định chế độ cắt hợp lý để ổn định quá trình gia công phay. Phương pháp dự đoán về hiện tượng mất ổn định khi phay đã được nghiên cứu phân tích cụ thể. Đồng thời tác giả

cũng làm thực nghiệm để chứng minh cho cơ sở lý luận về xây dựng đồ thị ổn định của máy phay.

Trong đề tài nghiên cứu của tác giả Nguyễn Thị Lệ Hằng [76], tác giả đã đưa ra mô hình lý thuyết của việc ảnh hưởng tích cực của rung động đến quá trình tiện cứng và đã làm mô hình thực nghiệm chứng minh. Cơ cấu tạo rung động trợ giúp cho nguyên công tiện cứng theo nguyên lý tạo rung động dựa trên nguyên lý rung siêu âm (tần số cao) đã được phân tích, lựa chọn thiết kế và chế tạo cũng như thực nghiệm tiện trên thép 9XC đã tôi. Cơ cấu được thiết kế nhỏ gọn, vận hành dễ dàng nhưng vẫn đảm bảo được khả năng làm việc trong điều kiện thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm đã khẳng định được sự vượt trội của phương pháp tiện cứng có rung động trợ giúp so với phương pháp tiện cứng truyền thống. Tương tự đề tài: “Nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc cắt tới cơ chế mòn dụng cụ PCBN sử dụng tiện tinh thép 9XC qua tôi” của Nguyễn Thị Thanh Vân [77], kết quả nghiên cứu đề tài đã chỉ ra được khi tiện tinh thép 9XC bằng dao PCBN thì mòn mặt trước và mặt sau là hai dạng mòn chủ yếu, và giải thích được vì sao gây ra hai dạng mòn trên.

Với truyền thống và thế mạnh về hướng nghiên cứu gia công cơ khí của Khoa Cơ khí chế tạo máy của Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP HCM có rất nhiều công trình nghiên cứu về vấn đề rung động trong gia công cắt gọt này. Lâm Thanh Bình [78] đã nghiên cứu nâng cao năng suất khi gia công ren trong trên máy tiện CNC sử dụng cán dao giảm chấn. Nghiên cứu này đã tìm hiểu các kiến thức chung về gia công cắt gọt, lý thuyết về ren, rung động trong quá trình gia công, độ nhám bề mặt và các phương pháp kiểm tra đánh giá, ảnh hưởng của vận tốc cắt đến độ nhám bề mặt. Tìm hiểu cấu tạo, nguyên lý hoạt động và các lĩnh vực ứng dụng của cán dao giảm chấn. Thu thập được đủ bộ số liệu thể hiện sự chênh lệch của vận tốc cắt cán dao giảm chấn thông qua độ nhám bề mặt chi tiết ở một số vật liệu phổ biến ở Việt Nam. So sánh đánh giá chất lượng gia công ở cùng chế độ cắt trên cán dao bình thường cán dao giảm chấn ở điều kiện gia công công nghiệp. Từ đó thể hiện được khả năng tăng năng suất của cán dao giảm chấn từ 10 – 50% so với cán dao thường. Xác định được đường đặc trưng của độ nhám bề mặt khi vận tốc cắt thay

đổi trên các vật liệu: thép C45, nhôm 6061 và gang xám. Ngoài ra tác giả Nguyễn Thanh Giang [79] đã nghiên cứu độ cứng của cán dao tiện ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt của sản phẩm. Trong nghiên cứu này tác giả đã tìm hiểu các kiến thức chung về gia công cắt gọt, kim loại, độ nhám bề mặt chi tiết máy, những yếu tố cơ bản của dao cắt gọt kim loại, vật liệu chế tạo dao, vật liệu gia công thí nghiệm. Qua mô thí nghiệm thu thập được đủ bộ số liệu thể hiện sự ảnh hưởng của độ cứng cán dao tiện đến độ nhám bề mặt sản phẩm với cùng điều kiện cắt gọt với mỗi độ cứng tương ứng với 5 loại vật liệu được gia công thí nghiệm như: C10, C30, C45, nhôm 6061 và gang xám.

### **1.5. Kết luận chương 1 và vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu**

Qua các nghiên cứu như trên, các phương pháp dùng để giảm dao động chỉ tập trung vào các yếu tố bên trong mô hình dao động trong quá trình tiện: chế độ cắt gọt (lực tự sinh), xác định các thông số  $k$ ,  $m$ ,  $c$  và đối tượng tác động trực tiếp vào hệ thống công nghệ dao và phôi. Với các thông số cứng thì không thể áp dụng cho các mô hình thay đổi từng trường hợp trong quá trình sản xuất.

Nhu cầu thực tế sản xuất cần phương pháp giảm rung linh động hơn, dễ áp dụng hơn là điều rất cần thiết. Tương ứng với mỗi hệ máy, mỗi hệ công nghệ khác nhau thì tồn tại một đặc tính rung động khác nhau. Khi muốn thay đổi đặc tính của hệ gia công này thường thì người công nghệ cần thay đổi kết cấu máy, và độ cứng vững của máy. Điều này sẽ rất khó khăn và tốn kém. Với ý tưởng dùng tác động bên ngoài tác động vào hệ làm thay đổi đặc tính dao động của hệ sẽ cắt đứt tình trạng rung tái sinh. Nên tác giả đã chọn phương án giảm rung tích cực bằng ngoại lực cưỡng bức bên ngoài. Với mỗi hệ máy khác nhau chỉ cần thay đổi đặc điểm lực cưỡng bức này phù hợp thì sẽ giảm rung được.

## CHƯƠNG 2

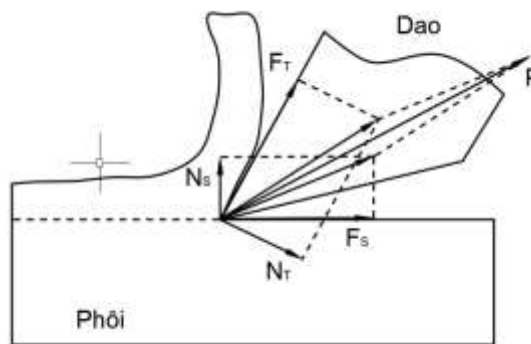
### CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Như đã trình bày trong phần mở đầu, nội dung nghiên cứu của luận án được tập trung vào việc làm rõ cơ chế rung động thông qua phương pháp mô phỏng và phương pháp nhận diện rung động. Từ đó, đề xuất phương pháp giảm rung bằng việc sử dụng ngoại lực cưỡng bức. Quá trình thiết kế, mô phỏng, thực nghiệm, cũng như phân tích và đánh giá các kết quả của luận án, được tiến hành dựa trên các lý thuyết liên quan như sau:

- + Cơ học học cắt gọt, hiện tượng rung động
- + Phương pháp mô phỏng tiện bằng FEM
- + Phương pháp Taguchi
- + Mạng nơ-ron, mô hình RNNs và LSTM
- + Phương pháp nhận diện hình ảnh CNN
- + Phương pháp mô phỏng cơ - từ trường

#### 2.1. Cơ học cắt gọt, hiện tượng rung động

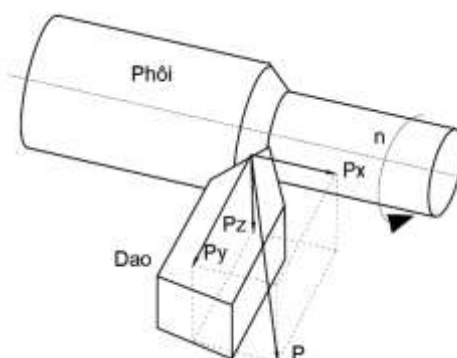
Phân tích động lực học hệ thống phôi và dao trong quá trình tiện:



**Hình 2.1:** Lực tác dụng lên dao

Trong quá trình cắt, lực pháp tuyến  $N_T$  và lực tiếp tuyến  $F_T$  (lực ma sát giữa lưỡi dao và phôi) xuất hiện trên mặt trước của dao. Trên mặt sau của dao, lực pháp tuyến  $N_S$  và lực tiếp tuyến  $F_S$  (lực ma sát giữa dao và phôi) xuất hiện. Kết hợp tất cả các lực này ta thu được lực cắt  $P$  (hình 2.1).

Lực cắt bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố và biến đổi trong một khoảng rộng tùy thuộc vào khả năng cắt của máy. Để thuận lợi cho việc nghiên cứu, hệ tọa độ Descartes Oxyz được thiết lập và lực P được chia thành ba lực theo ba hướng x, y, z. (hình 2.2).



**Hình 2.2:** Các phương lực cắt khi tiện

Trong đó:

$P_x$  - Lực chạy dao, có phương cùng với phương chạy dao  $s$ . Lực này tác dụng lên cơ cấu bàn chạy dao. Còn gọi là lực dọc trục.

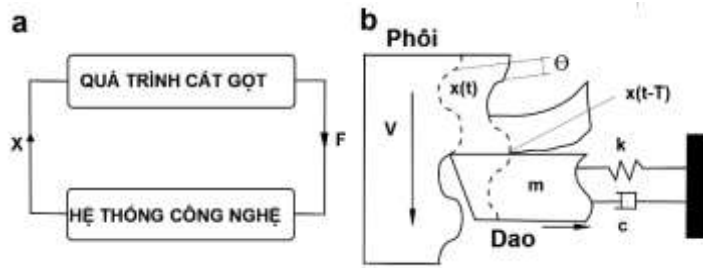
$P_y$  - Lực hướng kính, có phương cùng với phương chiều sâu cắt  $t$ . Lực này gây ra rung động trong mặt phẳng  $xOy$ , gây biến dạng chi tiết gia công, ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác và độ nhám bề mặt gia công.

$P_z$  - Lực tiếp tuyến là lực cùng phương với chuyển động cắt chính.  $P_z$ , có giá trị lớn nhất trong ba thành phần của lực phân tích, còn được gọi là lực cắt chính. Lực  $P_z$  được sử dụng để tính toán hoặc kiểm tra công suất cắt (mô-men) và để đánh giá hoặc kiểm tra độ bền của thân dao.

Hợp lực của 3 thành phần lực là:

$$\vec{P} = \vec{P}_x + \vec{P}_y + \vec{P}_z \quad (2.1)$$

Mô hình hóa của hệ rung động dao tiện một bậc tự do thể hiện qua hình 2.3.



**Hình 2.3:** Sự tương tác giữa dao và quá trình cắt [10].

Và phương trình đặc trưng của hệ dao động một bậc tự do như sau:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = P(t) \quad (2.2)$$

Với: m: là khối lượng của hệ.

c: độ giảm chấn hệ.

k: độ cứng lò xo.

P(t) lực tự sinh do quá trình cắt gọt kim loại theo phương x với

$$P(t) = K_f b [x(t-T) - x(t)] \quad (2.3)$$

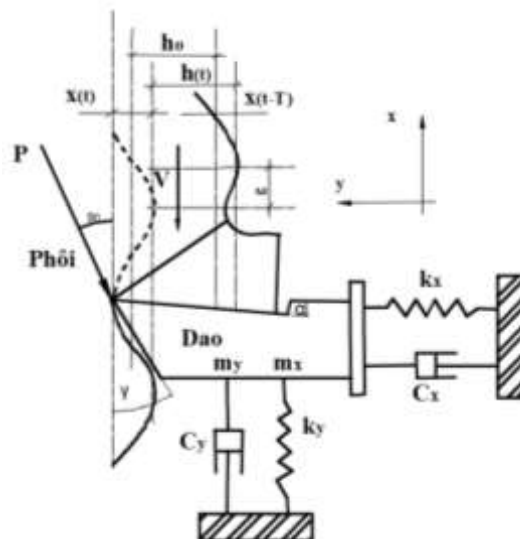
$K_f$ : Hệ số cắt theo phương ăn dao.

b: bề rộng lớp phôi (cũng là bề rộng cắt) (mm)

T: thời gian trễ giữa thời gian hiện tại và thời gian trước đó.

$[x(t - T) - x(t)]$ : sự thay đổi chiều dày phôi do dao rung động.

Khi mô hình hóa của hệ dao động 02 bậc tự do như hình 2.4:



**Hình 2.4:** Mô hình dao động cán dao tiện hai bậc tự do với hai thành phần lực cắt.[80]



Phương trình đặc trưng như sau:

$$\begin{cases} m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = P_x(t) \sin \beta_n \\ m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t) = P_y(t) \cos \beta_n \end{cases} \quad (2.4)$$

Tương tự, cũng có thể xây dựng mô hình cho cán dao tiện 3 bậc tự do hay n bậc tự do.

## 2.2. Các yếu tố ảnh hưởng và các biện pháp hạn chế rung động [75]

### 2.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến rung động quá trình cắt

#### 2.2.1.1. Ảnh hưởng của máy

Sự ổn định của máy liên quan mật thiết đến độ mềm dẻo động lực học. Đại lượng này không cố định, mà thay đổi dựa trên nhiều yếu tố khác nhau.

##### ➤ Ảnh hưởng của móng máy và điều kiện lắp đặt

Máy công cụ trong quan hệ với móng máy được chia thành 3 nhóm:

Nhóm 1: Dùng cho trường hợp máy có độ cứng vững cao. Móng máy không trực tiếp nằm trong đường truyền của lực cắt tĩnh. Tuy nhiên điều kiện kẹp chặt máy vào móng có ảnh hưởng đến phản ứng động lực học của máy tại vị trí cắt.

Nhóm 2: Nhóm các máy gia công tinh, giá máy không trực tiếp đặt lên móng mà đặt trên những đệm đàn hồi.

Nhóm 3: Là nhóm các máy cỡ lớn. Với hai nhóm này thì đường truyền lực cắt đi qua cả giá máy và móng máy, nên độ cứng vững của móng máy và tính chất của mối ghép giữa máy và móng máy có ảnh hưởng nhất định đến rung động của máy và do đó ảnh hưởng đến tự rung và ổn định.

##### ➤ Ảnh hưởng của vị trí của các chi tiết cấu thành máy

Đối với các chi tiết động (bàn máy, bàn dao, xe dao, trục chính...), do sự thay đổi vị trí theo chức năng công tác mà độ cứng vững tĩnh và độ cứng vững động lực học của máy tại vị trí cắt cũng thay đổi. Ảnh hưởng lớn nhất đến độ mềm dẻo là các chi tiết di trượt như trục chính máy doa, máy khoan. Vì vậy để nghiên cứu ổn định của quá trình cắt trên máy do tác động của tự rung phải nghiên cứu phản ứng động lực học ở tại các vị trí quan trọng của bàn máy.

### ➤ **Ảnh hưởng của nhiệt độ làm việc của máy**

Tính chất của các mối ghép căng và ghép trượt trong máy phụ thuộc rất lớn vào nhiệt độ nên phản ứng động lực học của máy cũng phụ thuộc vào nhiệt độ làm việc của máy. Độ mềm dẻo động lực học của máy thay đổi theo nhiệt độ của máy tức là thay đổi theo thời gian làm việc của máy. Nhiệt độ càng cao thì độ mềm dẻo càng lớn nên tự rung càng dễ phát triển và mất ổn định càng dễ xảy ra

#### **2.2.1.2. Ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa dao và phôi**

Vị trí tương đối giữa dao và phôi quyết định hướng của lực cắt nên tùy thuộc vào từng vị trí tương đối cụ thể mà ảnh hưởng của nó đến tự rung và ổn định có thể lớn hay nhỏ.

Độ mềm dẻo động lực học của hệ thống gia công phụ thuộc vào tần số là kết quả của các dao động riêng được kích thích ở một tần số thích hợp. Ảnh hưởng của phôi và dao

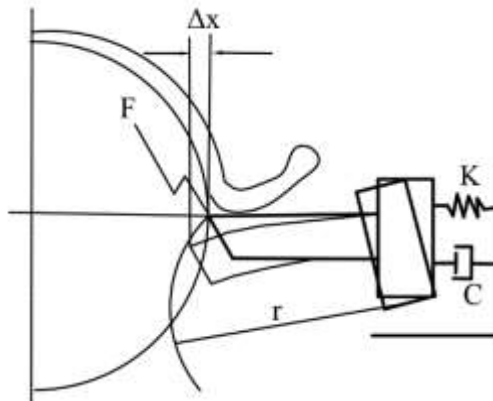
#### ✓ **Ảnh hưởng của độ mềm dẻo của phôi và kẹp chặt phôi**

Độ mềm dẻo của phôi có ảnh hưởng lớn đến tự rung và ổn định của quá trình cắt bởi vì biến dạng của phôi gây chuyển vị tương đối giữa dao và phôi và đó là một nguyên nhân dẫn đến rung động. Phôi càng yếu thì xu thế rung, động càng lớn và chiều rộng cắt tới hạn đạt được càng bé. Nếu lực kẹp không đủ lớn để cố định phôi chống lại tác dụng của lực cắt thì rung động sẽ tăng trưởng nhanh, quá trình cắt dễ mất ổn định.

#### ✓ **Ảnh hưởng của độ mềm dẻo của dao và kẹp chặt dao**

Độ mềm dẻo của dao có ảnh hưởng lớn đến đặc trưng động lực học của quá trình cắt. Chẳng hạn, chiều dài khác nhau của thân dao tiện sẽ làm thay đổi có tính quyết định đối với đặc trưng động lực học của hệ thống công nghệ.

Một hiện tượng khác gây mất ổn định quá trình cắt đó là hiện tượng dao ăn lẹm vào phôi do gá kẹp dao không hợp lý.



**Hình 2.5:** Mất ổn định do dao ăn lẹm vào chi tiết gia công làm biến đổi lực của động lực học

Khi điểm tựa của thân dao nằm phía dưới đường thẳng pháp tuyến của bề mặt gia công tại vị trí của mũi dao đã điều chỉnh thì khi cắt, do tác dụng của lực cắt, mũi dao sẽ dịch chuyển theo một cung cong bán kính  $r$  và sẽ cắt lẹm vào phôi (hình 2.5). Việc cắt lẹm vào sẽ làm tăng lực cắt, nhưng nếu lực cắt vượt quá một giá trị giới hạn nào đó làm cho dao quay quá nhiều quanh điểm P thì lực cắt lại giảm xuống. Sự biến động của lực cắt như thế làm rung động phát triển, dẫn đến mất ổn định quá trình cắt.

### 2.2.1.3. Ảnh hưởng của thông số hình học của dao

#### ➤ Ảnh hưởng của góc sau $\alpha$ và góc trước $\gamma$ :

Ảnh hưởng của góc sau  $\alpha$  và góc trước  $\gamma$  đến tự rung và ổn định được biểu thị thông qua ảnh hưởng của chúng đến chiều sâu cắt tới hạn.

Nói chung chưa có được những kết luận chắc chắn về ảnh hưởng của  $\alpha$  và  $\gamma$  đến tự rung và ổn định, nhưng theo lý thuyết khi tăng  $\alpha$  và  $\gamma$  ma sát ở mặt sau và mặt trước đều giảm nên tự rung sẽ giảm, hạn chế được sự mất ổn định. Tuy nhiên thực tế lại chỉ ra rằng, giới hạn ổn định sẽ giảm nếu tăng giá trị  $\alpha$  và  $\gamma$ .

#### ➤ Ảnh hưởng của góc điều chỉnh $\chi$

Góc điều chỉnh (là góc hợp bởi phương của lưỡi cắt chính và phương của trục X (phương vuông góc với đường tâm trục chính của máy tiện). Đối với quá trình gia công tiện thì góc điều chỉnh  $\chi$  ảnh hưởng đến phương của lực cắt và do đó ảnh

hưởng lớn đến rung động. Điều đó được biểu hiện ở ảnh hưởng của  $\chi$  đến chiều rộng cắt tới hạn.

➤ **Ảnh hưởng của góc nghiêng  $\phi$  của lưỡi cắt chính**

Góc  $\phi$  ảnh hưởng đến ổn định của quá trình cắt thông qua ảnh hưởng của nó đến chiều dày cắt và hướng của lực cắt. Góc  $\phi$  càng tăng thì ổn định càng cao.

➤ **Ảnh hưởng của tình trạng mòn của dao**

Ảnh hưởng của mòn dao đến tự rung và ổn định là yếu tố rất khó xác định chính xác. Tuy nhiên giá trị cắt tới hạn phụ thuộc vào độ mòn của dao nên giới hạn ổn định thay đổi theo thời gian làm việc của dao.

➤ **Ảnh hưởng của bán kính mũi dao  $r$**

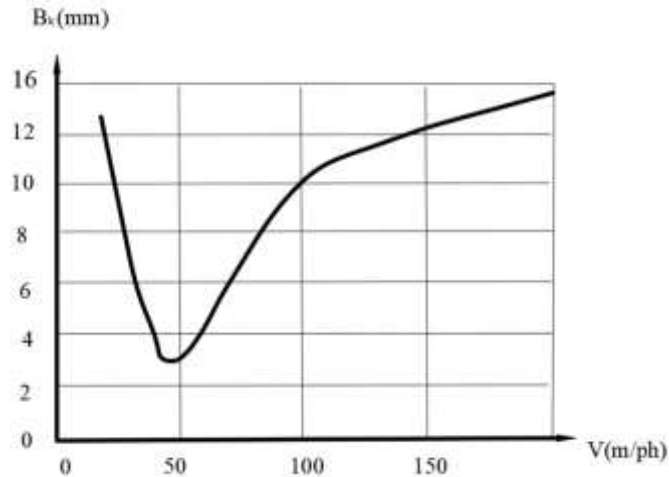
Bán kính mũi dao  $r$  có ảnh hưởng trực tiếp đến phương của lực cắt. Khi gia công thô, chiều rộng cắt lớn thì ảnh hưởng của  $r$  là nhỏ. Khi đó lực cắt có phương vuông góc với lưỡi cắt chính. Khi gia công tinh, chiều rộng cắt bé thì chiều sâu cắt nhỏ hơn bán kính  $r$ , phương của lực cắt sẽ nghiêng đi so với phương của lưỡi cắt chính.

Hiện tượng này cũng thường thấy khi khoan bởi vì độ mềm dẻo hướng kính của mũi khoan cao hơn so với hướng trục. Ngoài ra  $r$  có liên quan đến thành phần lực hướng kính. Do đó khi tăng  $r$  lực hướng kính sẽ tăng và xu hướng rung động sẽ tăng.

#### **2.2.1.4. Ảnh hưởng chế độ cắt**

➤ **Ảnh hưởng của vận tốc cắt**

Trong vùng vận tốc cắt thấp, các giới hạn ổn định giảm cùng với sự tăng tốc độ một cách liên tục (hình 2.6). Sau khi đi qua một điểm cực tiểu thì các giới hạn ổn định lại tăng cùng với tốc độ (tất nhiên với mỗi loại vật liệu thì điểm cực tiểu cũng khác nhau).



**Hình 2.6:** Ảnh hưởng của vận tốc cắt đến chiều rộng cắt tới hạn  $B_k$  khi tiện

Chưa có được được sự giải thích thỏa đáng về nguyên nhân của việc tăng giới hạn ổn định cùng với việc tăng tốc độ trong vùng tốc độ cao nhưng sự biến động đó đều có liên quan đến sự biến động của lực cắt nên gây ra mất ổn định. Một lý thuyết khác cho rằng nguyên nhân của sự giảm giới hạn ổn định và hình thành cực tiểu là do sự hình thành và phá hủy của lẹo dao.

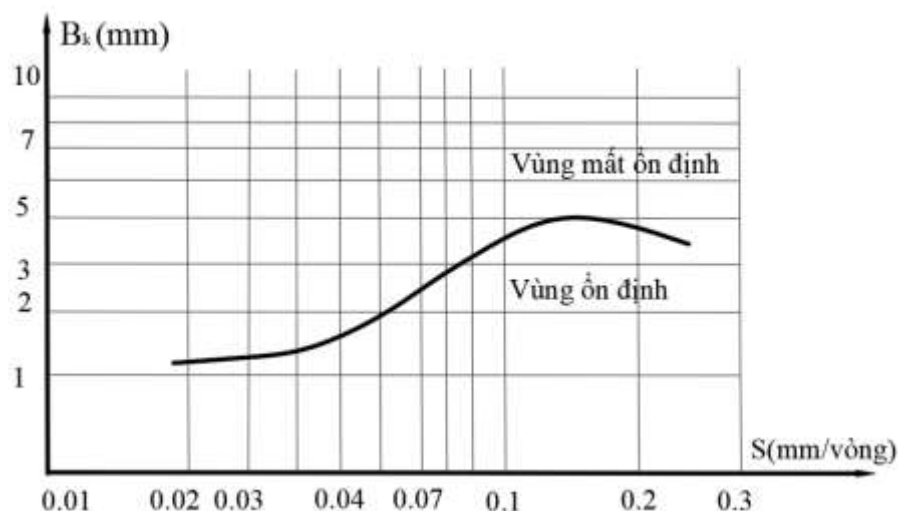
Vận tốc cắt còn ảnh hưởng đến ổn định trên phương diện khác, đó là ảnh hưởng đến lực cắt. Sự biến động của vận tốc cắt dẫn đến biến động của lực cắt. Sự biến động của lực cắt đó lại gây mất ổn định cho quá trình gia công.

#### ➤ Ảnh hưởng của bước tiến dao

Trên hình 2.7 là đồ thị thực nghiệm biểu thị ảnh hưởng của bước tiến dao  $f$  đến chiều rộng cắt tới hạn  $B_k$  khi gia công tiện.

Trong vùng bước tiến dao bé, mất ổn định xảy ra ngay cả khi chiều rộng cắt rất nhỏ. Trong vùng  $f \geq 0,05 \text{ mm/vg}$  thì chiều rộng cắt tới hạn lại tăng nhanh cùng với bước tiến dao. Hiện tượng đó đã được giải thích rằng, khi tăng bước tiến dao thì áp suất tĩnh của phoi trên mặt trước của dao và do đó ma sát trên mặt trước với vai trò giảm chấn cũng tăng lên và đồng thời do tăng kích thước của dòng phoi mà lực cắt động lực học lại giảm xuống. Nếu tăng  $f$  đến một mức nào đó thì chiều sâu cắt tới hạn lại giảm xuống. Bước quá độ từ tăng đến giảm là không đột ngột lắm. Từ đó tác giả cho rằng  $f$  không phải là một chỉ tiêu thích hợp để biểu diễn phản ứng động

lực học của máy. Vị trí của điện cực đại trên đồ thị phụ thuộc rất lớn vào quá trình tạo phoi, tức là phụ thuộc vào vận tốc cắt, thông số hình học của dao, tình trạng mòn của lưỡi cắt và phụ thuộc vào vật liệu...



**Hình 2.7:** Ảnh hưởng của bước tiến dao đến chiều rộng cắt tới hạn khi tiện.

### 2.2.1.5. Ảnh hưởng của vật liệu gia công

Ảnh hưởng của vật liệu đến tự rung và ổn định chính là do tính đồng đều của vật liệu.

Tính không đồng đều là yếu tố ngẫu nhiên nên rất khó xác định.

Do tổ chức của kim loại không đồng đều nên độ cứng của kim loại cũng không đồng đều. Sự không đồng đều của độ cứng sẽ làm cho lực cắt biến động, tạo điều kiện cho tự rung phát triển dẫn đến mất ổn định của quá trình gia công.

Độ cứng cắt kết tỷ lệ nghịch với chiều đủ cắt tới hạn, do đó và liệu có độ cứng càng cao thì tự rung và xu thế mất ổn định càng lớn và chiều sâu cắt tới hạn càng bé.

Ảnh hưởng của vật liệu đến tự rung còn biểu hiện ở tính dẻo của vật liệu. Vật liệu càng dẻo, càng dai thì xu hướng xuất hiện rung động nhiều hơn so với vật liệu giòn. Điều đó có thể giải thích bằng lý do: khi gia công vật liệu giòn thì ma sát của phoi trên mặt trước của dao ít hơn so với khi gia công vật liệu dẻo và lẹo dao cũng không hình thành.

### **2.2.2. Các biện pháp nâng cao ổn định của quá trình cắt**

Việc phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến tự rung và ổn định là cơ sở của các biện pháp để hạn chế ảnh hưởng của tự rung nhằm nâng cao tính ổn định của quá trình cắt. Các biện pháp đó có thể quy về ba nhóm sau:

#### **2.2.2.1. Các biện pháp liên quan đến cấu trúc của máy**

- Nâng cao độ cứng vững tĩnh của máy
- Đảm bảo độ cứng vững của móng máy bao gồm cả các giải pháp lắp đặt máy có tác dụng giảm chấn.
  - Lựa chọn vị trí làm việc tối ưu của các bộ phận máy quan trọng như bàn trượt, cầu ngang, bàn dao.
  - Thay đổi số vòng quay trục chính để giảm thiểu hiệu ứng tái sinh.
  - Nâng cao khả năng giảm chấn của máy.
  - Dùng biện pháp định hướng sao cho lực cắt vuông góc với hướng của máy có độ mềm dẻo động lực học lớn nhất.

#### **2.2.2.2. Các biện pháp liên quan đến phôi và dụng cụ gia công**

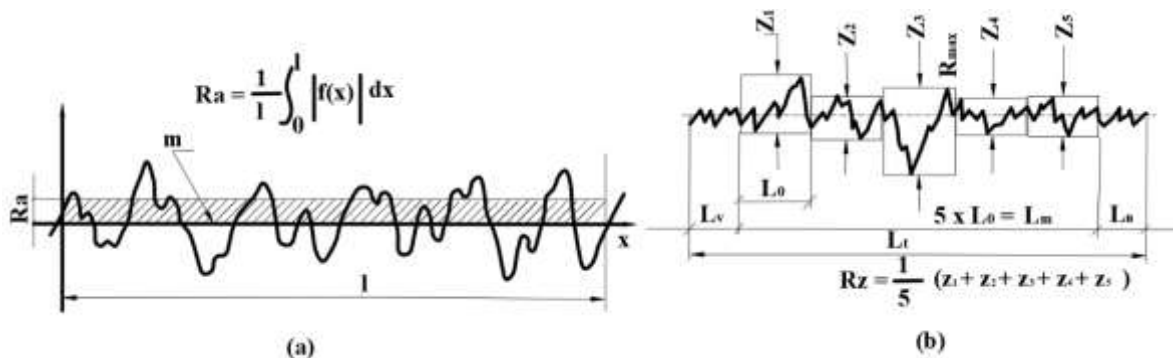
- Dùng các bộ phận đỡ làm tăng độ cứng vững của chi tiết gia công chẳng hạn như dùng luynet trên máy tiện...
  - Giảm nhỏ trọng lượng của phôi
  - Sử dụng những dao có tác dụng giảm chấn
  - Giảm trọng lượng của dụng cụ cắt.

#### **2.2.2.3. Các biện pháp liên quan đến quá trình cắt**

- Lựa chọn những vật liệu gia công có lực cắt riêng nhỏ.
- Giảm góc sau  $\alpha$  của dao.
- Cố gắng sử dụng dao có góc trước âm ( $\gamma < 0$ ).
- Hạn chế chiều dài tham gia cắt của lưỡi cắt.
- Tăng giá trị của bước tiến dao.
- Sử dụng vận tốc cắt rất thấp hoặc rất cao để tránh cực tiểu ổn định.
- Với những dụng cụ có nhiều lưỡi cắt thì nên sử dụng những dao có bước răng phân chia không đồng đều.
  - Sử dụng chế độ cắt tối ưu.

### 2.3. Đánh giá chất lượng bề mặt gia công

Độ nhám bề mặt là một trong những chỉ tiêu để đánh giá chất lượng bề mặt gia công, nhám bề mặt ảnh hưởng đến các chức năng và hiệu quả của sản phẩm. Độ nhám bề mặt chỉ sự biến đổi cao độ hoặc độ lệch từ đường trung bình của bề mặt vật liệu, thường được đo ở mức micromet. Các đỉnh và nhấp nhô nhỏ trên bề mặt tạo nên độ nhám, là kết quả của quá trình gia công, như cắt, mài, hoặc phay và thường mang đặc trưng về độ cứng vững của hệ thống công nghệ. Độ nhám bề mặt thường được đo bằng các thiết bị đo chuyên dùng, thường sử dụng các tiêu chuẩn đo lường như Ra, Rz (hình 2.8) phổ biến.



**Hình 2.8:** Chỉ tiêu đo nhám bề mặt Ra (hình a) và Rz (hình b)

Trong nghiên cứu này chỉ tiêu nhám bề mặt chi tiết Ra và Rz được dùng là một trong các chỉ tiêu quan trọng để đánh giá độ rung động trong quá trình tiện mô phỏng và thực nghiệm. Vì khi hệ thống rung động thì độ nhám bề mặt sẽ rất lớn, chất lượng bề mặt chi tiết gia công sẽ rất thấp.

### 2.4. Mô phỏng quá trình tiện bằng FEM

Phương pháp mô phỏng tiện bằng FEM là một phương pháp số được sử dụng để mô phỏng và giải các bài toán về cấu trúc và địa chất. FEM là một phương pháp rất phổ biến trong lĩnh vực kỹ thuật, đặc biệt là trong mô phỏng và phân tích cơ học, nhiệt và dòng chảy. Phương pháp FEM chia không gian mô hình thành các phần tử hữu hạn nhỏ hơn và dễ quản lý. Mỗi phần tử được xem như một đơn vị đơn giản và được xác định bằng một tập hợp các hàm cơ sở. Các phần tử này được kết hợp lại để tạo thành mô hình toàn cục của hệ thống. Quá trình tính toán trong phương pháp



FEM bao gồm ba bước chính: phân tách, xấp xỉ và giải. Trong bước phân tách, không gian mô hình được phân tách thành các phần tử hữu hạn hay được gọi là chia lưới phần tử. Sau đó, trong bước xấp xỉ, mô hình được xấp xỉ bằng cách xác định hàm xấp xỉ cho các biến khảo sát trong mô hình. Cuối cùng, trong bước giải, các phương trình liên quan đến mô hình được giải bằng phương pháp số để tìm ra giá trị xấp xỉ của biến khảo sát.

Mô hình toán học:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = P(t) \quad (2.5)$$

↓

$$\varepsilon = \sum K_i x_i \quad (2.6)$$

↓

$$\sigma = \sigma(\varepsilon, e, T) \quad (2.7)$$

Mô hình ứng xử và mô hình phá hủy vật liệu: mô hình vật liệu Johnson\_Cook.

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n) \cdot \left(1 + C \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right) \cdot \left(1 - \left[\frac{T - T_r}{T_m - T_r}\right]^m\right) \quad (2.8)$$

Trong đó:

$\sigma$ : ứng suất sinh ra

A, B, C: là các hằng số vật liệu.

$\varepsilon$ : biến dạng

$T_m$ : nhiệt độ chảy dẻo

$T_r$ : nhiệt độ phòng

$$\varepsilon_f = \left[ D_1 + D_2 \exp\left(-D_3 \frac{\sigma_m}{\sigma_v}\right) \right] \left[ 1 + D_4 \ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right) \right] \left[ 1 + D_5 \frac{T}{T_m} \right] \quad (2.9)$$

$D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$ : là các hằng số vật liệu.

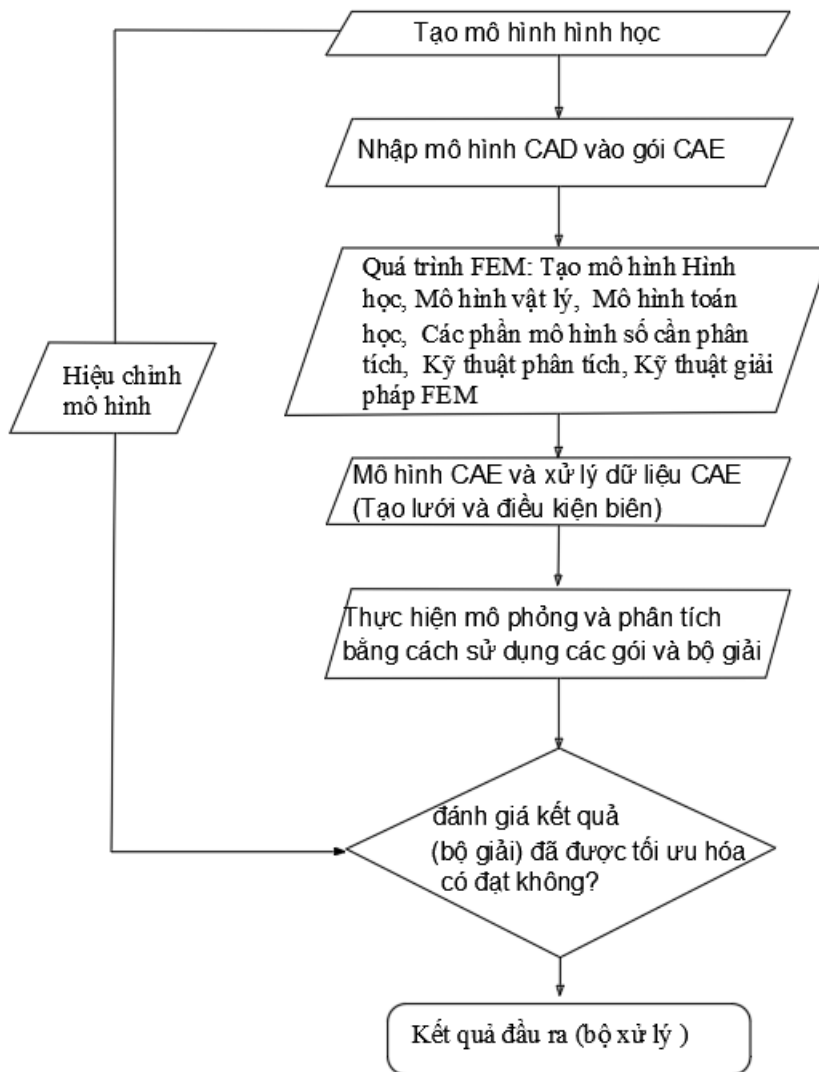
Một quy trình mô phỏng CAE chuẩn bao gồm các bước (hình 2.9):

- Xây dựng mô hình – preprocessing: Bao gồm các bước mô hình hóa từ dữ liệu CAD, gán các đặc tính vật lý (vật liệu), tải trọng và các ràng buộc đi kèm (điều kiện biên).

- Chạy bộ giải – solving: Thực hành Solving để mô phỏng tính toán bằng cách sử dụng một công thức toán học thích hợp.

- Đọc và phân tích kết quả – postprocessing: Bước cuối cùng postprocessing kết quả sẽ được hiển thị để được xem xét đánh giá và hiệu chỉnh với dữ liệu chuẩn.

Với công cụ toán học phương pháp số phần tử hữu hạn được ứng dụng rộng rãi trong việc giải phương trình vi phân trong những năm gần đây. Với các phần mềm mô phỏng cắt gọt như Third Wave AdvantEdge, Deform V11.0 và ABAQUS, phương pháp phần tử hữu hạn được áp dụng để mô phỏng quá trình cắt gọt kim loại cũng như quá trình phân tích lực cắt, phân tích động học quá trình ngày càng phổ biến. Trong nghiên cứu này tác giả chủ yếu sử dụng công cụ Third Wave AdvantEdge với lý do công cụ hỗ trợ chuyên về mô phỏng cắt gọt và các thông số thiết lập đa dạng và đã được hiệu chỉnh qua các thực nghiệm.



**Hình 2.9:** Lưu đồ giải thuật mô phỏng gia công tiện

## 2.5. Lý thuyết Taguchi

Phương pháp tối ưu hóa Taguchi, còn được gọi là thiết kế và cải tiến theo Taguchi, là một phương pháp được sử dụng để tối ưu hóa chất lượng sản phẩm và hiệu suất của quá trình. Phương pháp này tập trung vào việc cải thiện chất lượng của sản phẩm hoặc giảm thiểu ảnh hưởng các yếu tố không lường trước được đến quá trình. Các bước chính trong phương pháp Taguchi tối ưu hóa bao gồm:

Xác định yếu tố và thiết lập mức độ của chúng: Đây là các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng hoặc hiệu suất của sản phẩm hoặc quá trình. Các mức độ của chúng được chọn để xác định các điều kiện thử nghiệm.

Thiết kế các thí nghiệm: Sử dụng kỹ thuật thiết kế thí nghiệm của Taguchi, các thí nghiệm được thiết kế để xác định tác động của các yếu tố và mức độ đối với chất lượng hoặc hiệu suất. Phân tích kết quả: Sử dụng các phương pháp thống kê, như phân tích phương sai (ANOVA), để phân tích kết quả thí nghiệm và xác định yếu tố quan trọng và ảnh hưởng của chúng.

Phương pháp Taguchi dùng tỷ số tín hiệu/nhiều (S/N), được chuyển đổi từ hàm mất mát  $L = k(y - m)^2$ , trong đó  $L$  là mất mát do sự sai lệch giữa giá trị đáp ứng  $y$  thực tế và giá trị đáp ứng  $m$  mong đợi,  $k$  là một hằng số. Tỷ số S/N được xây dựng và biến đổi để phù hợp với ba trường hợp chính:

Nếu giá trị đáp ứng  $y_i$  cần đạt “Lớn hơn tốt hơn” thì:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.10)$$

Nếu giá trị đáp ứng  $y_i$  cần đạt “Nhỏ hơn tốt hơn” thì:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2.11)$$

Nếu giá trị đáp ứng  $y_i$  cần đạt “Đánh giá ảnh hưởng của các nhân tố” thì:

$$\frac{S}{N} = 10 \log_{10} \left( \frac{\bar{y}_i^2}{s_i^2} \right) \quad (2.12)$$

trong đó:  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n y_u$  ;  $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (y_u - \bar{y})^2$

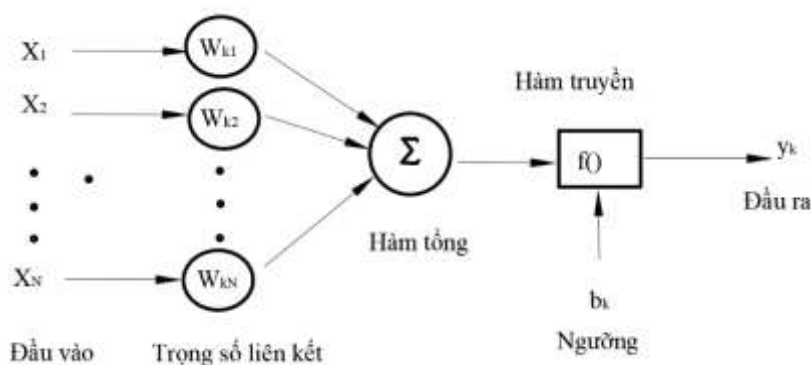
với  $n$ : là số thí nghiệm lặp,  $s$ : độ lệch chuẩn,  $\bar{y}$ : giá trị trung bình. Trong mọi trường hợp, tỷ số S/N càng cao thì chất lượng đặc tính thu được càng tốt. Vì không sử dụng tất cả các kết hợp thí nghiệm, phương pháp Taguchi không cung cấp một con số chính xác về ảnh hưởng của một tham số đầu vào (nhân tố) nào đó đến kết quả đầu ra, nhưng chỉ đưa ra định hướng. Tuy nhiên, việc đánh giá thông qua tỷ số S/N giúp những người làm công nghệ biết được xu hướng và mức độ ảnh hưởng của từng tham số công nghệ đến kết quả đầu ra. Những kết quả này sẽ giúp các nhà nghiên cứu nhanh chóng xác định các tham số công nghệ và phạm vi tác động cần

thiết để đạt được hiệu suất đầu ra tốt nhất. Dựa trên việc đánh giá ảnh hưởng của từng tham số riêng biệt, có thể tìm ra tổ hợp tối ưu của các tham số công nghệ cho kết quả đặc tính đầu ra mong muốn.

## 2.6. Lý thuyết về mạng Nơ-ron

### 2.6.1. Mạng Nơ-ron ANN

Mạng nơ-ron, còn được gọi là mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), là một hệ thống tính toán được lấy cảm hứng từ cách hoạt động của não người. ANN là một mô hình toán học bao gồm một tập hợp các nút nơ-ron được kết nối với nhau theo một cấu trúc xác định. Mỗi nút nơ-ron trong mạng nơ-ron nhận đầu vào, thực hiện một phép tính dựa trên đầu vào đó, và sau đó truyền kết quả tính toán tới các nút nơ-ron khác trong mạng (hình 2.10). Các kết nối giữa các nút nơ-ron chứa các trọng số, đại diện cho sức mạnh của kết nối đó. Quá trình tính toán của mạng nơ-ron được điều chỉnh bởi các trọng số này.



**Hình 2.10:** Sơ đồ mạng nơ-ron cơ bản

Các mạng nơ-ron có khả năng học và thích nghi với dữ liệu thông qua quá trình huấn luyện. Trong quá trình huấn luyện, mạng nơ-ron thay đổi các trọng số của nút nơ-ron để tìm hiểu và phân biệt các đặc trưng quan trọng trong dữ liệu đầu vào. Quá trình này thường được thực hiện thông qua các phương pháp như lan truyền ngược (backpropagation), trong đó mạng nơ-ron điều chỉnh các trọng số dựa trên sự khác biệt giữa đầu ra dự đoán và đầu ra thực tế. Mạng nơ-ron đã đạt được sự phát triển đáng kể và được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, bao gồm xử lý ngôn ngữ tự nhiên, thị giác máy tính, nhận dạng giọng nói, dự đoán, và nhiều ứng

dụng khác. Mạng nơ-ron sở hữu khả năng học và khả năng biểu diễn mạnh mẽ, cho phép chúng ta xử lý và phân tích các dữ liệu phức tạp và khám phá những thông tin quan trọng từ chúng.

Phân tích dữ liệu chuỗi thời gian (time series) trong học máy là quá trình nghiên cứu và áp dụng các phương pháp để hiểu và dự đoán các dữ liệu có tính chất chuỗi thời gian. Trong nghiên cứu này, tác giả phân tích và mô hình hóa dữ liệu lợc và gia tốc rung động dựa trên thời gian để hiểu các mô hình và xu hướng xuất hiện trong dữ liệu và từ đó dự đoán giá trị trong tương lai.

Dưới đây là một số bước chính trong quá trình phân tích bài toán dự đoán theo chuỗi thời gian:

**Chuẩn bị dữ liệu:** Bước đầu tiên là thu thập và chuẩn bị dữ liệu chuỗi thời gian. Điều này bao gồm việc thu thập dữ liệu theo đúng thứ tự thời gian và xử lý dữ liệu bất thường hoặc thiếu sót.

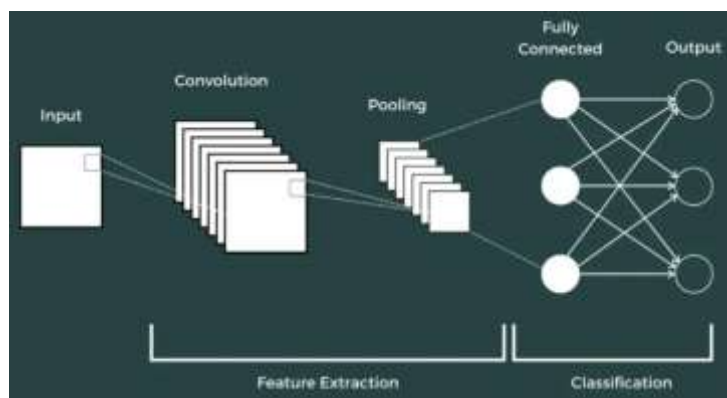
**Học dữ liệu:** dữ liệu được phân tích và khám phá để hiểu các tính chất của chuỗi thời gian. Điều này bao gồm việc kiểm tra xu hướng, mô hình hóa chu kỳ, phân tích các thành phần thay đổi và tìm hiểu các mối quan hệ giữa các biến.

**Phân tích thống kê:** Sử dụng các phương pháp thống kê có thể xác định các mô hình và mô tả dữ liệu chuỗi thời gian. Xác định mô hình dựa trên việc phân tích và học dữ liệu, chúng ta có thể chọn mô hình phù hợp để mô phỏng và dự đoán dữ liệu chuỗi thời gian như mạng nơ-ron hồi quy RNNs như LSTM.

**Đánh giá và dự đoán:** sau khi xây dựng mô hình, chúng ta đánh giá hiệu suất của mô hình bằng cách so sánh dự đoán với các giá trị thực tế trong quá khứ.

### **2.6.2. Mạng nơ-ron tích chập CNN**

Mạng nơ-ron tích chập (CNN) là một loại mạng nơ-ron phổ biến cho các nhiệm vụ phân loại hình ảnh. So với mạng nơ-ron truyền thống, CNN có thể tích hợp thông tin không gian của dữ liệu đầu vào, giúp CNN đạt hiệu suất tốt hơn trong xử lý hình ảnh. Khối cơ bản của một CNN là lớp tích chập, tập huấn luyện được đưa vào các bộ lọc và tạo ra một tập hợp các bản đồ kích hoạt tương ứng với các đặc trưng khác nhau của dữ liệu đó (hình 2.11).



**Hình 2.11:** Cấu trúc cơ bản của mạng CNN

Những bản đồ kích hoạt này sau đó được đưa vào một lớp gộp, giảm chiều dữ liệu bằng cách chọn giá trị lớn nhất hoặc trung bình trong một cửa sổ nhỏ của bản đồ kích hoạt. Đầu ra của lớp gộp sau đó được đưa vào một lớp kết nối đầy đủ, tạo ra đầu ra phân loại cuối cùng. Lớp kết nối đầy đủ tương tự như lớp đầu ra trong mạng nơ-ron truyền thống, trừ việc CNN lấy đầu vào từ đầu ra của các lớp tích chập và gộp thay vì trực tiếp từ dữ liệu đầu vào. Một lợi thế của CNN là khả năng học các đặc trưng trực tiếp từ dữ liệu, thay vì dựa vào các đặc trưng được tạo ra bằng tay. Điều này được đạt được thông qua quá trình lan truyền ngược, điều chỉnh các tham số học được của bộ lọc tích chập trong quá trình huấn luyện để tối đa hóa độ chính xác phân loại đầu ra. Nghiên cứu sử dụng các phương pháp học máy để nhận diện và phân loại hình ảnh để phát hiện quá trình rung. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã sử dụng năm mô hình phổ biến nhất trong những năm gần đây, đó là VGG16, ResNet50, DenseNet, InceptionNet và mô hình CNN hai dữ liệu đầu vào.

## 2.7. Lực nam châm và mô phỏng cơ - từ trường

Công thức được sử dụng để xác định lực hút điện từ tại một khe hở không khí của nam châm điện là:

$$F = \frac{1}{2\mu_0} B^2 S = \frac{1}{2\mu_0} B_{\delta m}^2 \sin^2(\omega t) S \quad (2.13)$$

$$F = \frac{1}{2S\mu_0} \Phi_{\delta m}^2 \sin^2(\omega t) \quad (2.14)$$

$$F = \frac{1}{2} \frac{\Phi_{\delta m}^2}{G^2} \frac{dG}{d\delta} \sin^2(\omega t) \quad (2.15)$$

trong đó:  $F$  - lực điện từ;  $B_{\delta}$ - là từ cảm tại khe hở không khí;

$\Phi_{\delta}$ - là từ thông qua tiết diện  $S$  của bề mặt cực từ;

$G$  - từ dẫn tương đương của mạch từ;

$\mu_0$ : từ thẩm không khí.

Công thức trên tính toán lực hút điện từ bằng cách xác định biên độ từ cảm  $B_{\delta m}$  và biên độ từ thông  $\Phi_{\delta m}$  tại khe hở không khí. Cả hai giá trị này có thể được tính toán bằng phương pháp mạch từ tương đương.

Khi áp dụng phương pháp giải tích để tính toán các thông số  $B_{\delta m}$  và  $\Phi_{\delta m}$ , cần thực hiện các giả định sau: Xem khe hở không khí nhỏ đến mức có thể bỏ qua tác động từ trường tản và từ trường rò, xem vật liệu dẫn từ có đặc tính B-H tuyến tính, không xét đến tổn thất từ trễ và tổn thất dòng điện xoáy. Những giả định này có thể làm giảm độ chính xác của kết quả tính toán theo phương pháp giải tích hoặc có thể dẫn đến kết quả sai nếu nam châm điện hoạt động trong vùng bão hòa mạch từ.

### 2.7.1. Tính lực từ nam châm bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Cấu trúc điện từ của mạch từ và phân bố từ trường trong không gian xung quanh được xác định bằng cách giải phương trình Poisson cho trường điện từ trong mô hình nam châm điện. Mô hình này được xây dựng dựa trên định luật Maxwell - Ampe. Phương trình Maxwell - Faraday cho trường từ trong trạng thái ổn định của nam châm điện được viết như sau:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (2.16)$$

trong đó:  $\vec{J}$ - mật độ dòng điện một chiều chảy trong cuộn dây nam châm điện, A/m<sup>2</sup>;

$\vec{H}$  – cường độ từ trường, H/m.

Cường độ từ trường  $\vec{H}$  có liên hệ với mật độ từ thông  $\vec{B}$  như biểu thức:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (2.17)$$

trong đó:  $\mu_0$  - độ từ thẩm của chân không;

$\mu_r$  - độ từ thẩm tương đối của môi trường dẫn từ.



Trong trường điện từ,  $\vec{B}$  được tính toán qua đại lượng vectơ từ thế  $\vec{A}$  như sau:

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad (2.18)$$

Thay (2) và (3) vào (1), ta thu được phương trình

$$\nabla \times \left( \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J} \quad (2.19)$$

Phương trình (4) có dạng tổng quát của phương trình Poisson, có thể được diễn giải trong mô hình phân tích ứng với hệ tọa độ Oxyz như sau:

$$\frac{1}{\mu_0 \mu_r} \left( \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} \right) + J = 0 \quad (2.20)$$

Giải (5), tìm được  $\vec{A}$ , sau đó dựa vào (2) và (3) để tính được mật độ từ thông B và cường độ từ trường H như sau:

$$\vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k} = \left( \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \vec{i} + \left( \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left( \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \vec{k} \quad (2.21)$$

Điện áp đặt vào hai cực cuộn dây và điện trở một chiều của cuộn dây, có thể xác định được mật độ dòng điện từ các phương trình:

$$U = R_{dc} i + L \frac{di}{dt}; I_{dc} = \frac{U}{R_{dc}} \quad (2.22)$$

trong đó: U - điện áp đặt vào 2 cực cuộn dây;

R<sub>dc</sub> - điện trở của cuộn dây ;

L - điện cảm của cuộn dây;

I<sub>dc</sub> - dòng điện trong cuộn dây;

S<sub>dq</sub> - tiết diện cuộn dây;

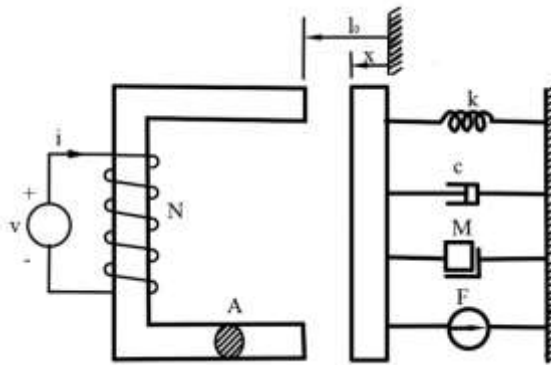
Phương pháp FEM là một phương pháp tính toán để giải phương trình (5) và tìm giá trị của vector từ thế  $\vec{A}$ . Từ đó, ta có thể tính toán được từ cảm  $\vec{B}$  và cường độ từ trường  $\vec{H}$  sử dụng các công thức (3) và (2), nhằm xác định phân bố từ trường trong không gian với độ chính xác cao. Sau đó, lực từ của nam châm điện có thể được tính toán dựa trên công thức căng Maxwell hoặc dựa trên phương pháp năng lượng như sau:

$$F_{av} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F_{inst} d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{dW(i, \delta)}{d\delta} d(\omega t) \quad (2.23)$$

trong đó  $F_{av}$  - lực từ trung bình;  $F_{inst}$  - lực từ tức thời;  $W(i, \delta)$  - năng lượng của từ trường;  $\delta$  - là độ dài khe hở không khí.

Phương pháp tính toán bằng phương pháp FEM không yêu cầu các giả định giống như phương pháp giải tích. Ngoài ra, FEM cũng cho phép khảo sát phân bố từ trường trong mạch từ và không gian xung quanh mạch từ, từ đó hỗ trợ tối ưu hóa quá trình thiết kế nam châm điện.

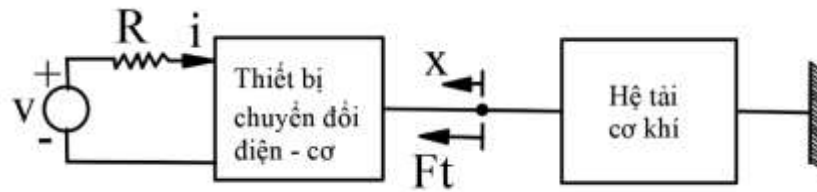
### 2.7.2. Bài toán môi trường đa vật lý cơ – điện từ trường



**Hình 2.12:** Sơ đồ mô hình dao động cơ – điện từ trường

Bài toán điện – cơ (Electromechanical) là một thuật ngữ kỹ thuật trong lĩnh vực điện tử và cơ khí, kết hợp cả các khía cạnh điện và cơ để thể hiện sự tương tác giữa điện và cơ trong các hệ thống và thiết bị. Phương pháp liên quan đến việc chuyển đổi và tương tác giữa năng lượng điện và cơ, và thường ám chỉ các thiết bị, công nghệ hoặc hệ thống có khả năng chuyển đổi giữa năng lượng điện và cơ, hoặc sử dụng cả hai để hoạt động. Các thiết bị điện - cơ bao gồm các động cơ điện, bộ điều khiển động cơ, cảm biến điện và cơ, bộ truyền động điện và các hệ thống tự động hoá điện tử và cơ khí.

Hệ động lực học của các hệ thống cơ-điện (hình 2.12) mô tả một hệ điện cơ với bộ phận cơ đóng vai trò tải, bao gồm lò xo k, bộ giảm chấn c, khối lượng m và bộ lực tác động ngoài F.



**Hình 2.13:** Sơ đồ khối của hệ thống điện - cơ

Hình 2.13 thể hiện sơ đồ khối của các phương trình động của các hệ thống điện - cơ tổng quát. Mô hình thể hiện hệ thống điện cơ khối điện và khối cơ, thông qua đó mô hình được kết nối với nguồn điện ở một phía và tải cơ khí ở phía khác. Nói chung, có thể có nhiều hơn một công điện (hệ thống đa tín hiệu điện).

$$v_1 = i_1 R + \frac{\mu_0 AN^2}{2(l_0 - X_0)} \frac{di_1}{dt} + \frac{\mu_0 AN^2 I_0}{2(l_0 - X_0)^2} \frac{dx_1}{dt} \quad (2.24)$$

$$\frac{2\mu_0 AN^2 I_0 i_1}{4(l_0 - X_0)^2} = M \frac{dx_1}{dt^2} + B \frac{dx_1}{dt} + Kx_1 + f_1 \quad (2.25)$$

## 2.8. Kết luận chương 2

Trong chương này, tác giả đã tìm hiểu tổng quát cơ sở lý thuyết về rung động trong gia công cắt gọt ở các khía cạnh khác nhau. Nghiên cứu nhấn mạnh đặc biệt vào các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình rung động và hậu quả của rung động đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công. Các cơ sở lý thuyết về các kỹ thuật phân tích, nhận diện và hạn chế rung động như FEM, ANN và mô hình bài toán môi trường đa vật lý cơ điện cũng được khảo sát. Đây chính là cơ sở để tác giả xây dựng mô hình nghiên cứu và tiến hành mô phỏng và thực nghiệm các yếu tố ảnh hưởng đến rung động và tác động tích cực của lực từ trường nam châm đến hạn chế rung động.

## CHƯƠNG 3

### THIẾT LẬP MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Để xác các thông số đặc trưng của lực cắt sinh ra và các yếu tố ảnh hưởng đến lực cắt trong quá trình tiện cũng như xác định ảnh hưởng tác động của lực từ trường lên cán dao tiện, tác giả dùng phương pháp mô phỏng phân tử hữu hạn với mô hình mô phỏng 2D và 3D.

Ngoài ra để nhận diện và phát hiện ra được rung động trong quá trình tiện một cách nhanh chóng và hiệu quả cũng như dự đoán lực cắt dựa trên dữ liệu lực cắt thu thập trước đó để tìm ra đặc trưng của lực cắt tương ứng với hệ thống công nghệ hiện có tác giả sử dụng phương pháp học máy.

Cuối cùng với mục đích khảo sát ảnh hưởng của lực từ cường bức lên cán dao tiện cũng như tìm giá trị tối ưu của lực từ trường tác giả sử dụng phương pháp thực nghiệm với mô hình tiện lỗ.

Trong quá trình tiện hiện tượng rung động thường xảy ra trong ba trường hợp sau:

+ Tiện trụ dài: với dạng chi tiết dạng trụ dài ( thông thường khi  $l > 5d$  với  $l$  : chiều dài phôi,  $d$  đường kính phôi). Nên khi tiện sẽ có hiện tượng biến dạng đàn hồi rất lớn dưới tác dụng của lực cắt nên rất dễ gây ra rung động. Các biện pháp kỹ thuật thường sử dụng để khắc phục là dùng chống tâm, luynet đỡ phụ để tăng độ cứng vững phôi. Trong công nghiệp cũng có các loại máy tiện dạng phôi đùn (phôi vừa quay vừa tịnh tiến ) với phương án này rất hiệu quả trong việc chống rung khi tiện các chi tiết nhỏ và dài. Nên trong nghiên cứu này tác giả chỉ mô phỏng cơ chế và đặc điểm ảnh hưởng của biến dạng của phôi đến rung động mà không đi tìm giải pháp áp dụng lực cường bức để giảm rung trong trường hợp này.

+ Tiện mặt bích mỏng: (thông thường khi  $t < 12d$  với  $t$  bề dày mặt bích,  $d$  đường kính phôi). Tương tự tiện trụ dài khi tiện mặt bích mỏng, do bề dày của chi tiết mỏng nên khi gia công dưới tác dụng của lực cắt, chi tiết bị biến dạng dẫn đến rung động. Khi gia công chi tiết dạng mặt bích mỏng, vì tiện theo hướng kính nên

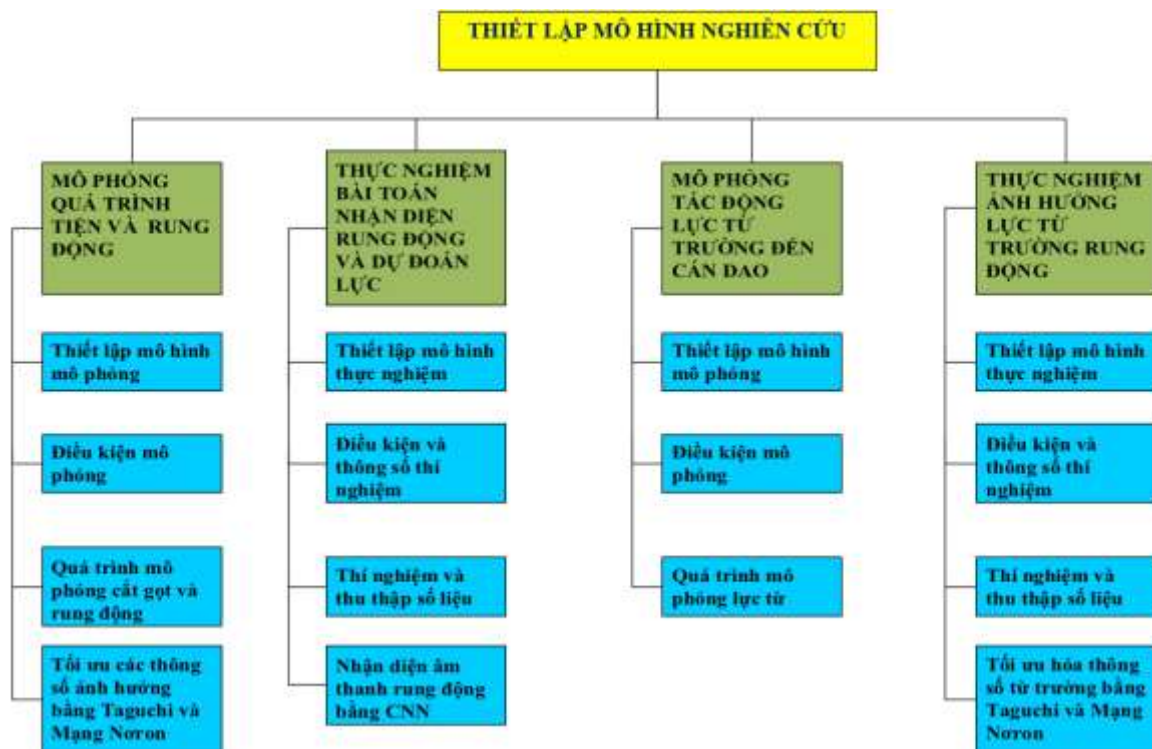
vận tốc cắt sẽ thay đổi liên tục theo hướng kính, dẫn đến lực cắt thay đổi nên rất dễ xảy ra hiện tượng rung động. Các biện pháp kỹ thuật thường sử dụng như thay đổi tốc độ trục chính để vận tốc cắt không đổi, sử dụng phương án gá kẹp và đồ gá chuyên dùng để tăng độ cứng vững gá đặt và hiệu quả các phương pháp này khá hiệu quả. Nên trong nghiên cứu này chỉ sử dụng phương pháp mô phỏng để mô phỏng ảnh hưởng biến dạng phôi dạng tấm mỏng đến quá trình rung động mà không sử dụng lực từ trường để giảm rung. Tuy nhiên trong mô hình tiện mặt bích mỏng do vận tốc cắt thay đổi nên hiện tượng rung động và ổn định xuất hiện thường xuyên và xen kẽ nhau vì vậy rất thuận lợi trong việc thu thập nhiều dữ liệu nên nghiên cứu này sử dụng mô hình này để áp dụng thuật toán nhận diện rung động bằng dữ liệu âm thanh và hình ảnh.

+ Tiện chi tiết lỗ sâu: (thông thường khi  $l > 3d$  với  $l$  chiều sâu lỗ,  $d$  đường kính lỗ) đặc điểm của tiện chi tiết lỗ sâu là cán dao tiện thường gá đặt công xôn, một đầu ngàm một đầu tự do nên rất dễ bị biến dạng và rung động. Có rất nhiều nghiên cứu và giải pháp được áp dụng để hạn chế rung động này: dùng cán dao tiện lỗ vật liệu có độ cứng cao như cacbit hay dùng cán dao giảm chấn. Với phương án dùng cán dao cacbit chỉ phù hợp cho các chi tiết lỗ nhỏ và rất tốn kém chi phí. Phương án dùng cán dao giảm chấn có hạn chế là khi thông số công nghệ thay đổi cần hiệu chỉnh lại các thông số giảm chấn cho phù hợp điều này cũng tốn nhiều chi phí và khó khăn với các người không chuyên. Vì vậy nghiên cứu này tập trung các nội dung phân tích cơ chế rung động, nhận diện rung động, tác động lực từ trường cường bức để giảm rung vào mô hình này

+ Tiện mặt bích mỏng: Tương tự tiện trụ dài khi tiện mặt bích mỏng, do bề dày của chi tiết mỏng nên khi gia công dưới tác dụng của lực cắt, chi tiết bị biến dạng dẫn đến rung động. Khi gia công chi tiết dạng mặt bích mỏng, vì tiện theo hướng kính nên vận tốc cắt sẽ thay đổi liên tục theo hướng kính, dẫn đến lực cắt thay đổi nên rất dễ xảy ra hiện tượng rung động. Các biện pháp kỹ thuật thường sử dụng như thay đổi tốc độ trục chính để vận tốc cắt không đổi, sử dụng phương án gá kẹp và đồ gá chuyên dùng để tăng độ cứng vững gá đặt và hiệu quả các phương

pháp này khá hiệu quả. Nên trong nghiên cứu này chỉ sử dụng phương pháp mô phỏng để mô phỏng ảnh hưởng biến dạng phôi dạng tấm mỏng đến quá trình rung động mà không sử dụng lực từ trường để giảm rung. Tuy nhiên trong mô hình tiện mặt bích mỏng do vận tốc cắt thay đổi nên hiện tượng rung động và ổn định xuất hiện thường xuyên và xen kẽ nhau vì vậy rất thuận lợi trong việc thu thập nhiều dữ liệu nên nghiên cứu này sử dụng mô hình này để áp dụng thuật toán nhận diện rung động bằng dữ liệu âm thanh và hình ảnh.

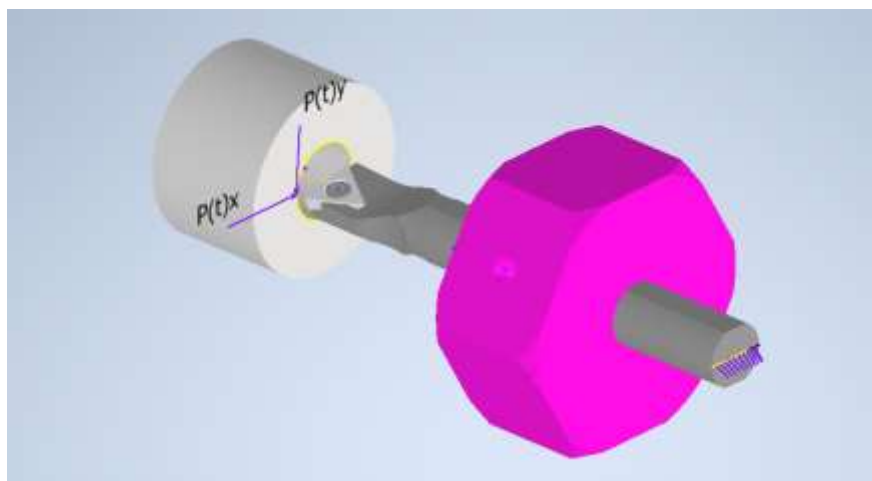
(hình 3.1).



**Hình 3.1:** Sơ đồ thiết lập các bước nghiên cứu với mô hình tiện lỗ sâu

### 3.1. Mô hình động lực học bài toán giảm rung bằng lực từ

Mục tiêu thông qua phương pháp dùng lực tác động ngoài tác động cho hệ dao động đã có sẵn để hạn chế dao động của hệ. Xây dựng mô hình toán học, mô phỏng quá trình, chế tạo mô hình thực nghiệm quá trình tác động của lực bên ngoài  $P'(t)$  vào việc giảm rung động trong quá trình tiện.



**Hình 3.2:** Mô hình phân tích lực làm biến dạng cán dao khi tiện lỗ

Khi không có tác động của lực từ trường. Phương trình dao động hệ được mô tả như phương trình 3.1

$$m \frac{dx}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = P(t) \quad (3.1)$$

Khi có lực từ trường  $P'(t)$  tác động vào hệ. Phương trình dao động hệ được mô tả như phương trình 3.2

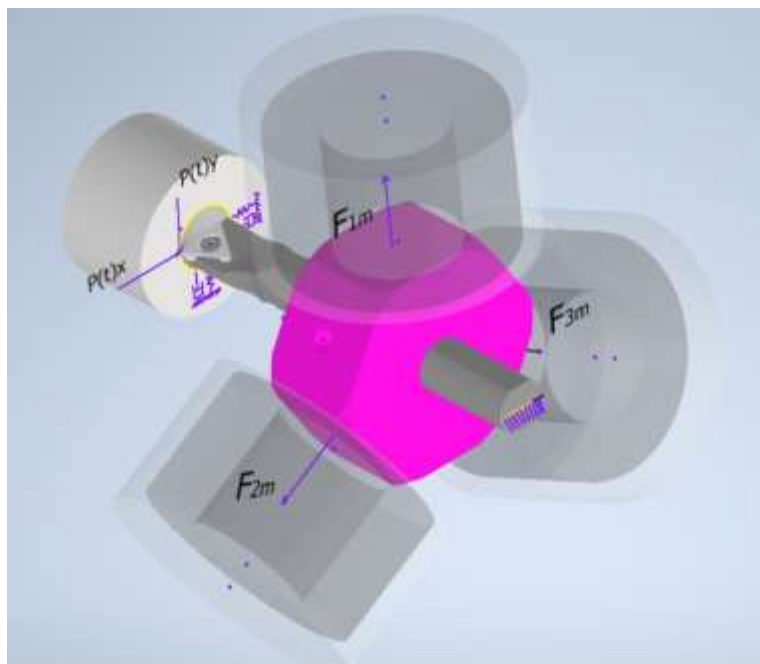
$$\Rightarrow m \frac{dx}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = P(t) + P'(t) \quad (3.2)$$

Trong quá trình tiện lỗ lực cắt xuất hiện theo ba phương, tuy nhiên với lực cắt theo phương z (phương dọc theo cán dao) sẽ làm cán dao chịu ứng suất và biến dạng nén. Do biến dạng này rất nhỏ không ảnh hưởng đến khả năng làm việc của cán dao nên trong mô hình phân tích động lực học này sẽ bỏ qua. Mô hình động lực học của cán dao tồn tại hai lực theo phương x và phương y tác động lên một đầu của cán dao công xôn (hình 3.2).

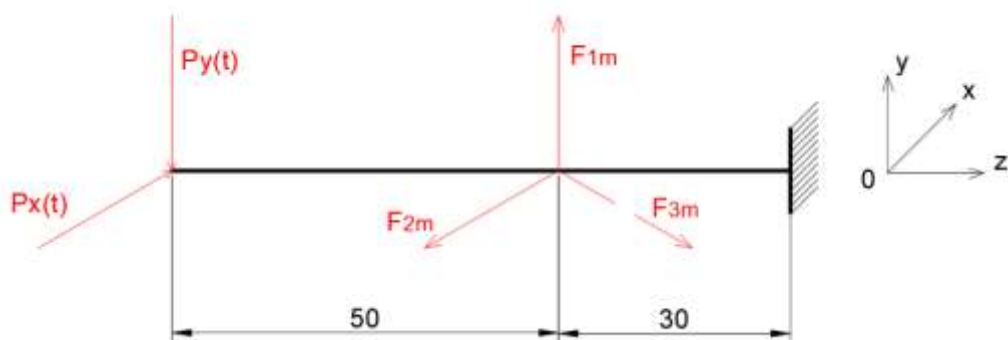
Phương trình động lực học cán dao dưới tác dụng của lực cắt như sau (phương trình 3.3)

$$\begin{cases} m \frac{dx}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = P(t) \sin \beta_n \\ m \frac{dy}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = P(t) \cos \beta_n \end{cases} \quad (3.3)$$

Khi đặt cán dao dưới tác động của lực từ trường gồm 3 lực  $F_{1m}$ ,  $F_{2m}$ ,  $F_{3m}$  (hình 3.3 và hình 3.4)



**Hình 3.3:** Mô hình lực tác dụng lên cán dao khi có lực từ tác động



**Hình 3.4:** Mô hình động lực học cán dao khi tiện có lực từ tác động

$$\begin{cases} m \frac{dx}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = P(t) \sin \beta_n - F_{2m} \cos 30^\circ + F_{3m} \cos 30^\circ \\ m \frac{dy}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = -P(t) \sin \beta_n + F_{1m} - F_{2m} \sin 30^\circ - F_{3m} \sin 30^\circ \end{cases} \quad (3.4)$$



Phương trình động lực học cán dao dưới tác động đồng thời của lực cắt và lực từ trường được thể hiện qua phương trình 3.4. Vì vậy bằng cách tác động vào lực nam châm sẽ làm cho đặc tính dao động cơ hệ sẽ thay đổi.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 v_1 = i_1 R + \frac{\mu_0 A N^2}{2(l_0 - X_0)} \frac{di_1}{dt} + \frac{\mu_0 A N^2 I_0}{2(l_0 - X_0)^2} \frac{dx_1}{dt} \\
 v_2 = i_2 R + \frac{\mu_0 A N^2}{2(l_0 - X_0)} \frac{di_2}{dt} + \frac{\mu_0 A N^2 I_0}{2(l_0 - X_0)^2} \frac{dx_2}{dt} \\
 v_3 = i_3 R + \frac{\mu_0 A N^2}{2(l_0 - X_0)} \frac{di_3}{dt} + \frac{\mu_0 A N^2 I_0}{2(l_0 - X_0)^2} \frac{dx_3}{dt} \\
 m \frac{dx}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = P(t) \sin \beta_n - \frac{2\mu_0 A N^2 I_0 i_1}{4(l_0 - X_0)^2} \cos 30^\circ + \frac{2\mu_0 A N^2 I_0 i_2}{4(l_0 - X_0)^2} \cos 30^\circ \\
 m \frac{dy}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = -P(t) \sin \beta_n + \frac{2\mu_0 A N^2 I_0 i_3}{4(l_0 - X_0)^2} - \frac{2\mu_0 A N^2 I_0 i_1}{4(l_0 - X_0)^2} \sin 30^\circ - \frac{2\mu_0 A N^2 I_0 i_2}{4(l_0 - X_0)^2} \sin 30^\circ
 \end{array} \right.$$

(3.5)

Hệ phương trình 3.5 là hệ phương trình vi phân mô tả dao động của cán dao dưới tác động của lực cắt và lực từ nam châm. Trong quá trình gia công dưới tác dụng của lực cắt  $P(t)$  sẽ làm cán dao biến dạng. Khi đó khoảng cách từ cán dao đến nam châm là  $x_1, x_2, x_3$  sẽ thay đổi. Khi đó lực cho dù điện áp  $v_1, v_2, v_3$  không đổi thì bản thân lực từ tác động lên hệ cũng thay đổi theo thời gian. Với hệ dao động trong môi trường từ trường này sẽ làm phá vỡ tính lặp lại của dao động cán dao khi đó cán dao sẽ có xu hướng tắt dần nhanh hơn và ổn định hơn.

### 3.2. Mô hình mô phỏng gia công tiện và mô phỏng lực từ

Trong quá trình cắt gọt hiện tượng rung động xảy ra do rất nhiều nguyên nhân, trong đó nguyên nhân chính là do độ cứng vững của hệ thống công nghệ chủ yếu là biến dạng đàn hồi của dao và phôi. Để khảo sát quá trình gia công cắt gọt và các hiện tượng vật lý và cơ tính của hệ thống, thông thường có 2 hướng tiếp cận bằng mô phỏng và thực nghiệm. Ưu điểm của phương pháp thực nghiệm là trực quan và thực tế. Tuy nhiên độ chính xác thường phụ thuộc vào các thiết bị đo và ảnh hưởng của các yếu tố nhiễu trong các lần quan sát khác nhau. Ngày nay với sự phát triển của máy tính và công cụ tính toán số, nên trong nghiên cứu này tác giả sử dụng

công cụ tính toán số mô phỏng phần tử hữu hạn để khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến độ rung động và ổn định của hệ thống. Nghiên cứu khảo sát cả ở mô hình 2D và 3D

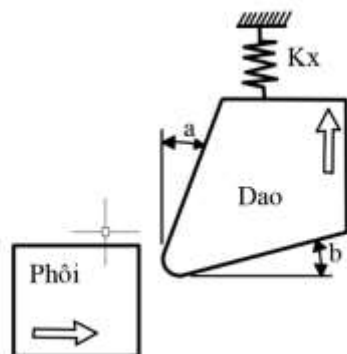
### 3.2.1. Mô phỏng tiện bằng mô hình 2D

Trong quá trình tiện, hệ thống công nghệ thường bao gồm máy, dao, phôi và đồ gá rất phức tạp. Khi mô phỏng quá trình có thể mô hình hóa tất cả các chi tiết trong hệ thống. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, với mục đích khảo sát quá trình rung động và ảnh hưởng rung động đến độ nhám sản phẩm, nên mô hình được đơn giản hóa ở dạng 2D với dao và phôi (hình 3.5). Trong đó điều kiện biên là phôi di chuyển tịnh tiến theo phương ngang với vận tốc  $v$ , chuyển động của phôi theo phương đứng được khóa cứng, dao đứng yên nhưng điều kiện biên của dao theo phương thẳng đứng tồn tại độ cứng  $k$ , đồng nghĩa với việc dao sẽ chuyển động lên xuống theo phương đứng tùy theo lực tác dụng. Chuyển động theo phương ngang của dao được khóa cứng. Các thông số phôi, dao và chế độ cắt được trình bày tìm thấy trong Bảng 3.1. Việc lựa chọn các thông số cắt này dựa trên các gợi ý của nhà sản xuất cho việc gia công vật liệu nhôm. Vật liệu gia công là nhôm Al\_6061 với mô hình biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo theo mô hình Johnson Cook. Trong mô hình cắt gọt 2D này, chế độ cắt được xét trong các trường hợp: vận tốc cắt thay đổi từ 90 - 290 m/phút, bước tiến dao được thay đổi từ 0.1 - 0.5 mm/vòng và độ sâu cắt 1 mm. Giá trị độ cứng của cán dao nằm trong phạm vi từ  $2 \div 10e8$  (N/m), thông số này được xác định thông qua biến dạng đàn hồi của cán dao, với một đầu cố định và đầu kia tự do. Các giá trị bước sóng của sản phẩm từ 0 mm đến 0.2 mm (hình 3.6) để xem xét tác động nhấp nhô bề mặt phôi lên độ dao động của dao.

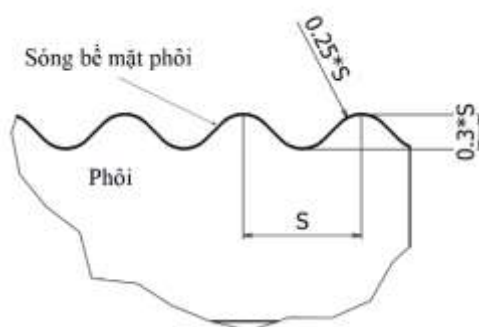
**Bảng 3.1:** Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng 2D

Thông số		Giá trị
Phôi	Vật liệu	Al_6061
	Chiều cao	2 mm
	Chiều dài	5 mm
Dao	Góc trước	5°
	Góc sau	10°
	Bán kính mũi	0.2 mm

	Vật liệu	Carbide
Chế độ cắt	Vận tốc cắt (v)	90- 290 m/phút
	Bước tiến (f)	0.1 - 0.5 mm/vòng
	Chiều sâu cắt	1 mm



**Hình 3.5:** Mô hình 2D gia công tiện với dao tròn tại độ cứng  $K_x$



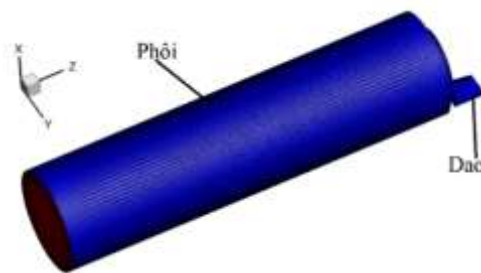
**Hình 3.6:** Sóng nhấp nhô bề mặt phôi

Trong gia công cơ khí, người kỹ sư luôn phải chọn vật liệu, quy trình công nghệ và các thông số quy trình để đạt được chất lượng sản phẩm tốt nhất. Chất lượng bề mặt sản phẩm gia công là một yếu tố quan trọng và chất lượng bề mặt bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, bao gồm các thông số cắt như vận tốc cắt, chiều sâu cắt, chất lượng bề mặt phôi và độ cứng cán dao. Vì vậy, ở mô hình 2D này tập trung vào việc khảo sát ảnh hưởng và tối ưu bốn thông số này. Để tổng hợp các yếu tố ảnh hưởng đa yếu tố, phương pháp Taguchi được sử dụng với bốn thông số bao gồm sóng bề mặt phôi ( $s$ ), bước tiến dao ( $f$ ), vận tốc cắt ( $v$ ) và độ cứng của dụng cụ ( $k_x$ ). Trong nghiên cứu này, bởi vì độ nhám bề mặt của sản phẩm sau khi gia công cần phải thấp, tỷ lệ tín hiệu/nhiều được tính toán với mỗi yếu tố được xem xét cho 5 mức và mô hình Taguchi L25.

### 3.2.2. Mô phỏng tiện bằng mô hình 3D

#### ➤ Mô hình mô phỏng tiện trụ dài

Hiện tượng rung động khi tiện trụ dài là một vấn đề phổ biến trong quá trình gia công tiện. Khi tiện trụ dài do độ cứng vững phôi và tạo ra những dao động không mong muốn trong quá trình cắt, gây ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt, độ chính xác và tuổi thọ của công cụ cắt. Trong phần này nghiên cứu khảo sát sự ảnh hưởng của độ cứng vững của phôi ảnh hưởng đến độ rung động và chất lượng bề mặt chi tiết gia công. Mô hình mô phỏng quá trình tiện trụ dạng công xôn tiện trụ dài (hình 3.7). Phôi được cố định trên mâm cặp nên điều kiện biên cố định mặt đầu phôi tất cả các chuyển động (trừ chuyển động quay của phôi). Mô hình dao không biến dạng, dao không biến dạng theo hai phương x, y, điều kiện biên của dao di chuyển tịnh tiến đều theo phương z với vận tốc v.



**Hình 3.7:** Mô hình tiện trụ

Các thông số đường kính phôi từ 4.5 mm đến 10 mm. Nghiên cứu chọn dây thông số này vì với điều kiện cắt và vật liệu như bảng 3.2 thì khi mô phỏng tiện với đường kính nhỏ hơn 4.5 mm thì biến dạng phôi rất lớn quá trình tiện lúc này không thực hiện được. Khi đường kính phôi lớn hơn 10 mm lúc này phôi đủ cứng vững và ảnh hưởng của biến dạng phôi đến độ rung động và chất lượng bề mặt thành phẩm không còn rõ rệt.

**Bảng 3.2:** Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng tiện trụ 3D

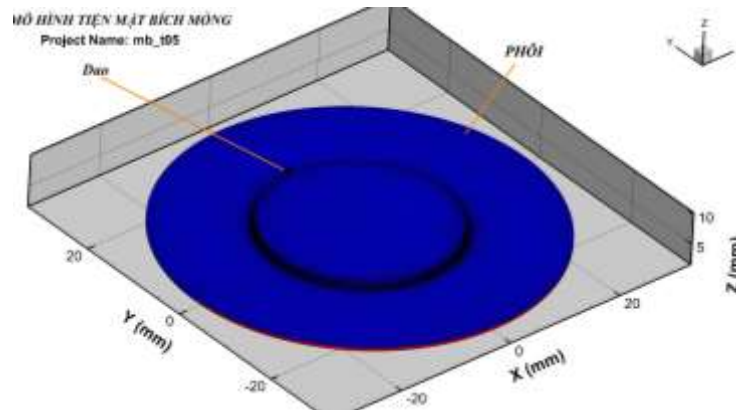
Thông số		Giá trị
Phôi	Vật liệu	Al_6061
	Đường kính	4.5 - 10 mm
	Chiều dài	20 mm
Dao	Góc trước	5°

	Góc sau	10°
	Bán kính mũi	0.2 mm
	Vật liệu	Carbide
Chế độ cắt	Tốc độ trục chính	2000 vòng/phút
	Bước tiến (f)	0.15 mm/vòng
	Chiều sâu cắt	1 mm

#### Mô hình mô phỏng tiện mặt bích mỏng

Tương tự khi tiện trụ dài, hiện tượng rung động khi tiện mặt bích mỏng cũng là một vấn đề phổ biến trong quá trình gia công tiện. Khi tiện mặt bích mỏng, sự không ổn định và biến dạng phôi có thể tạo ra những dao động không mong muốn trong quá trình cắt, gây ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt, làm giảm độ chính xác về kích thước của sản phẩm và giảm tuổi thọ của dao cắt. Để nghiên cứu và đánh giá tác động của độ cứng vững của phôi đến rung động và chất lượng bề mặt của chi tiết gia công, mô hình mô phỏng quá trình tiện mặt bích mỏng đã được sử dụng (hình 3.8). Trong mô hình này, phôi được cố định trên mâm cặp nên điều kiện biên của mô hình là cố định mặt trụ ngoài của phôi cho tất cả các chuyển động (trừ chuyển động quay của phôi). Khi đó mặt đầu phôi còn tự do nên khi có lực cắt sẽ làm mặt đầu của phôi sẽ biến dạng gây nên rung động. Đồng thời, mô hình giả định rằng dao cắt không biến dạng điều này phù hợp với điều kiện thực tế gia công, khi tiện mặt bích dao thường gá rất vững.

Các thông số vật liệu, kích thước phôi và chế độ cắt được thể hiện bảng 3.3. Đối với thông số bề dày của phôi được lựa chọn trong khoảng từ 5.5 mm đến 6 mm. Lý do chọn dãy thông số này là vì trong điều kiện cắt và vật liệu như mô tả, khi mô phỏng quá trình tiện với bề dày nhỏ hơn 1.5 mm, phôi sẽ có biến dạng lớn đến mức không thể thực hiện được quá trình tiện. Ngược lại, khi bề dày phôi lớn hơn 7.0 mm, phôi trở nên đủ cứng vững và ảnh hưởng của biến dạng phôi đối với rung động và chất lượng bề mặt của sản phẩm cuối cùng không còn rõ rệt.



**Hình 3.8:** Mô hình mặt bích mỏng

**Bảng 3.3:** Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng tiện mặt bích 3D

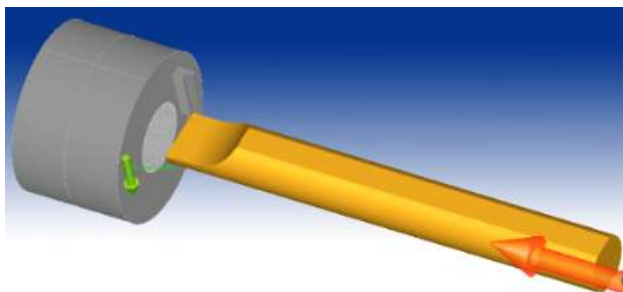
Thông số		Giá trị
Phôi	Vật liệu	Al_6061
	Đường kính	60 mm
	Đường kính cắt	40 mm
	Bề dày	1.5 – 7 mm
Dao	Góc trước	5°
	Góc sau	10°
	Bán kính mũi	0.2 mm
	Vật liệu	Carbide
Chế độ cắt	Tốc độ trục chính (n)	2000 vòng/phút
	Bước tiến (f)	0.15 mm/vòng
	Chiều sâu cắt	1 mm

#### Mô hình mô phỏng tiện lỗ

Trong phần này tác giả mô phỏng quá trình cắt gọt ở mô hình 3D với mô hình tiện lỗ (hình 3.9), trong các trường hợp dao ổn định và dao dao động. Từ đó trích xuất ra giá trị lực theo thời gian để đánh giá độ ổn định của dao thông qua độ phân tán của giá trị lực quanh giá trị lực danh nghĩa và nghiên cứu cũng trích xuất ra được chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công Rz bằng phương pháp mô phỏng.

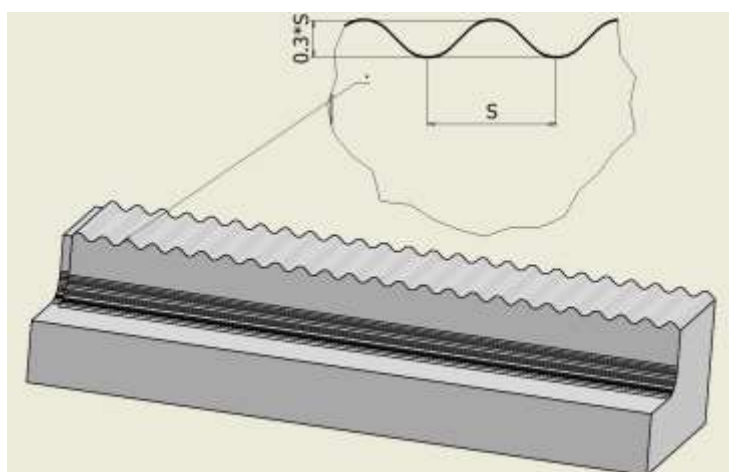
Nghiên cứu áp dụng phương pháp phân tử hữu hạn để mô phỏng quá trình tiện và dao động của dao trong quá trình cắt gọt. Trong đó phôi được mô hình hóa bằng mẫu khảo sát chuyển từ chuyển động quay (vòng/phút) thành chuyển động tịnh tiến. Khi đó phôi sẽ chuyển động tịnh tiến theo phương y, tất cả các chuyển động các phương còn lại được khóa cứng. Với điều kiện biên của cán dao được khóa cứng ngàm một đầu, đầu còn lại mang dao cắt sẽ biến dạng được ở tất cả các phương. Sử

dụng mô hình explicit mô phỏng quá trình cắt gọt kim loại với mô hình dao biến dạng. Phôi là vật liệu nhôm T6061 với mô hình biến dạng dẻo và phá hủy Johnson\_Cook. Thông số vật liệu và hình dáng phôi dao được trình bày ở bảng 3.4.



**Hình 3.9:** Mô hình tiện lỗ

Mô phỏng quá trình cắt gọt với các thông số bề mặt phôi phẳng, dao cứng vững đặc trưng cho hệ thống ổn định và trường hợp 2 với bề mặt phôi nhấp nhô và cán dao biến dạng dao động đặc trưng cho quá trình dao động mất ổn định của dao. (hình 3.10)



**Hình 3.10:** Thông số sóng bề mặt phôi

Mô phỏng cũng mô phỏng quá trình gia công cắt gọt nhằm mục đích trích xuất bộ thông số lực cắt thay đổi theo thời gian. Sau đó sử dụng bộ thông số lực thay đổi theo thời gian này hiệu chỉnh với bộ thông số thực nghiệm.

Sau khi mô phỏng cắt gọt với mô hình 2D nghiên cứu sử dụng trích xuất lực cắt theo phương vuông góc bề mặt gia công (phương y). Nguyên nhân là do phương y là phương khi cán dao biến dạng sẽ để lại nhấp nhô bề mặt trên phôi. Sau đó tác giả dùng ngôn ngữ lập trình để tìm ra 5 đỉnh cao nhất và 5 đỉnh thấp nhất của giá trị

lực cắt. Sau đó tác giả đưa 10 giá trị lực cắt này tác dụng lên cán dao để tìm biến dạng và chuyển vị của lưỡi cắt so với mặt phôi. Tính trung bình của 10 chuyển vị này đó chính là đại lượng nhập nhô bề mặt thành phẩm sau khi gia công.

Nghiên cứu thực hiện mô phỏng ảnh hưởng của độ cứng vững cán dao đặc trưng bởi thông số l chiều dài của cán dao tính từ vị trí ngàm cố định ( $l = 40, 50, 60, 70, 80$  mm), độ sóng bề mặt chi tiết đặc trưng bởi thông số s (hình 1) ( $s = 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2$  mm). Và ảnh hưởng của chế độ cắt cụ thể bằng 2 thông số bước tiến dao f ( $f = 0.09, 0.12, 0.15, 0.18, 0.21, 0.24, 0.27, 0.3$  mm) nghiên cứu chọn dãy thông số này dựa vào thông số về chế độ cắt gọt của nhà sản xuất mảnh dao tiện. Tác giả cũng muốn tìm ra giá trị giới hạn của vùng ổn định và vùng dao động ở một giá trị vận tốc cắt.

**Bảng 3.4:** Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình mô phỏng tiện lỗ

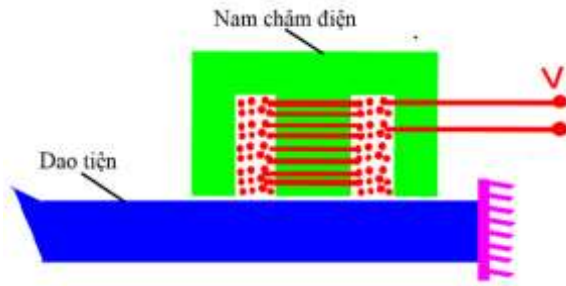
Thông số		Giá trị
Phôi	Vật liệu	Al_6061
	Đường kính ngoài/lỗ	30 mm/12mm
	Chiều dài	30 mm
Dao	Góc trước	5°
	Góc sau	10°
	Bán kính mũi	0.2 mm
	Vật liệu	Carbide
Chế độ cắt	Vận tốc cắt (v)	40 – 125 m/phút
	Bước tiến (f)	0.08 – 0.3 mm/vòng
	Chiều sâu cắt	1 mm

### 3.2.3. Mô hình mô phỏng lực từ trường

Nghiên cứu áp dụng phần mềm mô phỏng Ansys Maxwell từ trường và lực điện từ lên cán dao trong lúc dao động do lực cắt tạo ra, xét đến trường hợp vừa cắt gọt trong môi trường trường lực điện từ và mô hình tương tác đa vật lý điện - cơ.

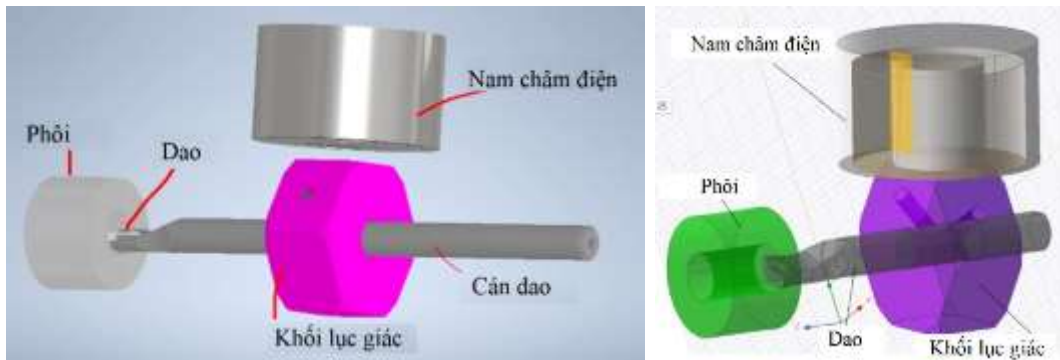
Mô hình lực cưỡng bức từ được tạo ra từ nam châm điện một chiều. Khi cấp điện áp một chiều vào cuộn dây, lực hút nam châm sẽ tạo ra lực hút kéo cán dao về phía nam châm như hình 3.11.



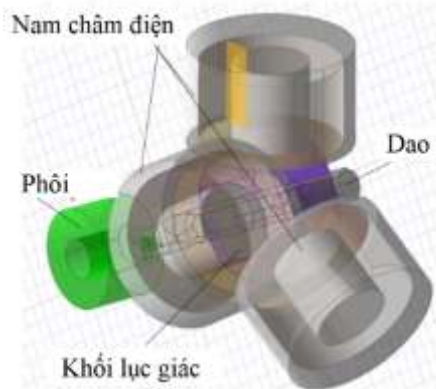


**Hình 3.11:** Mô hình tiện dưới tác dụng lực cường bức từ

Trong quá trình tiện dưới tác dụng của lực cắt, dao cắt dạng công xôn có xu hướng biến dạng theo phương cắt chính. Tuy nhiên dưới tác dụng của lực hút nam châm sẽ kéo lên làm dao có xu hướng quay trở về vị trí cân bằng (hình 3.12).



**Hình 3.12:** Mô hình tiện lỗ dưới tác dụng lực cường bức từ



**Hình 3.13:** Mô hình cán dao dưới tác dụng 3 lực từ cường bức

Khi xét cả hệ không gian thì lực cắt sẽ tồn tại 3 lực  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  nên mô hình nghiên cứu bố trí thêm trường hợp 3 lực hút nam châm nằm theo 3 hướng như hình 3.13. Bằng cách thay đổi độ lớn của ba lực nam châm này sẽ điều khiển được độ biến dạng của cán dao.

**Bảng 3.5:** Thông số mô hình mô phỏng lực từ trường

	Thông số	Giá trị
Nam châm	Dòng Điện áp	DC 0-24V
Dao	Vật liệu cán Chiều dài Cạnh khối lục giác Bề dày	Thép 80 60 mm 30 mm

### 3.3. Mô hình thực nghiệm

Như đã phân tích ở nội dung phạm vi và giới hạn nghiên cứu. Ở mô hình nghiên cứu thực nghiệm, tác giả thiết kế thí nghiệm tiện mặt bích mỏng với vật liệu thép SS400 để thu thập dữ liệu âm thanh và hình ảnh để huấn luyện mô hình máy học. Với lý do chính là mô hình tiện mặt bích mỏng sẽ thu thập được dữ liệu lớn ở các trạng thái ổn định và rung động chuyển tiếp liên tục trên cùng một chi tiết.

Mô hình khảo sát tác động lực từ trường lên cán dao nhằm hạn chế rung động được nghiên cứu tiến hành ở mô hình tiện lỗ trên vật liệu nhôm T6061. Với đặc tính không nhiễm từ và vật liệu nhôm ngày càng được sử dụng trong công nghiệp. Mô hình tiện lỗ sâu hiện tại vẫn còn đang gặp khó khăn trong việc hạn chế rung động với các chi tiết lỗ sâu và nhỏ.

#### 3.3.1. Mô hình thực nghiệm tiện mặt bích mỏng

##### 3.3.1.1. Thiết kế mô hình thí nghiệm tiện mặt bích

Trong quá trình gia công tiện hiện tượng rung động thường xuất hiện khi độ cứng vững của máy, dao, chi tiết không đảm bảo và chế độ gia công không hợp lý. Khó khăn nghiên cứu khi muốn thu thập nhiều dữ liệu hình ảnh bề mặt gia công và đồng thời thu thập âm thanh trong gia công vùng bề mặt tương ứng. Để giải quyết vấn đề này tác giả đã chọn phương án gia công tấm mặt bích mỏng và tiện mặt đầu với các lý do sau. Thứ nhất chi tiết dạng tấm mỏng được sử dụng rất phổ biến trong máy và thiết bị. Hình 3.14 là bản vẽ chi tiết nắp mặt bích gối trục của cổng trục. Thứ hai với chi tiết tấm mỏng tiện mặt đầu này khi tiện theo phương hướng kính, tác giả chọn phương án tốc độ trục chính không đổi và bước tiến dao không đổi nên



Thông số chế độ cắt như sau: độ sâu cắt  $t = 2 \text{ mm}$ , tốc độ trục chính  $n = 800$  vòng/phút, và tốc độ tiến  $f = 0.2 \text{ mm/vòng}$  (bảng 3.6). Các thông số này được chọn do khả năng của máy và khuyến cáo của nhà chế tạo dao cắt với vật liệu gia công tương ứng.



**Hình 3.16:** Máy tiện CNC Moriseiki SL\_20

**Bảng 3.6:** Thông số phôi, dao và chế độ cắt mô hình thí nghiệm tiện mặt bích

	Thông số	Giá trị
Phôi	Vật liệu	SS_400
	Đường kính	220 mm
	Bề dày	15 mm
Dao	Vật liệu	Carbide
	Góc trước	$5^\circ$
	Góc sau	$10^\circ$
	Bán kính mũi dao	0.2 mm
	Chiều dài cán dao	50 mm
Thông số công nghệ	Vận tốc trục chính	800 vòng/phút
	Bước tiến dao	0.1 mm/vòng
	Chiều sâu cắt	2 mm

### 3.3.1.2. Thu thập và xử lý tín hiệu tiện mặt bích

Để thu thập hình ảnh bề mặt của các chi tiết thành phẩm, nghiên cứu sử dụng kính hiển vi kỹ thuật số Dino-Lite AM3113 với độ phóng đại  $\times 50$ , kết nối với máy tính để chụp ảnh tại nhiều vị trí khác nhau. Đồng thời âm thanh khi tiện được ghi lại bằng cách dùng Microphone Hitech BM800 gắn ở ngoài gần mâm cặp máy tiện, nhằm thu thập âm thanh trong quá trình tiện. Nhờ vậy, nhóm nghiên cứu thu được hình ảnh và âm thanh hoàn chỉnh và chính xác để phân tích và đánh giá sự ổn định hoặc rung động trên bề mặt của các chi tiết đã chế tạo (hình 3.17 và hình 3.18).



**Hình 3.17:** Thu thập âm thanh trong quá trình tiện mặt bích



**Hình 3.18:** Hình ảnh thu thập khi tiện mặt bích

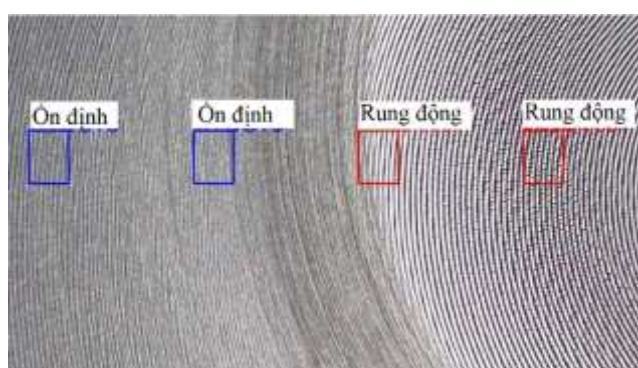
### 3.3.1.3. Kịch bản thí nghiệm tiện mặt bích



**Hình 3.19:** Máy đo độ nhám bề mặt chi tiết Mitutoyo SJ301

Để xác định và phân loại được bề mặt gia công giai đoạn nào ổn định và giai đoạn gia công nào rung động qua đó cũng xác định được đoạn âm thanh thu được tương ứng quá trình gia công ổn định hay rung động tác giả đã sử dụng tiêu chí độ nhám bề mặt Ra. Tiêu chí này được đo thông qua thiết bị đo độ nhám bề mặt Mitutoyo SJ\_301 (hình 3.19). Dựa vào đặc điểm các dấu vết dao cắt mịn và đồng

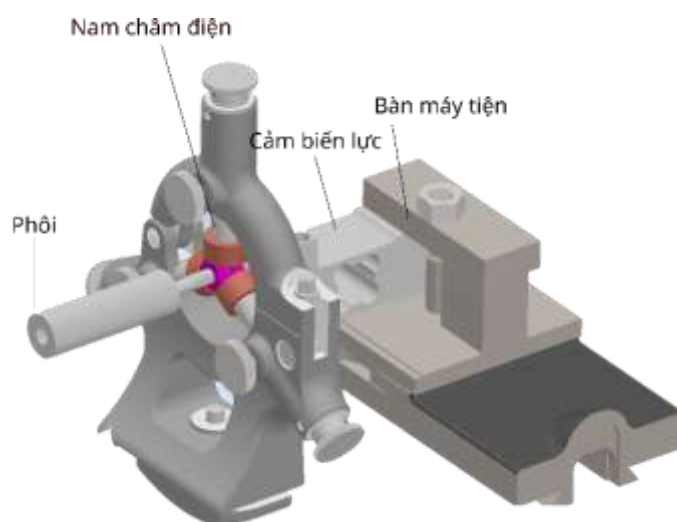
đều của bề mặt gia công, cũng như đo độ nhám của các vùng có chất lượng mịn đồng đều và bề mặt gợn sóng. Nghiên cứu phân loại bề mặt rung động khi  $Ra \geq 2 \mu m$  và bề mặt ổn định khi  $Ra < 2 \mu m$ . Sau khi đánh dấu vùng ổn định và rung động trên bề mặt chi tiết ta được các vùng hình ảnh bề mặt chi tiết được đánh dấu (hình 3.20).



**Hình 3.20:** Bề mặt chi tiết tiện sau khi đo độ nhám và đánh dấu vùng ổn định và vùng rung động

### 3.3.2. Mô hình thực nghiệm giảm rung tích cực bằng lực từ

#### 3.3.2.1. Điều kiện thí nghiệm



**Hình 3.21:** Mô hình tiện lỗ dưới tác dụng lực từ cường bức

Thí nghiệm được tiến hành tiện lỗ với vật liệu là nhôm Al T6061 và được thực hiện trên máy tiện Takisawa (hình 3.21 và 3.22). Thông số dao và cán dao thể hiện ở hình 3.23. Thông số kích thước phôi và thông số chế độ cắt được thể hiện ở bảng 3.7:



**Hình 3.22:** mô hình thí nghiệm lực từ cường bức



**Hình 3.23:** Thông số hạt dao và cán dao tiện

**Bảng 3.7:** Thông số dao, phôi và chế độ cắt mô hình thí nghiệm lực từ cường bức

	Thông số	Giá trị
Phôi	Vật liệu	AL6061
	Đường kính	30 mm lỗ 12 mm
	Bề dày	30 mm
Dao	Vật liệu	Carbide
	Góc trước	5°
	Góc sau	10°
	Bán kính mũi dao	0.2 mm
	Chiều dài cán dao	80 mm
Thông số công nghệ	Vận tốc trục chính	1020 vòng/phút
	Bước tiến dao	0.1 mm/vòng
	Chiều sâu cắt	0.2 mm

### 3.2.2.2. Thu thập và xử lý tín hiệu lỗ

Trong quá trình thí nghiệm dữ liệu thu thập là lực cắt và gia tốc rung. Lực cắt thu được qua bộ đo lực load\_cell 150kg (hãng CAS Hàn Quốc) và bộ khuếch đại tín hiệu Marcus TD100 (Đức). Tín hiệu lực cắt được calip với lực kế điện tử và được

truyền thông với PLC FX5U và kết nối Scada với máy tính thông qua phần mềm Mxsheet của hãng Mitsubishi (hình 3.24). Tương tự tín hiệu gia tốc rung được thu thập thông qua cảm biến rung D7F-S01-10 và bộ khuếch đại Omron DF7\_C03.



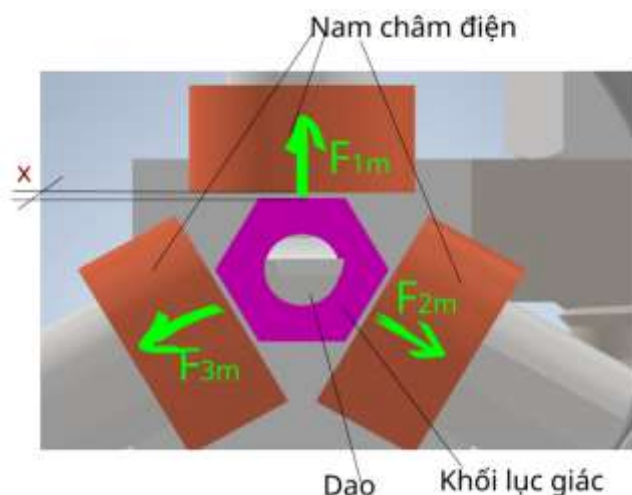
**Hình 3.24:** Bộ điều khiển cảm biến đo lực và bộ PLC điều khiển

Phôi được chế tạo bằng phương pháp tiện với lỗ được chế tạo bằng phương pháp doa nhằm đạt được độ chính xác về kích thước và độ nhám bề mặt cần thiết. Tổng số phôi thí nghiệm là 250 mẫu được chia thành 5 nhóm lớn được ký hiệu A,B,C,D,E. Mỗi nhóm lớn được thực hiện cho các trường hợp bố trí lực từ khác nhau.

### 3.2.2.3. Trình tự thí nghiệm

Trong mỗi nhóm lớn, 50 các chi tiết được chia thành nhóm 10 nhóm nhỏ, mỗi nhóm nhỏ 5 chi tiết cho 5 lần thí nghiệm khác nhau. Các chi tiết được đánh số, ví dụ  $A_{ij}$ , trong đó A là ký hiệu cho nhóm lớn thí nghiệm các bố trí lực từ khác nhau, i là chỉ số nhóm ( $i = 0 \div 9$ ), j là chi tiết thứ j trong nhóm  $j = 1 \div 5$ .





**Hình 3.25:** Mô hình lực từ tác dụng lên cán dao

Khi nghiên cứu ảnh hưởng của lực từ cường bức bên quá trình rung động của cán dao. Tùy theo độ lớn của lực từ và cách bố trí phương chiều và số lượng lực từ khác nhau, nghiên cứu chia thí nghiệm thành 5 trường hợp như bảng 3.8 với các phương của các thành phần lực mô tả như hình 3.25.

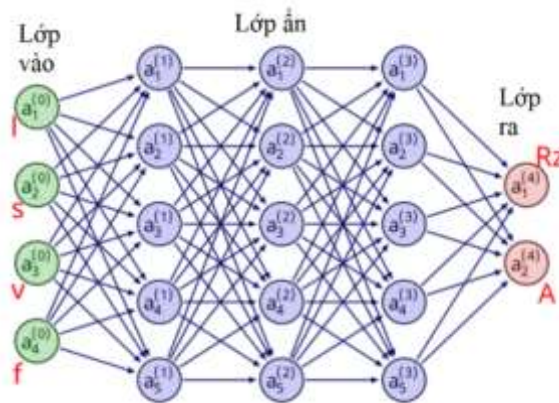
**Bảng 3.8:** Các trường hợp bố trí lực từ

Trường hợp	$F_{1m}$ (N)	$F_{2m}$ (N)	$F_{3m}$ (N)
1	$20 \div 200$	0	0
2	$20 \div 200$	$10 \div 100$	0
3	$20 \div 200$	$20 \div 200$	0
4	0	$20 \div 200$	$20 \div 200$
5	$20 \div 200$	$20 \div 200$	$20 \div 200$

Với mỗi giá trị  $F_{im}$  thì nghiệm thay đổi 10 giá trị từ 20 N đến 200 N với mỗi lần tăng là 20 N. Trong đó trường hợp 2 là khi lực từ  $F_{1m} = 2F_{2m}$ .

### 3.4. Mô hình mạng Nơ-ron

Phương pháp mô hình học máy: mô hình học máy được đưa ra với 4 thông số đầu vào và 2 thông số đầu ra là nhấp nhô bề mặt chi tiết Rz và biên độ dao động của lực cắt Ra thể hiện qua hình 3.26. Mô hình gồm một lớp đầu vào với 4 thông số: chiều dài cán dao (l), sóng bề mặt phôi (s), vận tốc trục chính (v) và bước tiến dao (f). Cấu trúc mạng gồm 3 lớp ẩn và được kết nối bằng phương thức kết nối toàn bộ (fully connected) và cuối cùng là lớp output với 2 thông số đầu ra là độ nhám bề mặt (Rz) và lực cắt (A)



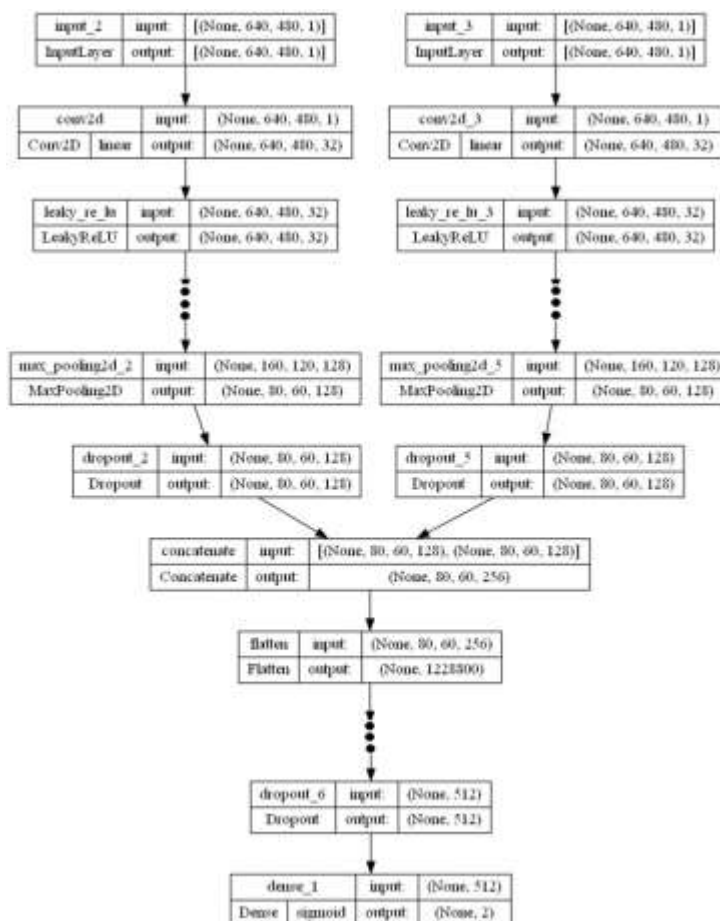
**Hình 3.26:** Cấu trúc mạng nơ-ron

### 3.5. Nhận diện rung động với dữ liệu đầu vào âm thanh và hình ảnh

Mạng CNN đa đầu vào (multi-input CNN) là một kiến trúc mạng nơ-ron tích chập mà trong đó, nhiều đầu vào độc lập được đưa vào mạng. Điều này cho phép xử lý và học đồng thời từ nhiều nguồn dữ liệu đầu vào khác nhau, như hình ảnh, dữ liệu văn bản hoặc dữ liệu chuỗi thời gian. Các đầu vào này sau đó được kết hợp trong các lớp chung của mạng để học và tạo ra dự đoán chung. Mạng CNN đa đầu vào thường được sử dụng trong các ứng dụng mà việc kết hợp thông tin từ nhiều nguồn dữ liệu đầu vào có thể cải thiện độ chính xác của mô hình. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng đồng thời dữ liệu hình ảnh và âm thanh để tổng quát hóa và giúp cải thiện khả năng nhận dạng của mô hình so với việc chỉ sử dụng một loại dữ liệu đầu vào duy nhất. Nghiên cứu đã kết hợp cả hai yếu tố dữ liệu đầu vào, nghĩa là ở một vùng gia công hai dữ liệu được thu thập đồng thời là dữ liệu hình ảnh bề mặt chi tiết gia công và dữ liệu âm thanh được tạo ra trong quá trình cắt gọt tương ứng. Sau đó tác giả xử lý dữ liệu bằng 2 cách. Cách 1: tạo ra một file ảnh bằng cách ghép 2 file ảnh: ảnh chụp bề mặt chi tiết gia công và file ảnh phổ tần số của file âm thanh. Sau đó đưa file ảnh này vào mô hình CNN để phân loại. Cách 2: chạy 2 mô hình ở 2 file ảnh riêng và kết hợp lại trong mô hình CNN (hình 3.27).

Đối với mỗi đầu vào, ba lớp tích chập được sử dụng để trích xuất đặc trưng, và các lớp này được cấu tạo từ các thành phần tiếp theo (Bảng 3.9). Lớp ẩn đầu tiên được gọi là Convolution2D, là một lớp tích chập. Với 32 bộ lọc, một nhân kích thước  $3 \times 3$  và hàm kích hoạt LeakyReLU (phiên bản leaky của Rectified Linear Unit

- ReLU, cho phép độ dốc nhỏ khi đơn vị không hoạt động), lớp này đóng vai trò là lớp đầu vào. Kế tiếp, ta có một lớp gộp với phương pháp lấy giá trị lớn nhất, được gọi là MaxPooling2D. Lớp này được thiết lập với kích thước gộp 2×2, làm giảm một nửa kích thước đầu vào theo cả hai chiều không gian. Lớp kế tiếp là một lớp điều chỉnh sử dụng phương pháp dropout, được gọi là Dropout. Được thiết lập để loại bỏ ngẫu nhiên 25% số nơ-ron trong lớp, nhằm hạn chế hiện tượng quá khớp. Các lớp đã nêu trước đó được nhân bản thêm hai lần, làm tăng kích thước bộ lọc lên 64 và 128 (nhằm thích nghi với đặc trưng phức tạp hơn) và điều chỉnh tỷ lệ dropout lên 25% và 40% (để tránh hiện tượng over fitting). Đầu ra của các lớp tích chập đối với cả hai đầu vào sẽ đi qua lớp ghép nối, và kết quả sau đó sẽ được chuyển từ ma trận 2D thành vector bởi lớp Flatten. Quá trình này cho phép các lớp kết nối hoàn toàn chuẩn xử lý đầu ra.



Hình 3.27: Cấu trúc mô hình CNN với 2 dữ liệu đầu vào

Kế tiếp, ta có một lớp kết nối hoàn toàn bao gồm 512 nơ-ron, sử dụng hàm kích hoạt leaky rectifier và kết hợp với một lớp Dropout được thiết lập để loại bỏ ngẫu nhiên 50% nơ-ron, nhằm xử lý đầu ra từ lớp Flatten. Sau cùng, lớp xuất có 2 nơ-ron tương ứng với 2 trạng thái, và sử dụng hàm kích hoạt softmax nhằm đưa ra các dự đoán tương tự xác suất cho từng lớp. Mục đích chính của bài toán là tìm siêu tham số của mô hình, bảng 3.10 trình bày các siêu tham số của mô hình. Nghiên cứu này đã thu thập các bộ dữ liệu bao gồm các tệp hình ảnh thu được trong quá trình tiện. Sau khi xử lý, các tệp hình ảnh được chia thành nhiều phần và phân thành các tập huấn luyện, hiệu chỉnh và kiểm tra theo tỷ lệ 80:10:10.

**Bảng 3.9:** Kiến trúc mạng mô hình CNN 2 dữ liệu đầu vào

Layer (type)	Output Shape Param #	Connected to
input_2 (InputLayer)	[(None, 640, 480, 1 0)]	[]
input_3 (InputLayer)	[(None, 640, 480, 1 0)]	[]
conv2d (Conv2D)	(None, 640, 480, 32 320)	['input_2[0][0]']
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 640, 480, 32 320)	['input_3[0][0]']
leaky_re_lu (LeakyReLU)	(None, 640, 480, 32 0)	['conv2d[0][0]']
leaky_re_lu_3 (LeakyReLU)	(None, 640, 480, 32 0)	['conv2d_3[0][0]']
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 320, 240, 32 0)	['leaky_re_lu[0][0]']
max_pooling2d_3 (MaxPooling2D)	(None, 320, 240, 32 0)	['leaky_re_lu_3[0][0]']
dropout (Dropout)	(None, 320, 240, 32 0)	['max_pooling2d[0][0]']
dropout_3 (Dropout)	(None, 320, 240, 32 0)	['max_pooling2d_3[0][0]']
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 320, 240, 64 18496)	['dropout[0][0]']
conv2d_4 (Conv2D)	(None, 320, 240, 64 18496)	['dropout_3[0][0]']
leaky_re_lu_1 (LeakyReLU)	(None, 320, 240, 64 0)	['conv2d_1[0][0]']
leaky_re_lu_4 (LeakyReLU)	(None, 320, 240, 64 0)	['conv2d_4[0][0]']
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 160, 120, 64 0)	['leaky_re_lu_1[0][0]']
max_pooling2d_4 (MaxPooling2D)	(None, 160, 120, 64 0)	['leaky_re_lu_4[0][0]']
dropout_1 (Dropout)	(None, 160, 120, 64 0)	['max_pooling2d_1[0][0]']
dropout_4 (Dropout)	(None, 160, 120, 64 0)	['max_pooling2d_4[0][0]']
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 160, 120, 12 738568)	['dropout_1[0][0]']
conv2d_5 (Conv2D)	(None, 160, 120, 12 738568)	['dropout_4[0][0]']
leaky_re_lu_2 (LeakyReLU)	(None, 160, 120, 12 08)	['conv2d_2[0][0]']
leaky_re_lu_5 (LeakyReLU)	(None, 160, 120, 12 08)	['conv2d_5[0][0]']
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 80, 60, 128) 0	['leaky_re_lu_2[0][0]']
max_pooling2d_5 (MaxPooling2D)	(None, 80, 60, 128) 0	['leaky_re_lu_5[0][0]']
dropout_2 (Dropout)	(None, 80, 60, 128) 0	['max_pooling2d_2[0][0]']
dropout_5 (Dropout)	(None, 80, 60, 128) 0	['max_pooling2d_5[0][0]']
concatenate (Concatenate)	(None, 80, 60, 256) 0	['dropout_2[0][0]',
flatten (Flatten)	(None, 1228800) 0	['concatenate[0][0]']
dense (Dense)	(None,512) 62914612	['flatten[0][0]']
leaky_re_lu_6 (LeakyReLU)	(None, 512) 0	['dense[0][0]']
dropout_6 (Dropout)	(None, 512) 0	['leaky_re_lu_6[0][0]']
dense_1 (Dense)	(None, 2) 1026	['dropout_6[0][0]']
Total params: 629,332,482		
Trainable params: 629,332,482		

Để tăng tốc độ huấn luyện và giảm thời gian tối ưu hóa mô hình, một chương trình Python đã được cài đặt trên máy chủ Dell có 16 nhân vật lý, sử dụng thư viện TensorFlow và Keras và huấn luyện mô hình trên card GPU GTX 1080ti.

**Bảng 3.10:** Các giá trị siêu tham số của mô hình

Siêu tham số mô hình	Giá trị
Kích thước lô	32
Bộ tối ưu hóa	Adam
Tốc độ học	ReduceLROnPlateau
Hàm mất mát	categorical_crossentropy
Vòng lặp	50

Có nhiều phương pháp để đánh giá hiệu quả của mô hình phân loại, bao gồm độ chính xác, độ chính xác và độ bao phủ, sai số, điểm F1, ma trận nhầm lẫn, Thời gian và Bộ nhớ. Độ chính xác được tính là tỷ lệ số cá nhân được phân loại chính xác vào một lớp nhất định so với tổng số cá nhân được phân vào lớp đó. Độ bao phủ, mặt khác, là tỷ lệ số cá nhân được phân loại chính xác vào một lớp so với tổng số cá nhân thuộc về lớp đó. Điểm F1 là một chỉ số kết hợp cả độ chính xác và độ bao phủ của mô hình và được định nghĩa là trung bình điều hòa của hai chỉ số này. Bằng cách sử dụng điểm F1, người ta có thể hiểu rõ hơn về hiệu suất của mô hình so với việc chỉ sử dụng độ chính xác hoặc độ bao phủ đơn lẻ. Trong nghiên cứu này, mô hình đề xuất được đánh giá bằng độ chính xác, sai số, điểm F1 và ma trận nhầm lẫn.

### 3.6. Kết luận chương 3

Trong chương này tác giả đã thiết lập mô hình nghiên cứu với bài toán mô phỏng gia công cắt gọt cụ thể là phương pháp tiện với mô hình mô phỏng 2D và 3D. Trong đó các phương pháp tiện trụ, tiện lỗ và tiện mặt bích. Các thông số hình học dao, phôi và các mô hình vật liệu và cả mô hình biến dạng của phôi, dao đã được thiết lập. Với bài toán hồi quy đa yếu tố và nhận diện rung động bằng thuật toán máy học, tác giả cũng đã xây dựng mô hình mạng nơ-ron và các mô hình huấn luyện máy học với dữ liệu đầu vào là âm thanh và hình ảnh.

Tương tự với phương pháp thực nghiệm xét ảnh hưởng của lực từ trường đến rung động cán dao trong khi tiện lỗ, tác giả cũng đã thiết lập mô hình thí nghiệm, thiết bị thí nghiệm, phương pháp đo, thiết bị đo và thu thập xử lý số liệu. Tất cả các mô hình nghiên cứu trên là cơ sở để tiến hành nghiên cứu và phân tích kết quả ở chương 4, 5 và 6.

## CHƯƠNG 4

# NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐẶC TÍNH RUNG ĐỘNG

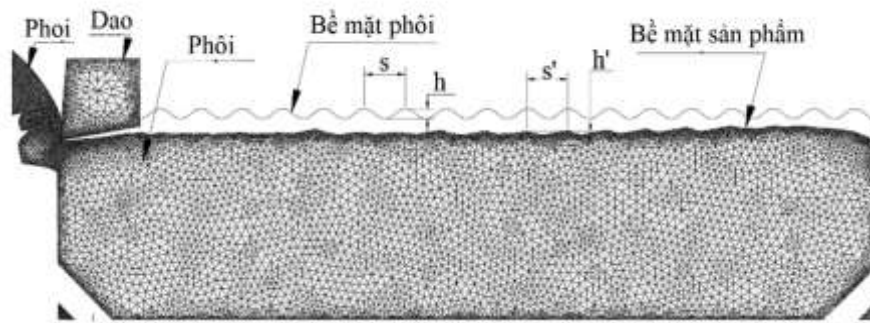
Với mô hình mô phỏng quá trình tiện giới thiệu ở chương 3. Nghiên cứu mô phỏng ở các trường hợp khác nhau về đặc điểm của phôi, độ cứng vững của cán dao và ở các chế độ cắt gọt khác nhau để khảo sát đặc điểm rung động của hệ thống thông qua khảo sát giá trị lực cắt và độ nhám bề mặt sản phẩm gia công thông qua mô hình 2D và 3D. Kết quả mô phỏng được tác giả đánh giá thông qua phương pháp Taguchi và hồi quy bằng mô hình mạng nơ-ron đa lớp.

### **4.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt chi tiết bằng mô phỏng 2D**

#### **4.1.1. Ảnh hưởng sóng bề mặt phôi**

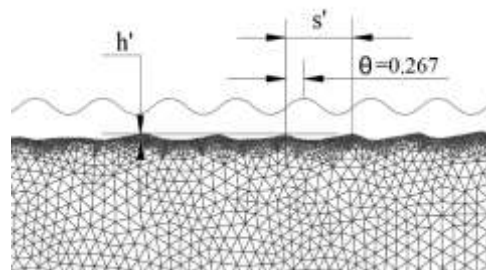
Trong lý thuyết cơ chế về hiện tượng rung động khi tiện hình 2.3 và hình 2.4, yếu tố ảnh hưởng chính đến sự thay vị trí tương quan giữa dao và phôi là : độ cứng vững của dao và chiều sâu cắt. Trong đó chiều sâu cắt phụ thuộc vào đặc điểm sóng bề mặt của lớp cắt trước đó và sóng bề mặt của lớp cắt hiện tại, cũng như độ lệch pha của 2 lớp sóng đó. Với lợi thế của phương pháp phân tử hữu hạn, trong phần này tác giả mô phỏng quá trình cắt với các thông số lớp sóng bề mặt phôi khác nhau nhằm mục đích khảo sát ảnh hưởng của sóng bề mặt phôi lên bề mặt sản phẩm. Điều này có ý nghĩa trong thực tiễn khi xác định ảnh hưởng của chất lượng bề mặt chi tiết gia công thô, bán tinh đến chất lượng bề mặt chi tiết tinh thành phẩm.

Hình 4.1 hiển thị kết quả mô phỏng cho thấy sóng bề mặt của sản phẩm và sóng bề mặt phôi với bước sóng 0.2 mm. Độ sâu cắt thay đổi tùy thuộc vào sóng bề mặt và độ cứng của dao.

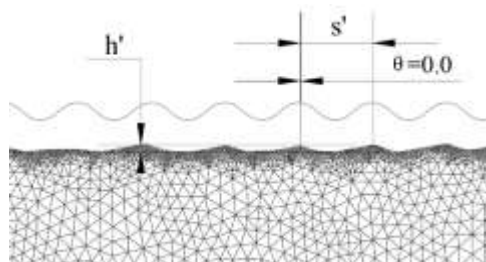


**Hình 4.1:** Nhấp nhô bề mặt phôi và nhấp nhô bề mặt chi tiết sau gia công

Trong đó,  $s$  và  $h$  là bước sóng và chiều cao nhấp nhô bề mặt của phôi,  $s'$  và  $h'$  bước sóng và chiều cao nhấp nhô bề mặt sản phẩm sau khi gia công. Độ nhám bề mặt có thể được xác định dựa trên giá trị của  $h'$ . Trong quá trình gia công, độ nhám bề mặt của sản phẩm và độ cứng của dao ảnh hưởng đến sự khác nhau của pha ( $\theta$ ) giữa sóng bề mặt của phôi và thành phẩm, được mô tả trong Hình 4.2 ( $\theta \neq 0$ ) và Hình 4.3 ( $\theta = 0$ ). Độ lệch pha này ảnh hưởng rất lớn đến dao động của dao. Kết quả của mô phỏng này trực quan hóa và khẳng định lại lý thuyết cơ chế rung động của dao được trình bày ở chương 2.



**Hình 4.2:** Nhấp nhô bề mặt phôi lệch pha với nhấp nhô bề mặt sản phẩm  $\theta \neq 0$



**Hình 4.3:** Nhấp nhô bề mặt phôi lệch pha với nhấp nhô bề mặt sản phẩm  $\theta = 0$



#### **4.1.2. Tối ưu các thông số cắt gọt và sóng bề mặt phôi đến độ nhám bằng mô hình Taguchi**

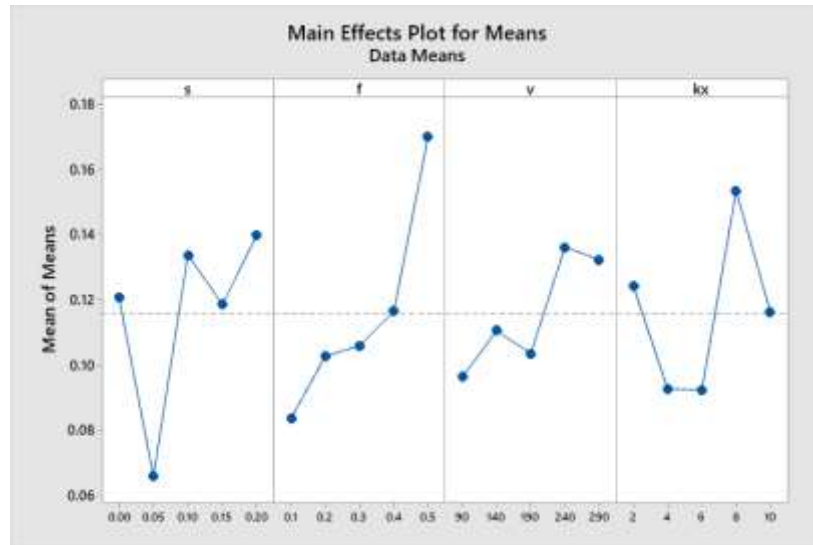
Phương pháp Taguchi đã được sử dụng trong nghiên cứu này để tối ưu hóa các thông số cắt để đạt được độ nhám bề mặt tốt nhất trong khi giảm chi phí tính toán và thời gian mô phỏng. Kết quả của nghiên cứu Taguchi với L25, như được trình bày trong bảng 4.1, cho thấy độ nhám bề mặt ( $R_z$ ) bị ảnh hưởng bởi các giá trị thông số cắt khác nhau trong quá trình gia công. Để đánh giá tác động của các thông số này, tỷ lệ tín hiệu đến nhiễu (S/N) đã được tính toán và trình bày trong bảng 4.2. Tỷ lệ S/N cung cấp ước lượng về mức độ tác động của từng thông số lên độ nhám bề mặt. Có thể kết luận rằng bước tiến dao có tác động lớn nhất lên độ nhám bề mặt. Điều này có nghĩa là việc tăng bước tiến dao sẽ dẫn đến độ nhám bề mặt cao hơn. Mặt khác, việc tăng các thông số khác cũng làm tăng độ nhám bề mặt, nhưng mức độ ảnh hưởng nhỏ, cho thấy độ dốc nhỏ.

**Bảng 4.1:** Ma trận trực giao mô hình Taguchi L25

STT	s (mm)	f (mm/vòng)	v (m/phút)	Kx (e8 N/m)	Rz (mm)
1	0	0.1	90	2	0.050
2	0	0.2	140	4	0.062
3	0	0.3	190	6	0.095
4	0	0.4	240	8	0.197
5	0	0.5	290	10	0.200
6	0.05	0.1	140	6	0.025
7	0.05	0.2	190	8	0.053
8	0.05	0.3	240	10	0.099
9	0.05	0.4	290	2	0.056
10	0.05	0.5	90	4	0.097
11	0.1	0.1	190	10	0.054
12	0.1	0.2	240	2	0.171
13	0.1	0.3	290	4	0.104
14	0.1	0.4	90	6	0.116
15	0.1	0.5	140	8	0.224
16	0.15	0.1	240	4	0.090
17	0.15	0.2	290	6	0.102
18	0.15	0.3	90	8	0.093
19	0.15	0.4	140	10	0.103
20	0.15	0.5	190	2	0.205
21	0.2	0.1	290	8	0.200
22	0.2	0.2	90	10	0.126
23	0.2	0.3	140	2	0.139
24	0.2	0.4	190	4	0.111
25	0.2	0.5	240	6	0.124

**Bảng 4.2:** Tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N mô hình 2D

Level	s (mm)	f(mm/vòng)	v(m/phút)	Kx(e8 N/m)
1	19.74	23.66	20.72	19.46
2	24.59	20.57	21.21	20.82
3	18.41	19.59	20.83	21.83
4	18.98	19.34	17.72	17.45
5	17.27	15.83	18.50	19.43
Delta	7.32	7.83	3.50	4.39
Rank	2	1	4	3



**Hình 4.4:** Biểu đồ cho tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N

Hình 4.4 minh họa rằng yếu tố bước tiến dao (f) có tác động lớn nhất lên chất lượng bề mặt sản phẩm. Bước tiến dao càng lớn, nhấp nhô bề mặt càng lớn, nhưng mức độ ảnh hưởng thay đổi ở các giai đoạn khác nhau. Bước tiến dao ảnh hưởng đặc biệt đáng kể trong phạm vi từ 0.1 - 0.2 (mm/vòng) và từ 0.4 - 0.5 (mm/vòng) (độ dốc lớn). Điều này có thể được giải thích rằng ở bước tiến dao nhỏ, tỷ lệ thay đổi vật liệu do nhấp nhô bề mặt phôi cao, dẫn đến sự thay đổi lớn trong giá trị tải cắt. Mặt khác, ở bước tiến dao 0.5 (mm/vòng), lực cắt lớn hơn dẫn đến sự biến dạng đáng kể và của cán dao. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng nhỏ nhất trong phạm vi  $f = 0.3 - 0.4$  (mm/vòng). Sóng bề mặt phôi là yếu tố thứ hai ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt. Điều này cho thấy sóng nhấp nhô lớn hơn trên bề mặt sản phẩm, chất lượng bề mặt càng kém. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng không rõ ràng do sự khác biệt pha của sóng nhấp nhô so với pha dao động của dao được trình bày như trên. Tuy nhiên, trong thí nghiệm này, đã phát hiện ra rằng bước sóng  $s = 0.05$  mm tạo ra chất lượng bề mặt tốt nhất của sản phẩm hoàn thiện.

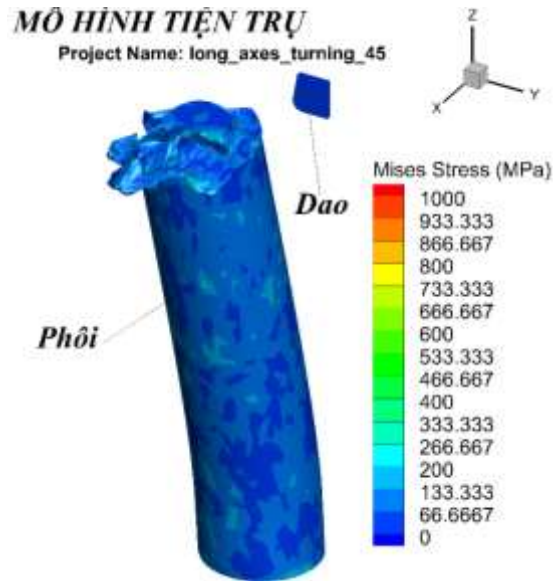
Biến dạng và độ cứng của dụng cụ là yếu tố thứ ba ảnh hưởng. Lý tưởng nhất, dao không dao động sẽ tạo ra chất lượng bề mặt tốt nhất. Tuy nhiên, trên thực tế, cán dao luôn bị biến dạng và dao động. Khi dao động, chất lượng bề mặt sản phẩm phụ thuộc vào tần số dao động của cán dao. Do đó, không có xu hướng tuyến tính trong mối quan hệ này. Tuy nhiên, trong thí nghiệm này, chất lượng bề mặt tốt nhất

cho sản phẩm hoàn thiện được thu được với giá trị  $Kx$  nằm trong khoảng từ 4 - 6 e8 N/m. Tương tự, vận tốc cắt là yếu tố thứ tư trong nhóm các yếu tố. Dựa trên biểu đồ, vận tốc cắt chủ yếu ảnh hưởng đến độ nhám bề mặt trong phạm vi từ 190 - 240 m/phút. Biểu đồ cho thấy chất lượng bề mặt tốt nhất được thu được ở tốc độ 90 m/phút. Điều này là bởi vì vận tốc cắt càng nhỏ, tải cắt càng ổn định.

## **4.2. Ảnh hưởng độ cứng vững của phôi đến chất lượng bề mặt chi tiết**

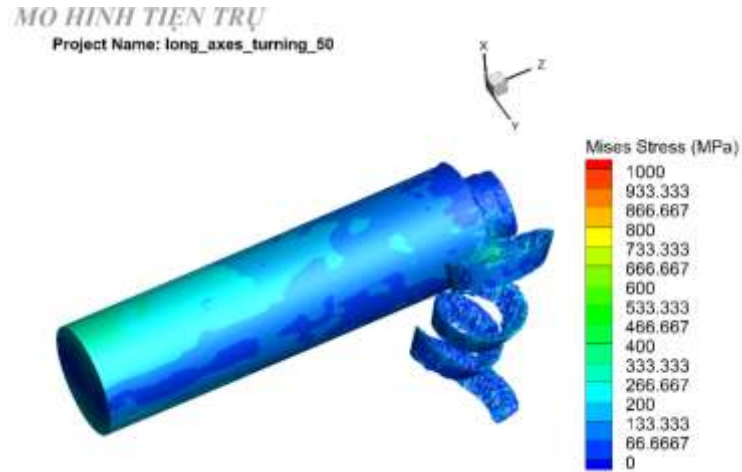
### **4.2.1. Mô hình tiện trụ**

Kết quả của mô hình mô phỏng quá trình tiện trụ dài cho thấy sự khác biệt rõ về lực cắt và rung động của phôi khi áp dụng các điều kiện biên khác nhau. Khi tất cả các chuyển vị (ngoại trừ chuyển động quay quanh trục z) được cố định ở mặt đầu và mặt lưng của trục, lực cắt ổn định theo thời gian và phôi gần như không biến dạng. Tuy nhiên, khi trục có đường kính nhỏ hơn 5 mm thì biến dạng làm trục quá lớn làm quá trình tiện bị thất bại (hình 4.5). Khi chỉ có mặt đầu của trục được cố định (tương tự như kẹp trục bằng mâm cặp và để trục công xôn dài), phôi biến dạng lên đến 0.2 mm với  $d = 5.0$  mm và lực cắt thay đổi rất lớn theo thời gian (hình 4.6). Kết luận từ đó là đường kính trục tương ứng với chiều dài gá đặt ảnh hưởng lớn đến rung động và chất lượng bề mặt chi tiết của sản phẩm sau khi gia công.

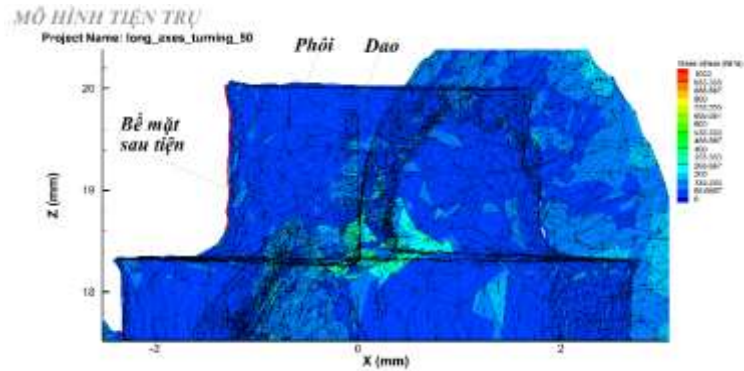


**Hình 4.5:** Mô phỏng tiện trụ dài với  $d = 4.5 \text{ mm}$

Tương tự như bài toán mô phỏng 2D. Sau khi mô phỏng cắt gọt với điều kiện tương ứng. Nghiên cứu trích xuất biên dạng bề mặt sản phẩm và xác định độ nhám bề mặt sản phẩm Rz thông qua các đỉnh nhấp nhô (hình 4.7). Các kết quả ở các trường hợp đường kính khác nhau được thể hiện qua bảng 4.3.



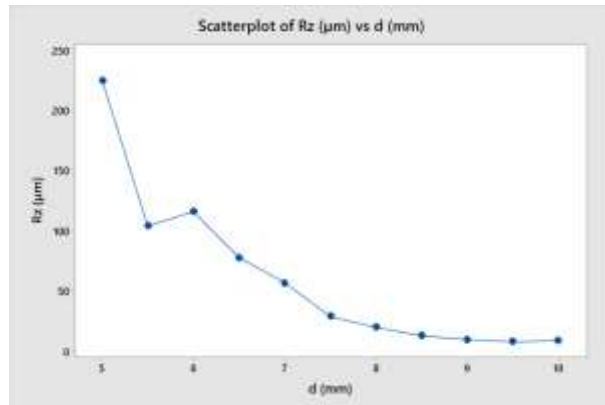
**Hình 4.6:** Mô phỏng tiện trụ dài khi  $d = 5.0$  mm



**Hình 4.7:** Trích xuất biên dạng chi tiết sau khi tiện

**Bảng 4.3:** Mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt ( $R_z$ ) và đường kính phôi ( $d$ )

STT	$d$ (mm)	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
1	4.5	Thất bại
2	5.0	225
3	5.5	104
4	6.0	116
5	6.5	78
6	7.0	57
7	7.5	29
8	8.0	20
9	8.5	13
10	9.0	10
11	9.5	8
12	10.0	9

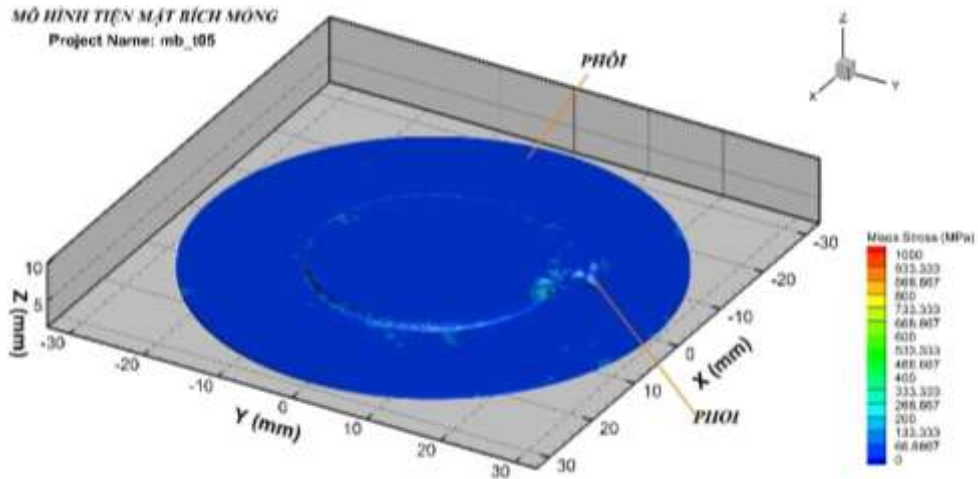


**Hình 4.8:** Mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt (Rz) và đường kính phôi (d)

Khi tiến hành phân tích độ nhám bề mặt sản phẩm trong quá trình tiện trụ dài công xôn, từ hình 4.8 có thể nhận thấy rằng khi đường kính của trục từ 8 – 10 mm, tác động của biến dạng đến nhám bề mặt không còn được nhìn rõ. Khi đó, độ nhám bề mặt Rz duy trì ổn định trong khoảng từ 10 đến 30 µm. Điều này có thể được giải thích bởi việc khi đường kính của phôi đủ cứng vững, biến dạng của phôi rất ít. Tuy nhiên, khi đường kính phôi nhỏ hơn 7 mm, sự biến động tăng nhanh, đặc biệt là khi đường kính phôi nhỏ hơn 5.5 mm. Khi đó, biến dạng của phôi trở nên lớn, dẫn đến tăng đột ngột độ nhám bề mặt lên đến 225 µm. Khi đường kính phôi nhỏ hơn 4.5 mm trong trường hợp này quá trình tiện hoàn toàn thất bại, quá trình tiện thực tế có thể thất bại, gây ra hiện tượng gãy hoặc vỡ dao.

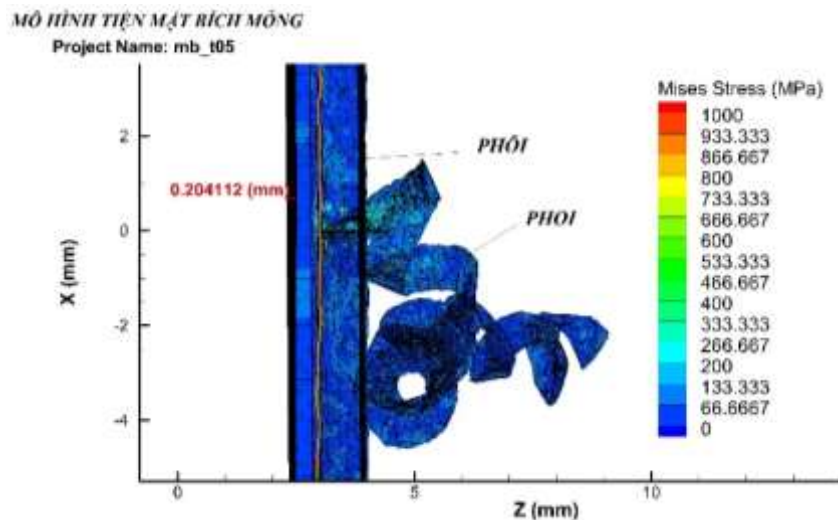
#### 4.2.2. Mô hình tiện mặt bích mỏng

Kết quả mô hình tiện mặt bích mỏng, nghiên cứu đã mô phỏng được quá trình tiện mặt bích mỏng với các giai đoạn cắt gọt khác nhau (hình 4.9). Kết quả mô phỏng cho thấy sự khác biệt rất rõ về lực cắt thay đổi và rung động của phôi khi điều kiện biên khác nhau. Với điều kiện biên cố định tất cả các chuyển vị (trừ chuyển động quay quanh z) ở mặt đầu và mặt trụ lưng mặt bích thì lực cắt ổn định theo thời gian và phôi gần như không biến dạng theo phương z. Tuy nhiên khi điều kiện biên chỉ cố định theo mặt trụ (tương tự kẹp 4 châu từ ngoài vào), kết quả phôi biến dạng đến 0.2 mm với t = 0.5 mm và lực cắt thay đổi rất lớn theo thời gian. Kết luận rằng bề dày thành mặt bích mỏng ảnh hưởng rất lớn đến quá trình rung động và chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm sau khi gia công.



**Hình 4.9:** Quá trình tiện mặt bích mỏng

Tương tự như bài toán mô phỏng tiện trụ dài, sau khi thực hiện quá trình mô phỏng cắt gọt theo các điều kiện với các bề dày mặt bích khác nhau, bằng việc trích xuất biên dạng bề mặt sản phẩm và xác định độ nhám bề mặt sản phẩm Rz thông qua việc xác định các đỉnh nhấp nhô (hình 4.10). Các kết quả tương ứng với các trường hợp đường kính khác nhau được trình bày trong bảng 4.4.



**Hình 4.10:** Chuyển vị phôi và biên dạng bề mặt chi tiết thành phẩm sau khi tiện

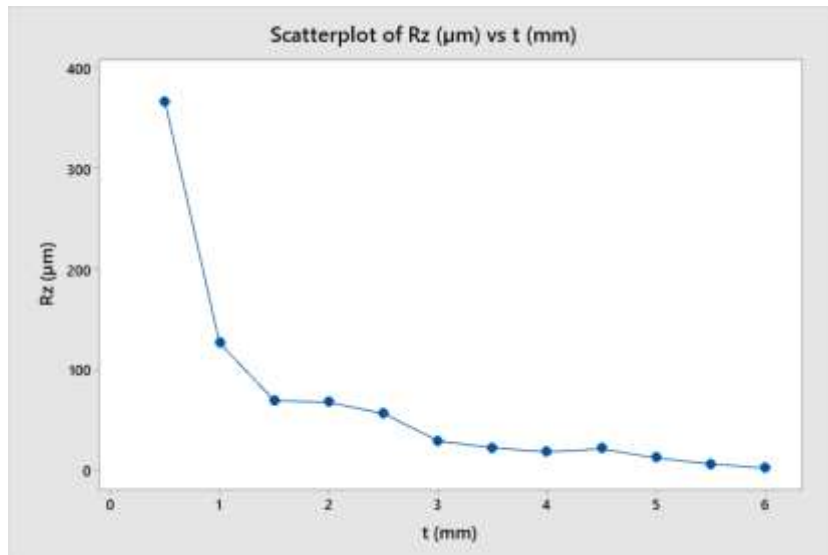
Khi thể hiện phân tích độ nhám bề mặt sản phẩm khi tiện mặt bích mỏng, qua hình 4.11 nhận thấy, khi bề dày mặt bích lớn hơn 3 mm ảnh hưởng của biến dạng bề mặt phôi không còn rõ, khi đó nhám bề mặt Rz ổn định trong khoản 3 – 30  $\mu\text{m}$ . Điều này được giải thích khi đó bề dày phôi đủ cứng vững, lúc này phôi biến dạng



rất ít. Tuy nhiên khi bề dày bề mặt phôi nhỏ hơn 3 mm, bắt đầu dao động tăng nhanh, đặc biệt khi bề dày mặt bích nhỏ hơn 1.5 mm, khi đó phôi dao động rất lớn dẫn đến bề độ nhám tăng đột ngột đến 367  $\mu\text{m}$ , khi đó thực tế quá trình tiện có thể không tiến hành được do biến dạng quá lớn dẫn đến hiện tượng gãy hoặc vỡ dao.

**Bảng 4.4:** Mối quan hệ độ nhám bề mặt (Rz) và bề dày tấm mặt bích mỏng (t)

STT	t (mm)	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	0.5	366
2	1.0	127
3	1.5	70
4	2.0	68
5	2.5	57
6	3.0	30
7	3.5	23
8	4.0	19
9	4.5	22
10	5.0	13
11	5.5	7
12	6.0	3



**Hình 4.11:** Quan hệ độ nhám bề mặt (Rz) và bề dày tấm mặt bích mỏng (t)

#### 4.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến biến động của lực và chất lượng bề mặt

Khi cán dao cứng tuyệt đối, cho dù bề mặt phôi phẳng hay nhấp nhô sóng bề mặt thì lực cắt tác dụng lên dao và phôi cũng thay đổi không đáng kể theo thời gian cắt gọt. Điều này được giải thích do khi cán dao cứng tuyệt đối khoảng cách của

dao và phôi là không đổi khi đó lực cắt thay đổi chỉ do những nhấp nhô làm thay đổi bề dày vật liệu và sự thay đổi này không đáng kể.

Tuy nhiên cán dao cứng tuyệt đối không biến dạng là điều kiện lý tưởng, trong thực tế cán dao luôn biến dạng đàn hồi. Trong hình 2 nghiên cứu đã so sánh chỉ ra sự khác biệt về sự thay đổi lực cắt trong quá trình tiện khi cán dao biến dạng làm thay đổi chiều sâu cắt, và chiều sâu cắt thay đổi làm thay đổi lực cắt và vị trí của dao so với phôi. Trong hình 3 cho thấy sự khác biệt rất lớn về thay giá trị lực cắt dao động khi xét đến cán dao biến dạng. Khi cán dao cứng tuyệt đối cho dù nhấp nhô bề mặt có thay đổi thì giá trị lực cắt xấp xỉ 200 N. Ngược lại khi cán dao độ cứng cán dao thay đổi trong 2 trường hợp thì trường hợp có sóng bề mặt phôi nhận thấy lực cắt thay đổi nhiều hơn. Điều này được giải thích do tác động của sóng bề mặt và biến dạng đàn hồi của cán dao.

Tuy nhiên trong lý thuyết về hiện tượng rung động sẽ xuất hiện khi có hiện tượng cộng hưởng trong quá trình cắt gọt khi tần số và pha dao động của nhấp nhô bề mặt tương ứng với tần số và pha dao động riêng của cán dao. Nên nghiên cứu khảo sát tìm giá trị chiều sâu cắt và sóng nhấp nhô khác nhau để tìm vùng rung động và vùng ổn định.

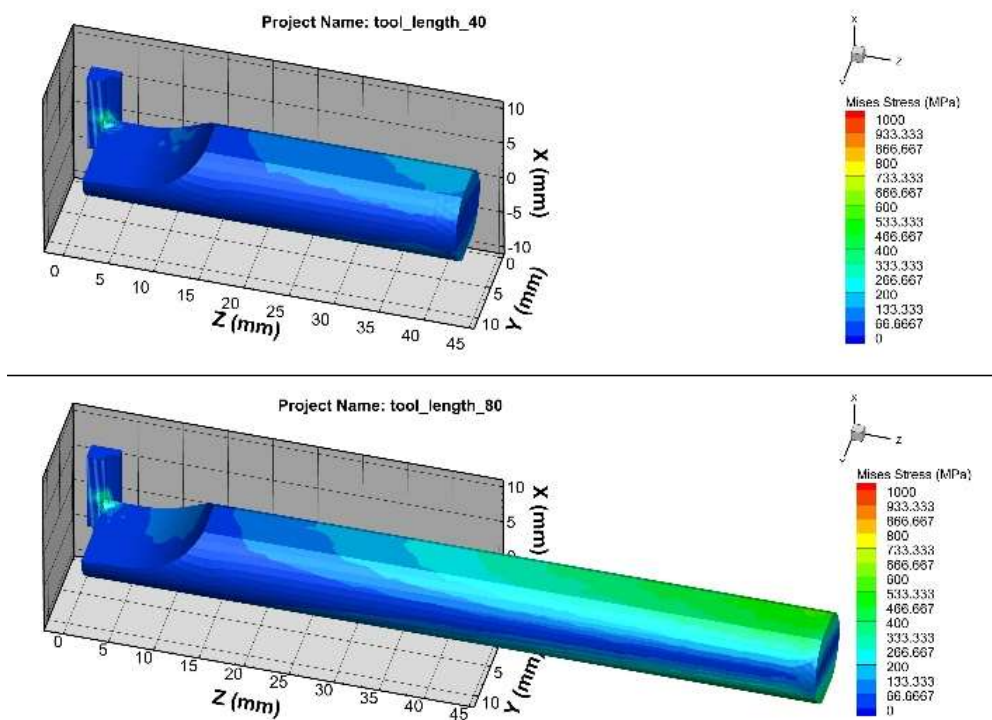
Nghiên cứu đã thực hiện và tiến hành mô phỏng quá trình tiện lỗ với 4 trường hợp nhằm xác định đặc điểm của sự thay đổi lực cắt và các yếu tố ảnh hưởng đến đặc điểm của sự thay đổi lực cắt này. Thông số đặc trưng cho sự thay đổi lực cắt là biên độ dao động lực và chu kỳ dao động lực. Ở đây chu kỳ dao động thay đổi giá trị lực cắt không chỉ được tính theo thời gian mà còn được tính chiều dài cắt gọt là chiều dài di chuyển của phôi để thuận tiện so sánh các trường hợp khác nhau.

#### **4.3.1. Ảnh hưởng của chiều dài cán dao**

Ảnh hưởng của chiều dài cán dao đến sự thay đổi của lực cắt. Với chiều dài cán dao khác nhau dẫn đến độ cứng biến dạng khác nhau. Khi gia công với biến dạng đàn hồi của cán dao làm mũi dao thay đổi vị trí tương đối so với phôi dẫn đến chiều sâu cắt giảm đi. Khi chiều sâu cắt giảm làm cho lực cắt giảm khi đó cán dao

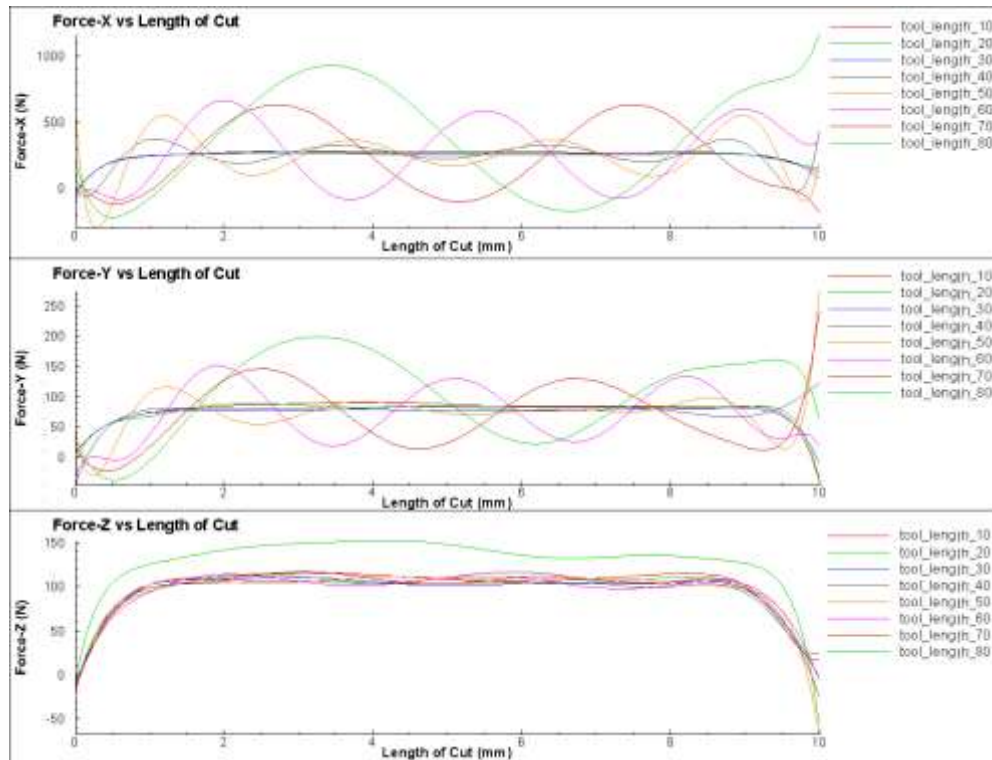
lại biến dạng giảm đi. Chu kỳ tác động qua lại và ảnh hưởng của chiều dài cán dao được mô tả qua hình sau.

Hình 4.12 trên cho thấy ở cùng một trường hợp tiện ở mỗi chiều dài cán dao khác nhau thì biên độ dao động và tần số dao động của lực cắt là khác nhau. Theo hình khi cán dao càng dài tức là độ cứng biến dạng sẽ giảm dần dẫn đến dao biến dạng nhiều hơn khi đó biên độ và chu kỳ thay đổi lực sẽ tăng dần. Tuy nhiên về giá trị trung bình lực cắt thì bằng nhau. Điều này phù hợp với lý thuyết và thực nghiệm về cách tính giá trị lực cắt trung bình.



**Hình 4.12:** Ứng suất Von Mises cho độ dài giá đỡ dụng cụ 40 mm và 80 mm

Hình 4.13 cho thấy với chiều dài cán dao nhỏ hơn 50 mm. Lực cắt dao động rất nhỏ gần như là hằng số. Nhưng khi chiều dài cán dao từ 50 mm trở lên thì dao động của lực cắt lớn rõ rệt với chu kỳ và biên độ rất rõ (ví dụ `too_lenght_60`:  $F_{ymin} = 20$  N đến  $F_{ymax} = 120$  N, chu kỳ tương ứng bề mặt phôi khoảng 2 mm). Tổng hợp các giá trị xác định trong các trường hợp với chiều dài khác nhau, giá trị độ nhám và và lực cắt thể hiện bảng 4.5.

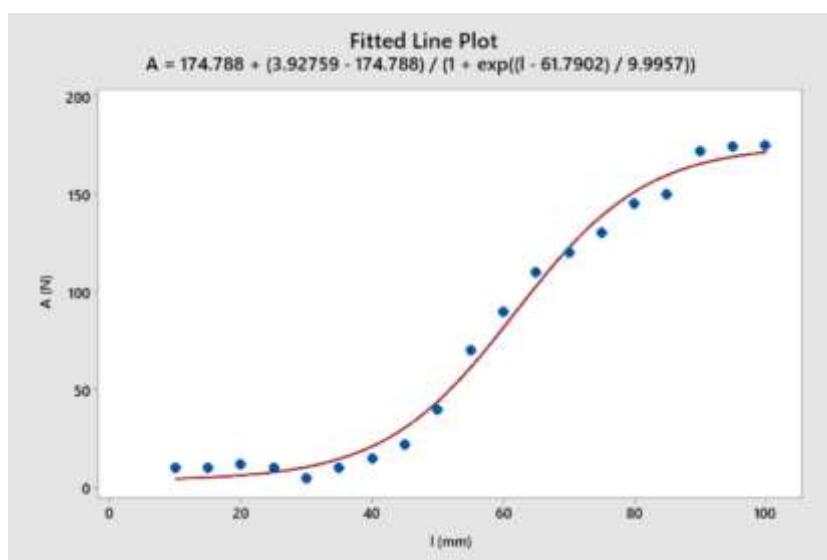


**Hình 4.13:** Lực cắt cho các độ dài cán dao khác nhau từ 10 đến 80 mm

Hồi quy mỗi quan hệ giữa biên độ dao động lực cắt và độ nhám bề mặt chi tiết sau khi gia công phụ thuộc vào chiều dài gá dao (hình 4.14 và 4.15). Với chiều dài cán dao nhỏ hơn 50 mm ta nhận thấy độ biến động về lực cắt rất nhỏ, và nhấp nhô bề mặt chi tiết thành phẩm nhỏ. Điều này được giải thích khi chiều dài cán dao gần đến giá trị tối ưu thì biến dạng của cán dao đủ nhỏ. Khi đó sự thay đổi vị trí tương quan giữa mũi dao và phôi không đáng kể dẫn đến lực cắt thay đổi không đáng kể. Dao đạt trạng thái ổn định.

**Bảng 4.5:** Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và độ dài cán dao (l)

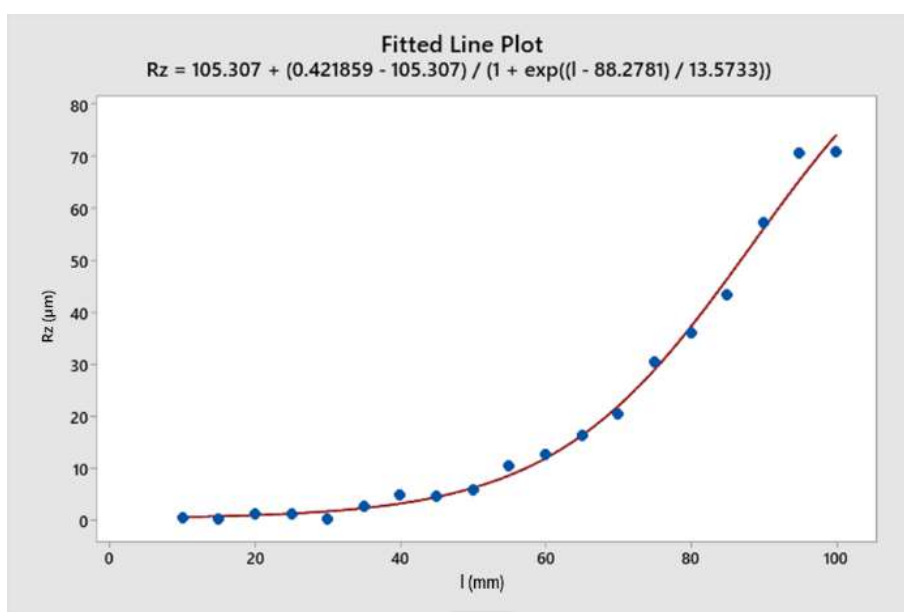
STT	l (mm)	A (N)	Rz (μm)
1	10	10	0.4
2	15	10	0.3
3	20	12	1.2
4	25	10	1.3
5	30	5	0.3
6	35	10	2.7
7	40	15	4.8
8	45	22	4.7
9	50	40	5.9
10	55	70	10.5
11	60	95	12.8
12	65	110	16.4
13	70	120	20.5
14	75	130	30.6
15	80	180	36
16	85	150	43.5
17	90	170	52.3
18	95	180	70.8
19	100	170	70.9



**Hình 4.14:** Phân tích hồi quy của lực cắt và chiều dài cán dao

Kết quả này có ý nghĩa rất quan trọng cho các nhà làm kỹ sư công nghệ trong việc tìm ra chiều dài gá dao tối ưu để đạt được trạng thái ổn định của cán dao.

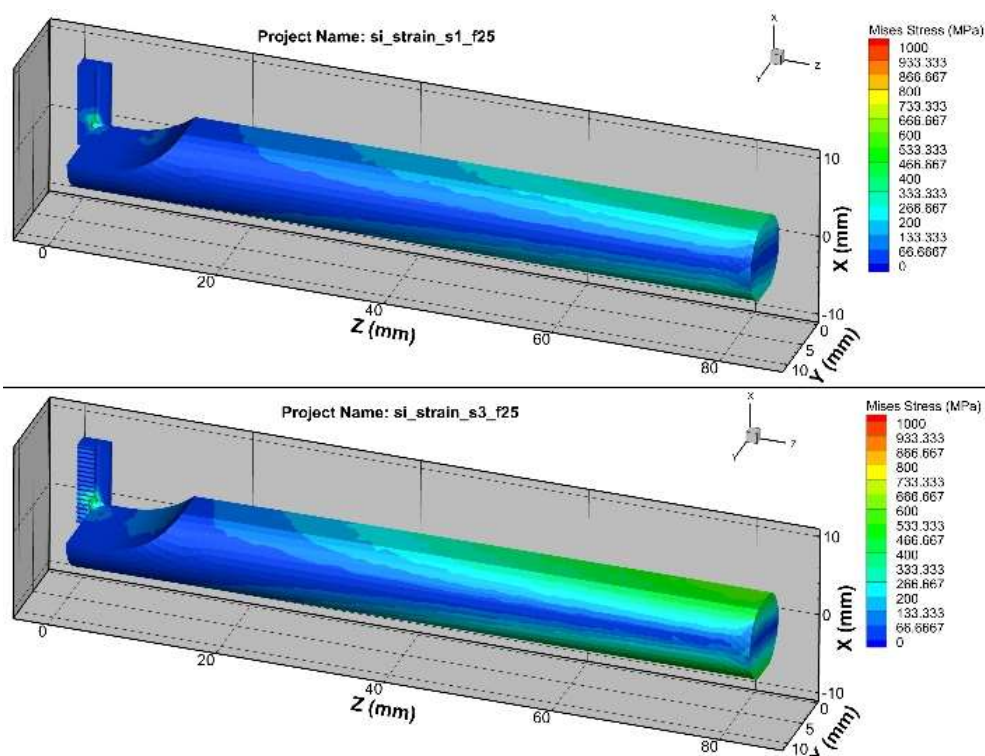
Trong giai đoạn chiều dài cán dao từ 50 mm đến 85 mm độ biến động lực cắt cũng như nhấp nhô bề mặt sản phẩm tăng rất nhanh. Điều này được giải thích khi độ cứng đàn hồi của cán dao giảm xuống, lúc này dao biến dạng làm vị trí tương quan của dao và phôi giảm khi đó lực cắt giảm, do lực đàn hồi có tác dụng làm dao có xu hướng quay lại vị trí ban đầu.



**Hình 4.15:** Phân tích hồi quy mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt và chiều dài cán dao

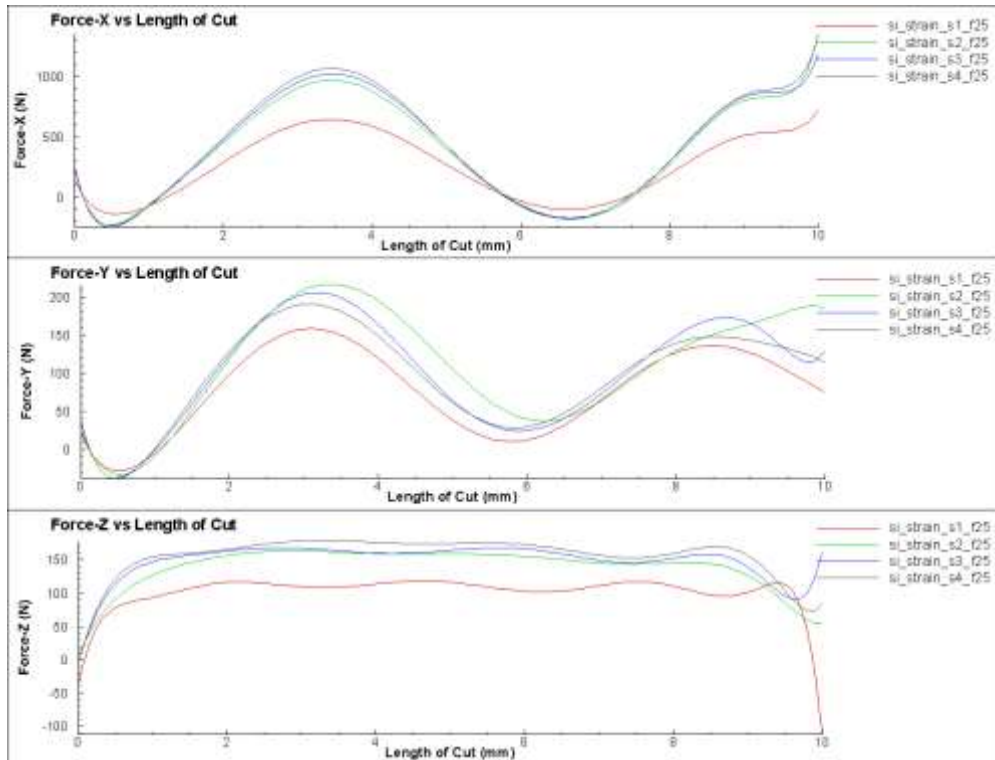
Trong trường hợp này cắt và lực đàn hồi cán dao tương đương nhau nên dao dao động rất lớn. Ngược lại khi cán dao lớn hơn 85 mm, đồ thị cho thấy độ biến thiên lực cắt và nhấp nhô bề mặt phôi có xu hướng thay đổi ít lại. Điều này được giải thích khi cán dao đủ dài thì dao biến dạng lớn, tuy nhiên lực đàn hồi cán dao nhỏ nên dao sẽ thiết lập vị trí mới và chỉ dao động quanh vị trí cân bằng mới này.

### 4.3.2. Ảnh hưởng sóng bề mặt phôi

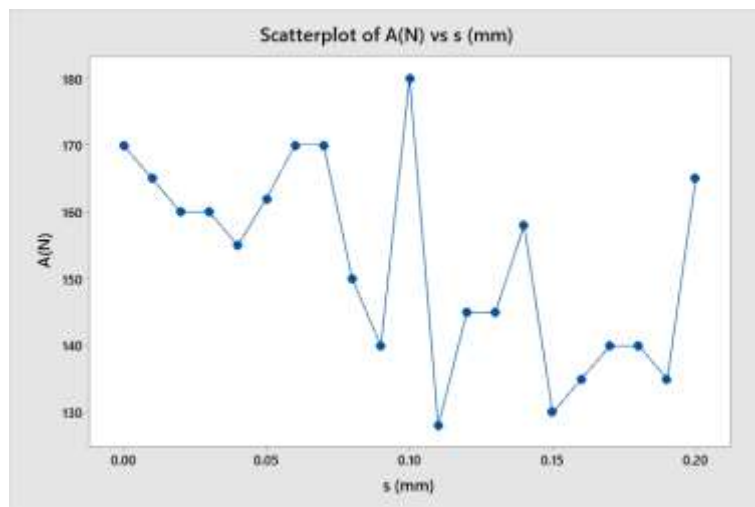


**Hình 4.16:** Ứng suất Von Mises trong trường hợp nhấp nhô bề mặt phôi  $s$  là 0.01 mm và 0.2 mm

Theo lý thuyết cắt gọt hiện tượng rung động trong khi tiện là sự ảnh hưởng của nhấp nhô sóng bề mặt phôi và hệ dao động của dao. Nên phần này nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của sóng bề mặt phôi đến sự thay đổi lực cắt trong quá trình tiện (hình 4.16). Mô hình đưa ra 4 trường hợp sóng bề mặt phôi khác nhau từ đó thấy được sự thay đổi về giá trị lực trong trường hợp các trường hợp. Tổng hợp các kết quả ở các trường hợp được thể hiện bảng 4.6.

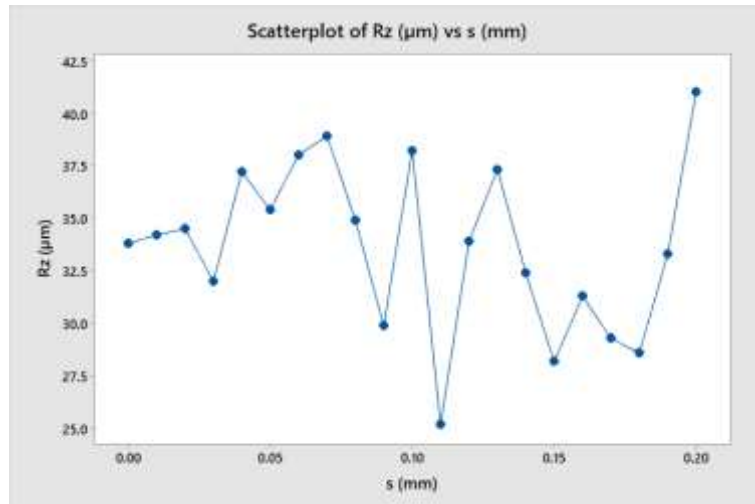


**Hình 4.17:** Lực cắt trong các trường hợp  $s = 0.01, 0.05, 0.15$  và  $0.2$  mm



**Hình 4.18:** Mối quan hệ lực cắt và sóng nhấp nhô phi





**Hình 4.19:** Mối quan hệ nhám bề mặt sản phẩm và sóng nhấp nhô bề mặt phôi

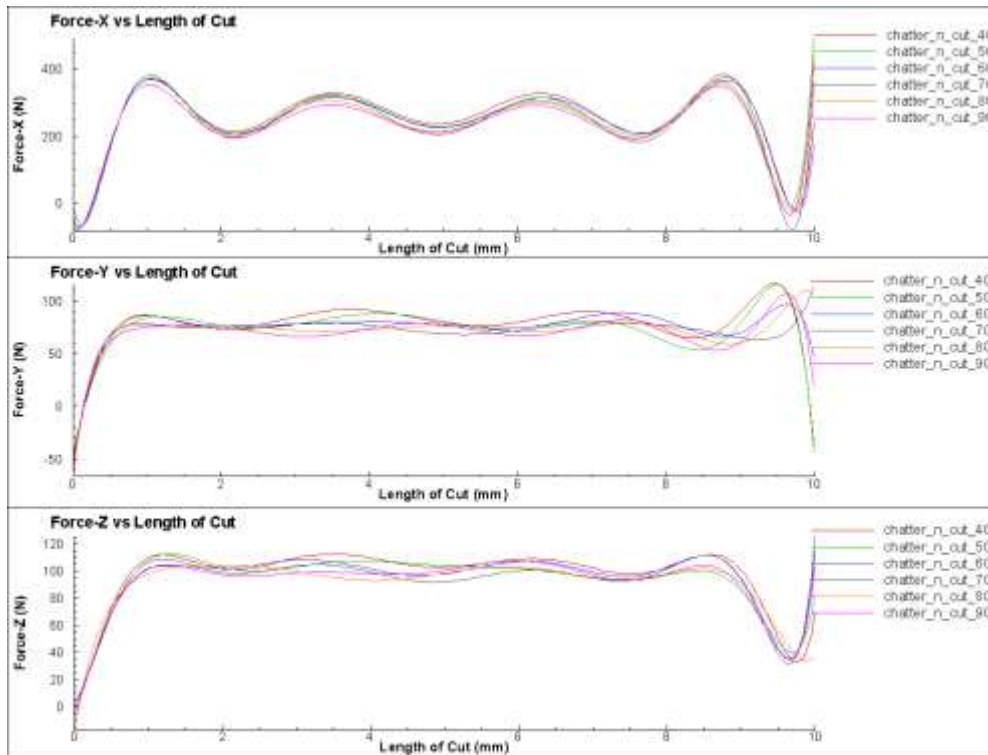
Kết quả cho thấy cho dù bề mặt phôi sóng nhấp nhô tương ứng với các cấp độ nhám khác nhau thì cũng không ảnh hưởng lớn đến biên độ và tần số dao động của lực cắt (hình 4.17). Với đường biểu diễn giá trị lực màu đỏ Si\_train\_s1\_f25 là trường hợp phôi phẳng và các trường hợp còn lại tương ứng với sóng nhấp nhô bề mặt với các giá trị khác nhau. Kết quả khi nhấp nhô sóng bề mặt lớn thì biên độ lực có thay đổi điều này được giải thích do biên độ sóng nhấp nhô cao dẫn đến thể tích cắt gọt lớn hơn nên biên độ thay đổi của lực lớn hơn. Nhưng chu kỳ thay đổi lực gần như không đổi điều này được giải thích rõ chu kỳ thay đổi lực chủ yếu do độ cứng biến dạng của cán dao quyết định bởi chiều dài của dao (hình 4.18 và 4.19).

**Bảng 4.6:** Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và sóng nhấp nhô bề mặt phôi

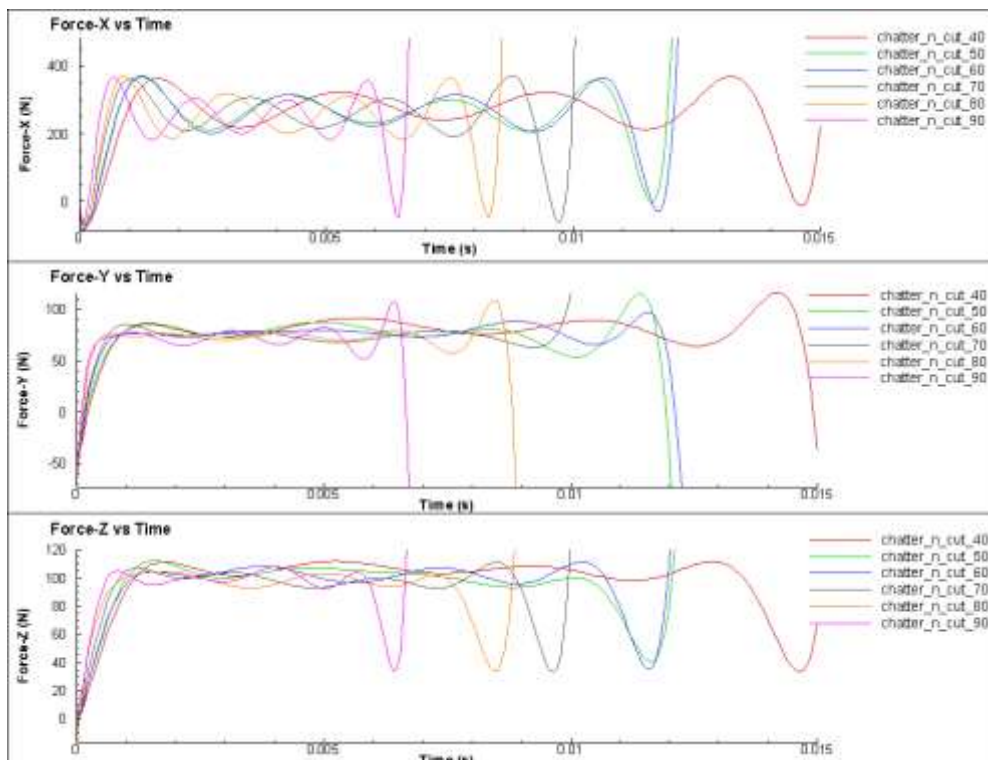
STT	s (mm)	A (N)	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	0	170	33.8
2	0.01	165	34.2
3	0.02	160	34.5
4	0.03	160	32
5	0.04	155	37.2
6	0.05	162	35.4
7	0.06	170	38
8	0.07	170	38.9
9	0.08	150	34.9
10	0.09	140	29.9
11	0.1	180	38.2
12	0.11	128	25.2
13	0.12	145	33.9
14	0.13	145	37.3
15	0.14	158	32.4
16	0.15	130	28.2
17	0.16	135	31.3
18	0.17	140	29.3
19	0.18	140	28.6
20	0.19	135	33.3
21	0.2	165	41

### 4.3.3. Ảnh hưởng của vận tốc cắt

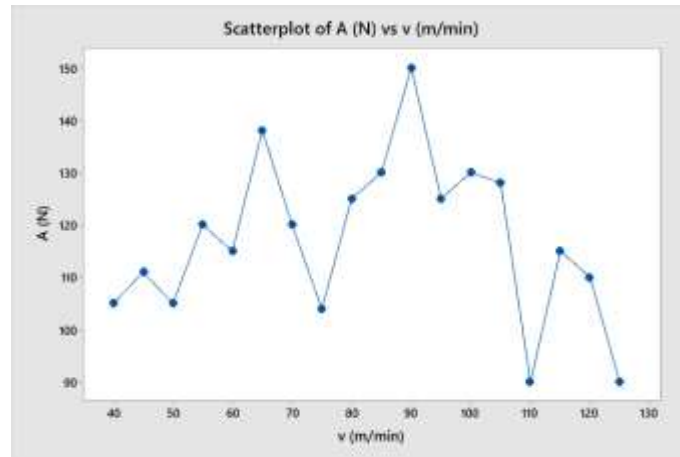
Trường hợp 3: Xét ảnh hưởng của vận tốc cắt đến sự thay đổi lực cắt trong quá trình tiện. Nghiên cứu thực hiện gia công tiện với cùng điều kiện cắt gọt chỉ thay đổi với các vận tốc cắt khác nhau từ 40 m/phút đến 90 m/phút. Kết quả cho thấy ở các vận tốc cắt khác nhau thì biên độ và chu kỳ thay đổi của lực cắt gần như không đổi (hình 4.20) điều này có thể được giải thích khi tất cả các thông số khác không thay đổi thì vận tốc cắt chỉ thay đổi thời gian mô phỏng chứ không thay đổi điều kiện. Nên xét về mặt chu kỳ lực cắt thay đổi theo thời gian thì thấy sự khác biệt về chu kỳ thay đổi lực so sánh giữa các trường hợp (hình 4.21). Tổng hợp các kết quả ở các trường hợp được thể hiện bảng 4.7.



**Hình 4.20:** Mối quan hệ lực cắt và vận tốc cắt thể hiện theo chiều dài cắt gọt



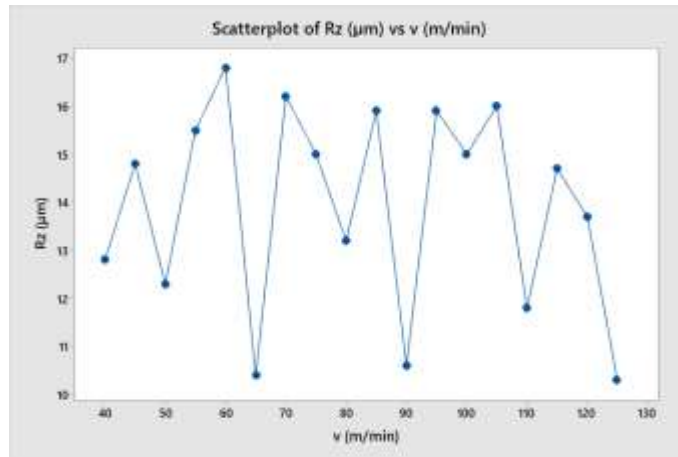
**Hình 4.21:** Mối quan hệ lực cắt và vận tốc cắt thể hiện theo thời gian



**Hình 4.22:** Quan hệ giữa lực cắt và vận tốc cắt

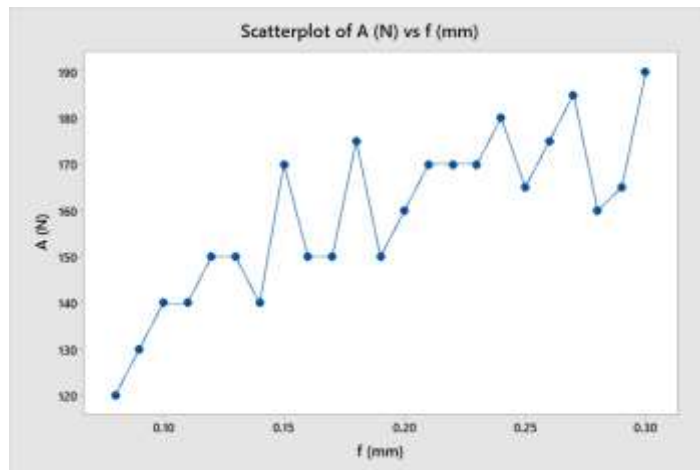
**Bảng 4.7:** Mối quan hệ giữa lực cắt ( $A$ ), độ nhám bề mặt ( $Rz$ ) và vận tốc cắt ( $v$ )

STT	$v$ (m/phút)	$A$ (N)	$Rz$ ( $\mu\text{m}$ )
1	40	105	12.8
2	45	111	14.8
3	50	105	12.3
4	55	120	15.5
5	60	115	16.8
6	65	138	10.4
7	70	120	16.2
8	75	104	15
9	80	125	13.2
10	85	130	15.9
11	90	150	10.6
12	95	125	15.9
13	100	130	15
14	105	128	16
15	110	90	11.8
16	115	115	14.7
17	120	110	13.7
18	125	90	10.3



**Hình 4.23:** Quan hệ giữa nhám bề mặt sản phẩm và vận tốc cắt

#### 4.3.4. Ảnh hưởng của bước tiến dao



**Hình 4.24:** Quan hệ giữa lực cắt và bước tiến dao

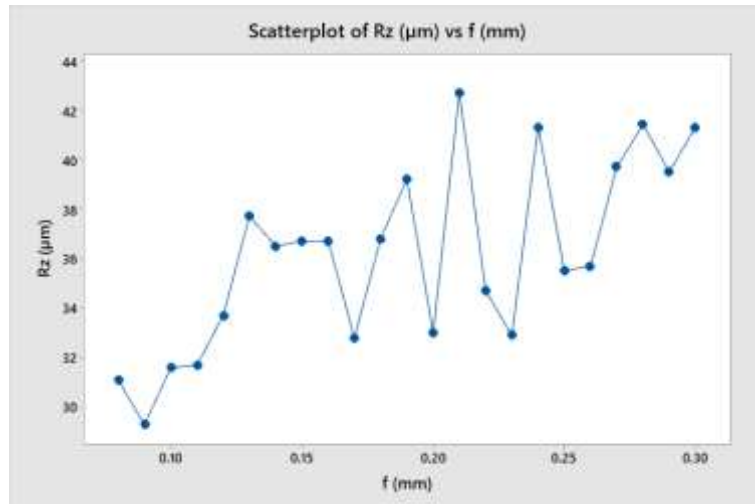
Trường hợp 4: nghiên cứu mô phỏng trường hợp cùng chiều dài cán dao với nhiều trường hợp bước tiến dao cắt khác nhau để tìm ra giới hạn của vùng ổn định. Đồng thời so sánh biên độ và chu kỳ dao động của dao. Biên độ dao động này ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công như thế nào. Tổng hợp các kết quả ở các trường hợp được thể hiện bảng 4.8.

Hình 4.24 và 4.25 thể hiện kết quả hình trên cho thấy với bước tiến dao từ 0.09 mm đến 0.18 mm giá trị lực cắt danh nghĩa tăng tuy nhiên sự thay đổi lực cắt theo thời gian tương đối nhỏ so với bước tiến dao 0.21 mm đến 0.30 mm. Dựa vào kết quả cho thấy biên độ thay đổi của lực cắt lớn nhất ở 2 trường hợp 0.21 và 0.30.

Điều này có thể được giải thích khi đó tần số dao động của cán dao gần bằng tần số nhấp nhô của phôi. Lúc này và vùng rung động của hệ thống.

**Bảng 4.8:** Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và bước tiến dao (f)

STT	f (mm)	A (N)	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	0.08	120	31.1
2	0.09	130	29.3
3	0.1	140	31.6
4	0.11	140	31.7
5	0.12	150	33.7
6	0.13	150	37.7
7	0.14	140	36.5
8	0.15	170	36.7
9	0.16	150	36.7
10	0.17	150	32.8
11	0.18	175	36.8
12	0.19	150	39.2
13	0.2	160	33
14	0.21	170	42.7
15	0.22	170	34.7
16	0.23	170	32.9
17	0.24	180	41.3
18	0.25	165	35.5
19	0.26	175	35.7
20	0.27	185	39.7
21	0.28	160	41.4
22	0.29	165	39.5
23	0.3	190	41.3



**Hình 4.25:** Quan hệ giữa độ nhám bề mặt sản phẩm và bước tiến dao

#### 4.3.5. Ảnh hưởng đa yếu tố

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của bước tiến dao, vận tốc cắt, sóng bề mặt phôi và chiều dài cán dao đến thay đổi giá trị của lực cắt và chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công (bảng 4.9).

Từ kết quả hình 4.26 và bảng 4.10 nhận thấy yếu tố chiều dài cán dao ảnh hưởng lớn nhất do chiều dài cán dao quyết định độ cứng vững của dao. Yếu tố xếp thứ 2 là bước tiến dao và yếu tố nhấp nhô bề mặt và vận tốc cắt xếp thứ 3 và thứ 4. Điều này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây tuy nhiên nghiên cứu này có xét thêm yếu tố nhấp nhô bề mặt phôi mà các nghiên cứu dạng thực nghiệm trước đây khó thực hiện được.

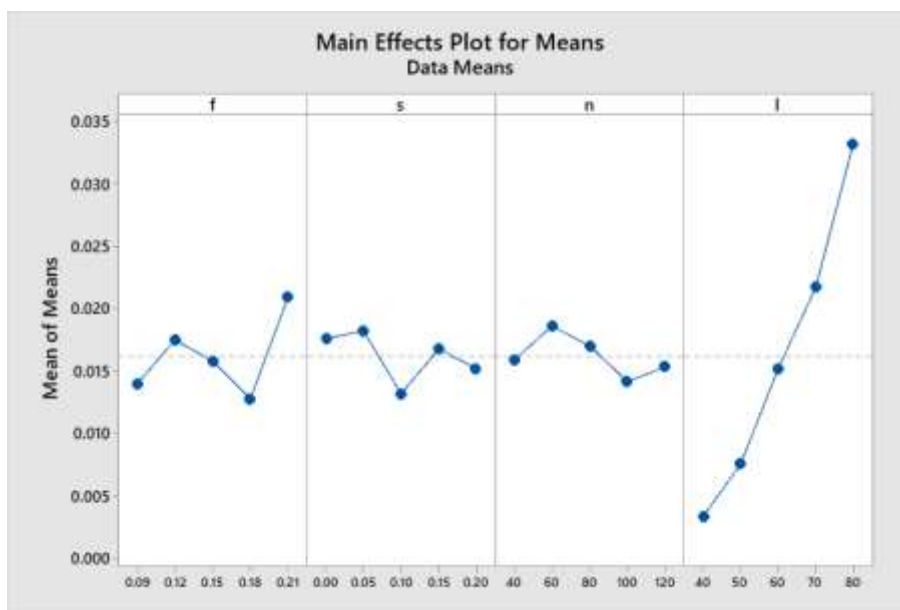
**Bảng 4.9:** Mối quan hệ giữa lực cắt (A), độ nhám bề mặt (Rz) và 4 yếu tố vận tốc cắt (v), bước tiến dao (f), chiều dài cán dao (l) và sóng nhấp nhô bề mặt phôi (s)

STT	f (mm)	s (mm)	v (m/phút)	l (mm)	A (N)	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	0.09	0.00	40	40	12	0.2
2	0.09	0.05	60	50	35	8.4
3	0.09	0.10	80	60	95	12.9
4	0.09	0.15	100	70	115	20.4
5	0.09	0.20	120	80	120	27.7
6	0.12	0.00	60	60	170	21.6
7	0.12	0.05	80	70	137	25.6
8	0.12	0.10	100	80	130	28.8
9	0.12	0.15	120	40	10	38.6
10	0.12	0.20	40	50	20	7.4
11	0.15	0.00	80	80	150	32.3
12	0.15	0.05	100	40	20	1.7
13	0.15	0.10	120	50	30	5.9
14	0.15	0.15	40	60	100	16.2
15	0.15	0.20	60	70	135	22.9
16	0.18	0.00	100	50	15	5.4
17	0.18	0.05	120	60	60	10.9
18	0.18	0.10	40	70	150	11.0
19	0.18	0.15	60	80	200	32.8
20	0.18	0.20	80	40	7	3.7
21	0.21	0.00	120	70	160	28.4
22	0.21	0.05	40	80	180	44.3
23	0.21	0.10	60	40	18	7.2
24	0.21	0.15	80	50	30	10.4
25	0.21	0.20	100	60	100	14.2

Sau khi nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến đặc điểm dao động của cán dao và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm sau khi gia công bằng phương pháp mô phỏng, nghiên cứu đã tìm ra được đặc điểm dao động của cán dao với biên độ và chu kỳ dao động cả theo thời gian và theo chiều dài cắt gọt. Với đặc điểm thay đổi của lực cắt này là cơ sở để nghiên cứu ứng dụng của lực tác động bên ngoài tác động lên cán dao nhằm mục đích giảm dao động của cán dao và nâng cao chất lượng bề mặt chi tiết sau gia công. Sau khi nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến đặc điểm dao động của cán dao và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng



bề mặt chi tiết thành phẩm sau khi gia công bằng phương pháp mô phỏng, nghiên cứu đã tìm ra được đặc điểm dao động của cán dao với biên độ và chu kỳ dao động cả theo thời gian và theo chiều dài cắt gọt. Với đặc điểm thay đổi của lực cắt này là cơ sở để nghiên cứu ứng dụng của lực tác động bên ngoài tác động lên cán dao nhằm mục đích giảm dao động của cán dao và nâng cao chất lượng bề mặt chi tiết sau gia công.



**Hình 4.26:** Tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N mô hình 3D

**Bảng 4.10:** Tỷ số tín hiệu trên nhiễu S/N mô hình 3D

Level	f	s	v	l
1	0.013973	0.017627	0.015890	0.003380
2	0.017512	0.018250	0.018635	0.007566
3	0.015858	0.013222	0.017054	0.015220
4	0.012817	0.016781	0.014185	0.021735
5	0.020970	0.015250	0.015366	0.033229
Delta	0.008153	0.005028	0.004450	0.029849
Rank	2	3	4	1

Áp dụng mô hình ANN để xác định mối quan hệ giữa các thông số kỹ thuật của chiều dài cán dao (l), sóng nhấp nhô bề mặt phôi (s), vận tốc cắt (v) và bước tiến dao (f) đến lực cắt và nhám bề mặt sản phẩm sau khi tiện (Rz), mô hình đã đạt được các chỉ số đánh giá cao sau 10,000 vòng lặp như được thể hiện trong bảng

4.11. Cụ thể, chỉ số độ chính xác là 91% trong việc dự đoán giá trị lực cắt, và 80% trong việc dự đoán độ sần bề mặt của sản phẩm sau quá trình tiện. Trong trường hợp này, sai số dự đoán của mô hình tương đối lớn do dữ liệu đầu vào thông qua các trường hợp mô phỏng chưa đủ lớn. Mô hình sẽ học và dự đoán tốt hơn khi số lượng các trường hợp mô phỏng được tăng lên, điều này sẽ được thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

**Bảng 4.11:** Mối quan hệ l, s, v, f và A, Rz bằng mô hình ANN

	l	s	v	f	A	Rz
0	100	0.03	38.5	0.15	160	32
1	70	0.2	38.5	0.15	120	20.5
2	100	0.04	38.5	0.15	155	37.2
3	100	0.1	38.5	0.15	180	38.2
4	80	0.2	38.5	0.12	150	33.7
...	...	...	...	...	...	...
101	85	0.2	38.5	0.15	150	43.5
102	80	0.2	38.5	0.08	120	31.1
103	80	0.2	38.5	0.28	160	41.4
104	80	0.2	38.5	0.24	180	41.3
105	80	0.2	38.5	0.1	140	31.6

#### 4.4. Đánh giá kết quả nội dung mô phỏng khảo sát ảnh hưởng các yếu tố

Nghiên cứu đã thực hiện khảo sát sự ảnh hưởng của các yếu tố: độ cứng cán dao, vận tốc cắt, bước tiến dao và nhấp nhô bề mặt phôi đến chất lượng bề mặt chi tiết khi tiện bằng phương pháp mô phỏng phần tử hữu hạn cắt gọt trên mô hình 3D. Nghiên cứu chỉ ra rằng trong 4 yếu tố thì yếu tố về độ cứng cán dao là yếu tố ảnh hưởng lớn nhất. Và với chiều dài cán dao  $l = 60$  mm trong mô hình mô phỏng thì độ biến thiên của lực cắt cũng như chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm Rz đạt giá trị tối ưu.

Các thông số về bước tiến dao và vận tốc cắt cũng như sóng bề mặt phôi, kết quả mô phỏng không thể hiện khác biệt rõ về độ biến thiên lực cắt cũng như nhấp nhô bề mặt chi tiết thành phẩm do các ảnh hưởng việc xét đến yếu tố động học như lực quán tính cũng như việc chia lưới mô hình.

## CHƯƠNG 5

# ỨNG DỤNG HỌC MÁY ĐỂ NHẬN DIỆN VÀ DỰ ĐOÁN RUNG ĐỘNG

### 5.1. Nhận diện rung động bằng âm thanh

Trong phần này, các kết quả về việc thu thập dữ liệu âm thanh, huấn luyện mô hình và độ chính xác mô hình sẽ được trình bày. Nội dung công việc xử lý dữ liệu và xác định các trạng thái ổn định và rung động của tập dữ liệu cũng sẽ được báo cáo.

Với kết quả sóng âm được thu thập qua thiết bị thu âm và phần mềm thu âm. Các file âm thanh được cắt thành các đoạn âm có cùng độ dài thời gian. Sau đó các file âm thanh được chuyển thành miền tần số thông qua phép biến đổi Fouries. Sau phép biến đổi này ta thu được các file hình ảnh của đoạn âm thanh. Khi đó nghiên cứu sử dụng thuật toán CNN để phân loại ảnh.



**Hình 5.1:** Mô hình thí nghiệm thu thập dữ liệu âm thanh khi tiện

Dựa trên kết quả của các sóng âm thanh được thu thập thông qua thiết bị ghi âm và phần mềm ghi âm (hình 5.1). Các tệp âm thanh được cắt thành các đoạn âm thanh cùng độ dài. Sau đó, các tệp âm thanh được chuyển đổi sang miền tần số thông qua phép biến đổi Fourier. Sau quá trình biến đổi này, chúng ta thu được các tệp hình ảnh của các đoạn âm thanh. Lúc đó, nghiên cứu sử dụng thuật toán Convolutional Neural Network để phân loại hình ảnh.

Kết quả thu được 250 file âm thanh và dựa vào chất lượng bề mặt chi tiết đánh giá chi tiết bị rung động hay ổn định. Trong 250 chi tiết gia công có 200 chi tiết ổn định và 50 chi tiết rung động (hình 5.2).

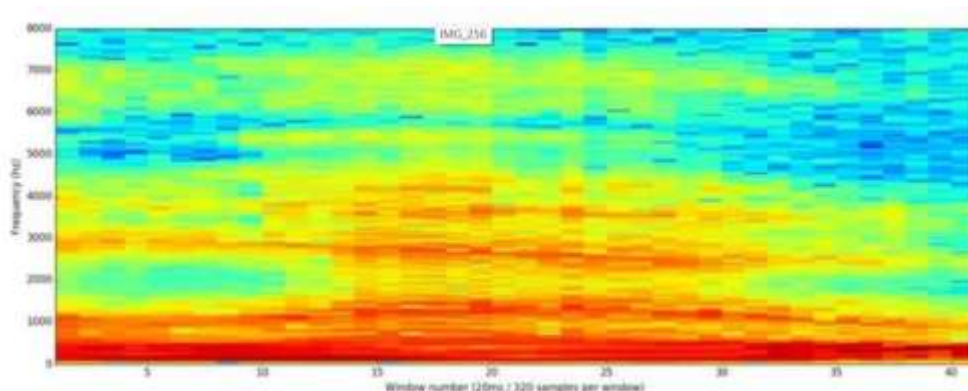


**Hình 5.2:** Thí nghiệm thu thập dữ liệu âm thanh với chi tiết rung động và ổn định khi tiện

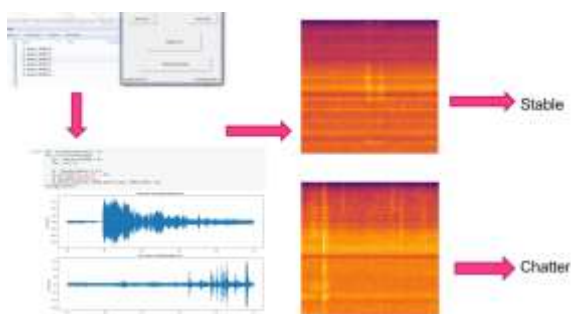
Để giúp mạng nơron xử lý dữ liệu một cách thuận lợi và hiệu quả, phương pháp tiền xử lý mẫu âm thanh đã được nghiên cứu. Phương pháp này tách các sóng âm phức tạp thành các phần khác nhau, bao gồm phần âm thấp, âm cao hơn, và cao hơn nữa. Sau đó, tổng năng lượng trong các dải tần số từ thấp đến cao được tính toán và kết hợp lại để tạo thành một cột âm - đại diện duy nhất cho mỗi đoạn trích âm thanh. Kỹ thuật này được thực hiện bằng việc sử dụng phép biến đổi Fourier trong toán học. Biến đổi Fourier chia nhỏ các sóng âm phức tạp thành các sóng âm đơn tạo thành chúng sau đó tính tổng năng lượng của mỗi sóng âm đơn. Kết quả cuối cùng là một bảng số, thể hiện mức độ năng lượng của mỗi khoảng tần số từ âm thấp đến âm cao. Mỗi số trong bảng này đại diện cho năng lượng trong một dải tần số 50 Hz trong khoảng thời gian 20 ms. Nếu quá trình được lặp lại cho mỗi khoảng 20 ms, một quang phổ sẽ được thu được (mỗi cột đại diện cho một khoảng thời gian 20 ms). Bằng cách này, âm thanh và cấu trúc tần số có thể quan sát và nhận biết dễ dàng hơn. Các cấu trúc trong dữ liệu này có thể được tìm ra một cách dễ dàng hơn bởi mạng nơron so với sóng âm thô ban đầu. Do đó, đây là đặc trưng được truyền vào mạng nơron (hình 5.3).

Nhận diện đặc điểm rung động từ đoạn âm ngắn. Truyền từng dải âm 20 ms vào mạng nơron đa lớp. Với mỗi mảng cắt âm thanh, mô hình cố gắng tìm ra đặc trưng rung động đại diện cho âm thanh phát ra. Sử dụng CNN mạng nơron tích

chập này: kết quả phân lớp được đoạn âm thanh liên quan đến rung động trong khi gia công tiện.

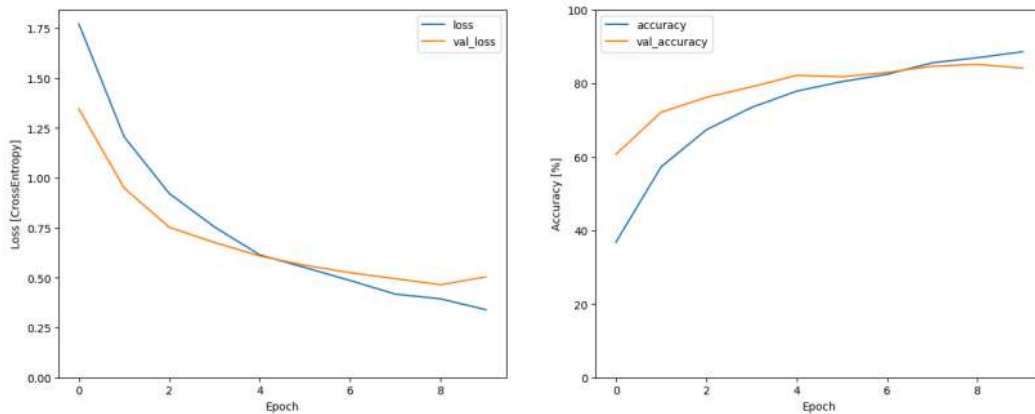


**Hình 5.3:** Dữ liệu âm thanh được đổi qua miền tần số



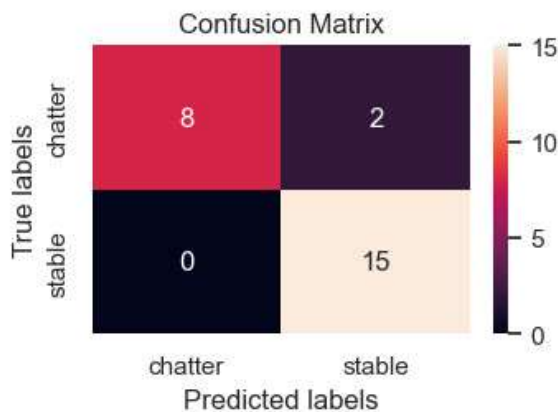
**Hình 5.4:** Biến đổi FFT các đoạn âm thanh thu được

Các đồ thị dưới đây cho thấy đường cong độ chính xác và độ mất mát của bộ dữ liệu được trích xuất đặc trưng sử dụng mô hình VGG16. Để trích xuất đặc trưng từ bộ dữ liệu, chúng tôi sử dụng các kỹ thuật học chuyển giao và các mô hình được huấn luyện trong 10 vòng lặp. Sự ổn định của quá trình huấn luyện có thể quan sát được từ vòng lặp 4 qua các đường cong trong hình 5.5.



**Hình 5.5:** Độ chính xác trên tập huấn luyện và hiệu chuẩn (hình trái), giá trị mất mát trên tập dữ liệu huấn luyện và hiệu chuẩn (hình phải)

Để minh họa khả năng dự đoán của mô hình học sâu, tiêu chuẩn đánh giá so sánh kết quả của phương pháp với thực tế bằng cách sử dụng ma trận nhầm lẫn. Trong hình 5.6 thể hiện việc tính toán ma trận nhầm lẫn trên bộ dữ liệu kiểm tra.



**Hình 5.6:** Ma trận nhầm lẫn mô hình bài toán nhận diện rung động bằng âm thanh

Trong mỗi cột của ma trận, có bốn danh mục: True Positive (TP): có nghĩa là cả giá trị dự đoán và giá trị thực tế đều là dương. True Negative (TN): có nghĩa là cả giá trị dự đoán và giá trị thực tế đều là âm. False Positive (FP): dự đoán một giá trị dương trong khi giá trị thực tế là âm. False Negative (FN): dự đoán một giá trị âm trong khi giá trị thực tế là dương. Trong số 25 mẫu dữ liệu kiểm tra, có 10 mẫu thuộc nhóm rung động trong quá trình gia công, và 15 mẫu thuộc nhóm ổn định. Sau khi đi qua mô hình, có 8 mẫu trong nhóm rung động trong quá trình gia công và

17 mẫu trong nhóm ổn định, cho thấy mô hình đã đưa ra dự đoán sai trên 2 mẫu. Sau khi đánh giá dữ liệu được phân loại sai, độ chính xác dự đoán của mô hình đạt được 92%. Độ chính xác của mô hình không cao do dữ liệu để huấn luyện không đủ lớn. Để khắc phục vấn đề tăng kích cỡ dữ liệu và nâng cao độ chính xác mô hình, nghiên cứu chuyển sang mô hình tiện mặt bích mỏng khi đó dữ liệu thu thập sẽ nhiều và đa dạng hơn.

Để thu được dữ liệu âm thanh thu được với số lượng lớn mà không tốn quá nhiều chi phí khi thí nghiệm do các trường hợp rung động xảy ra với số lượng tương đối nhỏ so với trường hợp ổn định. Hơn nữa nghiên cứu muốn thu thập cả hình ảnh khi bị rung động tương ứng nên nghiên cứu chuyển sang mô hình tiện mặt bích thép khi đó các dữ liệu thu được sẽ nhiều hơn và đa dạng hơn.

## **5.2. Nhận diện rung động bằng âm thanh và hình ảnh**

### **5.2.1. Thu thập dữ liệu**

Trong phần này, kết quả quá trình thu thập dữ liệu, huấn luyện mô hình và đánh giá hiệu quả của từng mô hình sẽ được trình bày. Phương pháp tiền xử lý dữ liệu và huấn luyện mô hình và lập trình cũng được trình bày.

Nghiên cứu đã thu thập dữ liệu bằng cách gia công 50 chi tiết mặt bích (hình 5.7). Trong quá trình gia công tác giả thu thập âm thanh trong quá trình tiện. Với mỗi chi tiết mặt bích tác giả thu được 1 file âm thanh với độ dài 82.5s và một bề mặt gia công chi tiết gia công như hình 5.8. Sau đó trên chiều dài hướng kính của tác giả chia bề mặt thành 33 đoạn bằng nhau, mỗi đoạn tương ứng với một vùng gia công và mỗi vùng gia công tương ứng với một đoạn âm thanh trong lúc gia công vùng tương ứng. Nghĩa là bề mặt chi tiết gia công được chia thành 33 vùng theo hướng kính mỗi vùng gia công là một ô vuông với kích thước 3.3 mm x 3.3 mm, và đoạn âm thanh thu được trong lúc gia công được chia thành 33 đoạn tương ứng mỗi đoạn tương ứng 2.5 s. Kết quả tác giả có được 33 hình ảnh được đặt tên P\_ik và 33 file âm thanh tương ứng được đặt tên file S\_ik tương ứng. Vậy với một cặp file Sik và Pik

Trong đó:  $i$  là chỉ số cho chi tiết mặt bích thứ  $i$  ( $i = 1 \div 50$ )

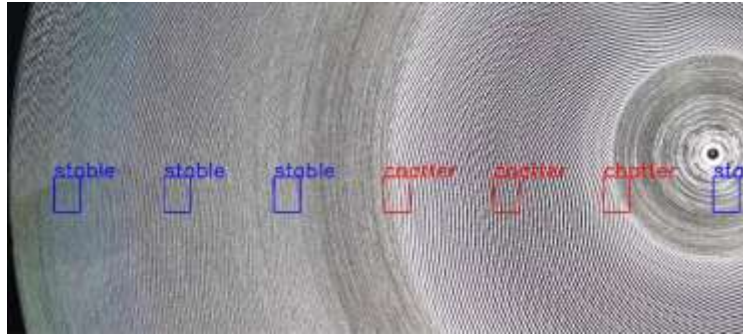
$k$ : là chỉ số vùng gia công trên mặt bích  $k$  ( $k = 1 \div 33$ )



**Hình 5.7:** Chi tiết mặt bích sau khi gia công

Với 50 chi tiết mặt bích gia công trong quá trình tiện tác giả đã phân vùng ổn định và rung động bằng cách sử dụng máy đo độ nhám với độ  $Ra < 2 \mu m$  bề mặt đó được xếp vào nhóm ổn định. Với  $Ra > 2 \mu m$  bề mặt gia công đó được xếp vào nhóm rung động (hình 5.8). Lý do khi gia công mặt bích có dạng mỏng, chi tiết được sử dụng mâm cặp 3 chấu và chế độ cắt  $n = 800$  vòng/phút là hằng số nên ở các vị trí được kính khác nhau, vận tốc cắt sẽ khác nhau. Nên hiện tượng rung động và ổn định sẽ xuất hiện và mất đi ở các vị trí khác nhau. Chính nhờ điều này nghiên cứu sẽ thu thập được nhiều vùng dữ liệu hình ảnh và âm thanh tương ứng với trạng thái rung động và ổn định khác nhau. Bằng cách này tác giả sẽ giảm bớt chi phí thí nghiệm ở các chế độ cắt và điều kiện cắt khác nhau để thu thập được vùng dữ liệu âm thanh và dữ liệu hình ảnh rung động và ổn định.

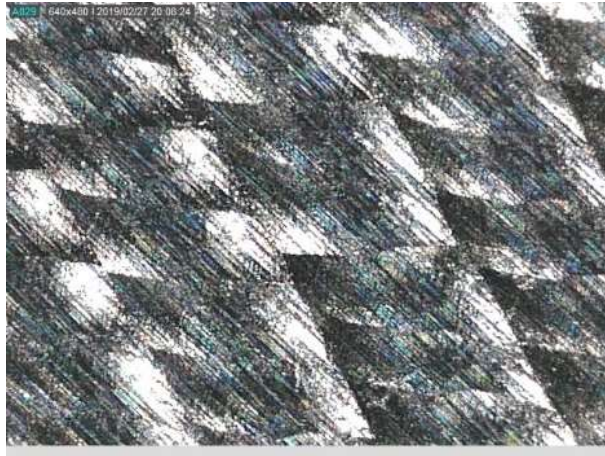




**Hình 5.8:** Bề mặt chi tiết tiện sau khi đo độ nhám và đánh dấu vùng ổn định và vùng rung động

Sau khi xác định vùng ổn định và rung động tác giả dùng kính hiển vi điện tử để chụp lại ảnh bề mặt chi tiết thành phẩm ở các vùng đã đánh dấu. Ở vùng được dán nhãn là vùng rung động (hình 5.9), và vùng được dán nhãn là vùng ổn định (hình 5.10). Kết quả là 1650 file hình ảnh cùng với 1650 file âm thanh. Sau khi sử dụng máy đo độ nhám để phân vùng ổn định và rung động. Tác giả đã thu thập được 987 hình ảnh và âm thanh ở trạng thái ổn định và 663 file ảnh và âm thanh ở trạng thái rung động.

Với kết quả của các sóng âm thanh được thu thập thông qua thiết bị ghi âm và phần mềm ghi âm. Tập tin âm thanh được cắt thành các đoạn âm thanh có cùng độ dài. Sau đó, các tập tin âm thanh được chuyển đổi sang miền tần số thông qua biến đổi FFT. Quá trình này dẫn đến việc thu được các tập tin hình ảnh của các đoạn âm thanh sau quá trình biến đổi. Lúc đó, nghiên cứu sử dụng thuật toán CNN để phân loại các hình ảnh.



**Hình 5.9:** Ảnh chụp vị trí rung động

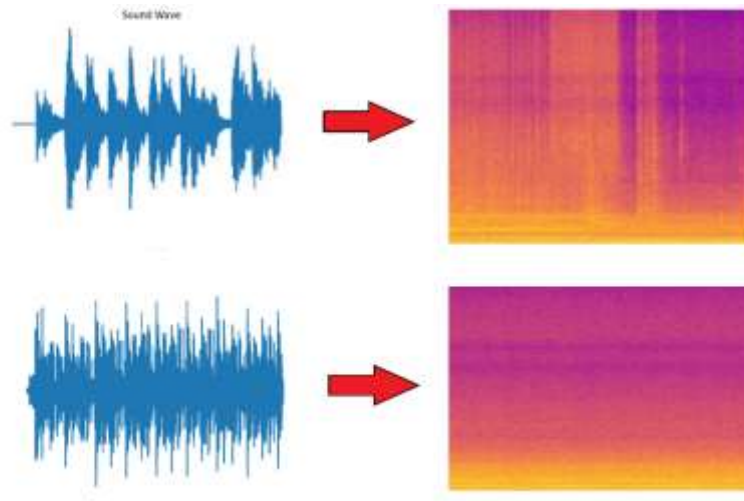


**Hình 5.10:** Ảnh chụp vị trí ổn định

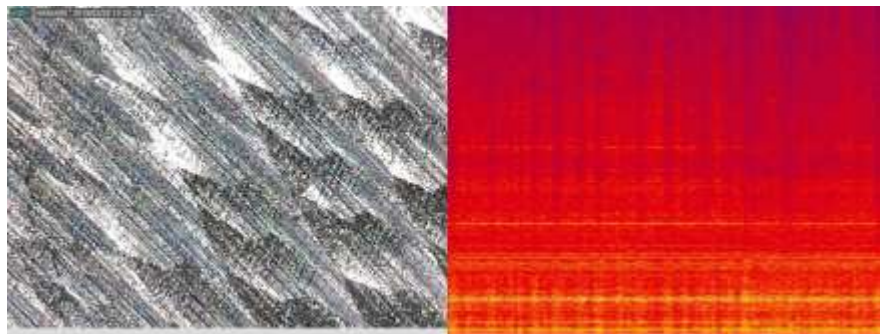
Để giúp mạng nơ-ron xử lý dữ liệu dễ dàng hơn, trong nghiên cứu này sử dụng các kỹ thuật tiền xử lý dữ liệu mẫu âm thanh để tách sóng âm thanh phức tạp này thành các phần: âm trầm, âm cao, âm cao hơn. Kỹ thuật này được thực hiện nhờ sử dụng biến đổi Fourier nhanh trong toán học. FFT phân tách sóng âm thanh phức tạp thành các sóng âm thanh đơn lẻ tạo nên nó, và chúng ta có thể tính tổng năng lượng trong mỗi âm thanh đơn kênh. Kết quả cuối cùng là một bảng số đại diện cho mức năng lượng của mỗi khoảng tần số. Điều đó dẫn đến tác giả thu được một bộ 1650 tệp hình ảnh thông qua biến đổi Fourier nhanh của 1650 tệp âm thanh (hình 5.11).

Để tạo ra bộ dữ liệu hình ảnh mang cả hai đặc trưng của bề mặt chi tiết gia công khi tiện và đặc trưng âm thanh khi tiện. Tác giả đã sử dụng công nghệ xử lý ảnh để ghép 2 ảnh bề mặt chi tiết và phổ tần số âm thanh khi tiện. Nghiên cứu đã

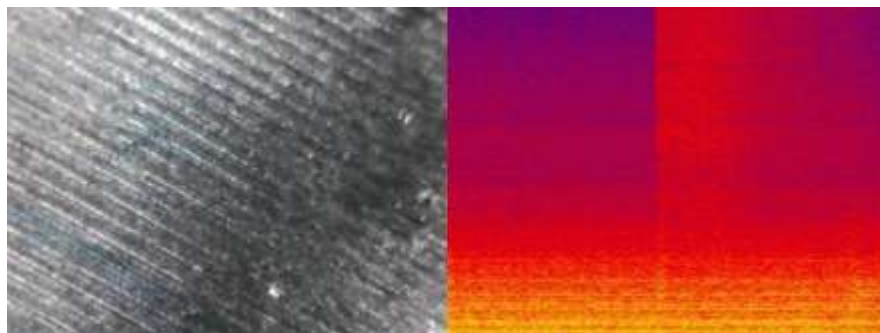
tạo ra được 1650 file hình ảnh đặc trưng cho quá trình tiến dao động (hình 5.12) và tiến ổn định (hình 5.13).



**Hình 5.11:** Chuyển đổi FFT âm thanh sang hình ảnh



**Hình 5.12:** Ảnh rung động kết hợp hình ảnh và âm thanh



**Hình 5.13:** Ảnh ổn định kết hợp hình ảnh và âm thanh

Tổng hợp tất cả dữ liệu thu thập được thông qua thí nghiệm tiến mặt bích và giai đoạn tiền xử lý dữ liệu. Sau đó dữ liệu được phân chia thành các tập huấn luyện

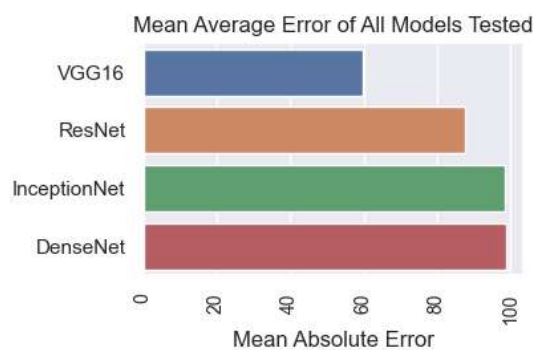
chiếm 80% bộ dữ liệu. Các tập hiệu chuẩn và kiểm tra lần lượt chiếm 10% (bảng 5.1), tỷ lệ phân chia này được dựa theo tỷ lệ thông thường trong các mô hình CNN.

**Bảng 5.1:** Phân chia dữ liệu huấn luyện, hiệu chỉnh và kiểm tra

Nhãn	Tập huấn luyện (80%)	Tập hiệu chuẩn (10%)	Tập kiểm tra (10%)	Total (100%)	
Hình ảnh	464	99	100	663	rung động
	690	148	149	987	ổn định
Âm thanh	464	99	100	663	rung động
	690	148	149	987	ổn định
Kết hợp hình ảnh và âm thanh	464	99	100	663	rung động
	690	148	149	987	ổn định

### 5.2.2. Ứng dụng các mô hình CNN phát hiện rung động bằng hình ảnh bề mặt chi tiết

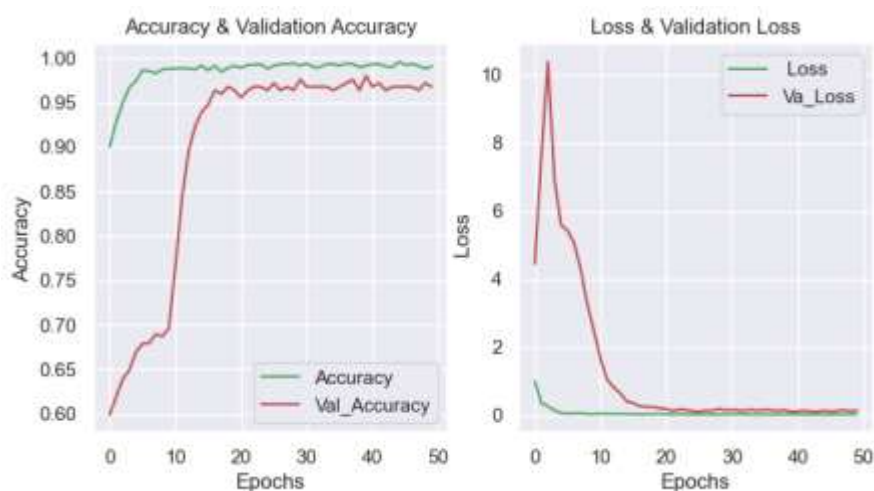
Phần này trình bày kết quả thu được từ phương pháp đề xuất và các mô hình khác. Độ chính xác của các mô hình được so sánh dựa trên tiêu chí như hình 5.14. Kết quả cho thấy mô hình DenseNet đạt kết quả tốt nhất với 98.7%. Tiếp theo là InceptionNet với độ chính xác là 98%. Hai mô hình ResNet còn lại đạt kết quả dưới 97%. Ngoại trừ mô hình VGG16, chỉ đạt độ chính xác 58%, là một trường hợp đặc biệt.



**Hình 5.14:** So sánh độ chính xác mô hình với dữ liệu đầu vào là ảnh chụp bề mặt chi tiết gia công

Khi phân tích các biểu đồ đường cong độ chính xác và mất mát của bộ dữ liệu hình ảnh mô hình DenseNet (hình 5.15) qua quá trình huấn luyện 50 vòng lặp có

các nhận xét sau: Sự ổn định của quá trình huấn luyện có thể được quan sát từ vòng lặp thứ 7. Qua biểu đồ ta có thể thấy mô hình hoạt động tốt khi mất mát giảm dần trong quá trình huấn luyện và kiểm tra trên tập dữ liệu kiểm tra cho đến khi đạt tới điểm ổn định với sự sai lệch tối thiểu giữa mất mát trong quá trình huấn luyện và kiểm tra. Tuy nhiên trong đó xuất hiện các điểm chuyển động bất thường trong mất mát và độ chính xác nguyên nhân là bộ dữ liệu đầu vào chưa đủ lớn. Mặc dù có sự biến động, mô hình vẫn đạt được kết quả khá tốt so với ba mô hình còn lại.



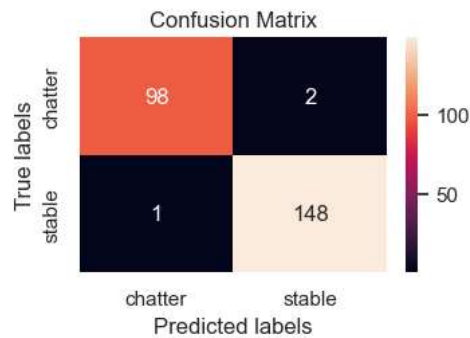
**Hình 5.15:** Trái: độ chính xác trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh. Phải: mất mát trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh mô hình DenseNet

Mô hình được phân tích với tập kiểm tra và đánh giá qua các tiêu chí precision, recall và điểm f1. Kết quả cho thấy độ chính xác của mô hình DenseNet là 98.7%. Các kỹ thuật như ma trận nhầm lẫn và điểm F1 được áp dụng để trực quan hóa kết quả này, chứng minh khả năng dự đoán của mô hình trên các dữ liệu không biết và phức tạp. Bảng 5.2 cho thấy rằng độ chính xác và điểm F1 được xem là các yếu tố hàng đầu và cần thiết. Năng lực của mô hình được cải thiện khi có điểm số cao hơn trong các chỉ số này.

**Bảng 5.2:** Chỉ số đánh giá mô hình DenseNet

	0	1	tỷ lệ chính xác	trung bình macro	trung trung bình có trọng số
Độ chính xác	0.989899	0.986667	0.987952	0.988283	0.987965
Độ phục hồi	0.980000	0.993289	0.987952	0.986644	0.987952
Điểm f1 support	0.984925	0.989967	0.987952	0.987446	0.987942
	100.0000	149.0000	0.987952	249.0000	249.000000

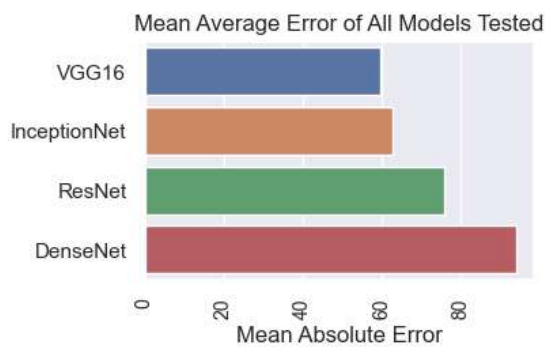
Để minh họa khả năng dự đoán của mô hình học sâu, phương pháp phân tích ma trận nhầm lẫn được áp dụng. Hình 5.16 cho phép hình dung việc tính toán ma trận nhầm lẫn trên bộ dữ liệu kiểm tra. Trên mỗi cột ma trận, có một lớp được dự đoán bởi mô hình và một lớp thực tế. Thông thường, ma trận gồm bốn danh mục: Dương tính chính xác (True Positive - TP), nghĩa là dự đoán và giá trị thực tế đều là dương tính; Âm tính chính xác (True Negative - TN), nghĩa là dự đoán và giá trị thực tế đều là âm tính; Dương tính giả (False Positive - FP), nghĩa là dự đoán là dương tính trong khi giá trị thực tế là âm tính; Âm tính giả (False Negative - FN), nghĩa là dự đoán là âm tính trong khi giá trị thực tế là dương tính. Trong tổng số 249 mẫu dữ liệu kiểm tra, có 100 mẫu rung động và 149 mẫu ổn định. Tuy nhiên, mô hình dự đoán cho kết quả 98 mẫu rung động và 2 mẫu ổn định, do đó mô hình dự đoán sai 2 mẫu. Từ 149 hình ảnh thuộc nhóm gia công ổn định, có 1 dữ liệu được phân loại sang nhóm rung động, và 148 hình ảnh còn lại được phân loại chính xác. Sau khi đánh giá các dữ liệu sai, mô hình có sai số dự đoán 1.2%.



**Hình 5.16:** Ma trận nhầm lẫn mô hình DenseNet dữ liệu đầu vào là hình ảnh

### 5.2.3. Ứng dụng mô hình CNN để phát hiện rung động bằng dữ liệu âm thanh

Phần này trình bày kết quả thu được từ phương pháp đề xuất và các mô hình khác. Độ chính xác của các mô hình được so sánh dựa trên tiêu chí như hình 5.17.



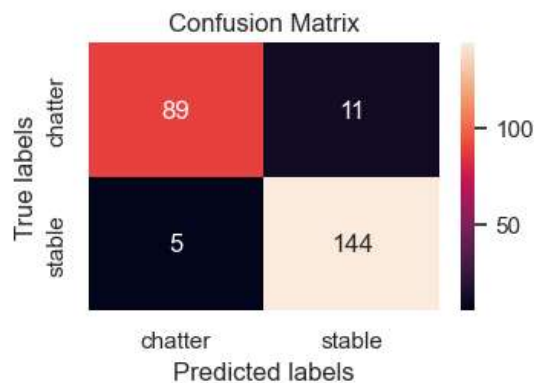
**Hình 5.17:** So sánh độ chính xác mô hình với dữ liệu đầu vào là ảnh chụp bề mặt chi tiết gia công

Các tiêu chí precision, recall và điểm f1 đã được sử dụng để phân tích mô hình với tập kiểm tra và đánh giá. Kết quả cho thấy độ chính xác của mô hình DenseNet là 96.1%. Các kỹ thuật như ma trận nhầm lẫn và điểm F1 được sử dụng để minh họa kết quả này và chứng minh khả năng dự đoán của mô hình trên các dữ liệu phức tạp và chưa được biết trước. Bảng 5.3 cho thấy rằng độ chính xác và điểm F1 được coi là những yếu tố cần thiết và quan trọng nhất. Mô hình sẽ có khả năng dự đoán tốt hơn khi các chỉ số này cao hơn.

**Bảng 5.3:** Chỉ số đánh giá mô hình DenseNet với dữ liệu âm thanh

	0	1	tỷ lệ chính xác	trung bình macro	trung trung bình có trọng số
Độ chính xác	0.989583	0.967320	0.975904	0.978452	0.976261
Độ phục hồi	0.950000	0.993289	0.975904	0.971644	0.975904
Điểm f1	0.969388	0.980132	0.975904	0.974760	0.975817

Trong 249 mẫu dữ liệu kiểm tra bằng mô hình DenseNet với dữ liệu đầu vào là âm thanh, trong đó gồm 100 mẫu thuộc loại rung động và 149 mẫu thuộc loại ổn định (hình 5.18). Tuy nhiên, mô hình dự đoán 87 mẫu là rung động và 13 mẫu là ổn định, dẫn đến việc sai trong việc dự đoán 13 mẫu. Trong 149 mẫu ổn định, tất cả các mẫu được phân loại đúng. Sau khi đánh giá các trường hợp sai, độ chính xác của mô hình trên tập kiểm tra là 94.6%. Độ chính xác này thấp hơn so với độ chính xác của mô hình với dữ liệu đầu vào là hình ảnh 98.8 % có thể là do các yếu tố nhiễu về âm thanh khi thu thập dữ liệu, có thể trong lúc gia công tiếng ồn bất thường của các cơ cấu cơ khí khác ảnh hưởng đến kết quả dự đoán.

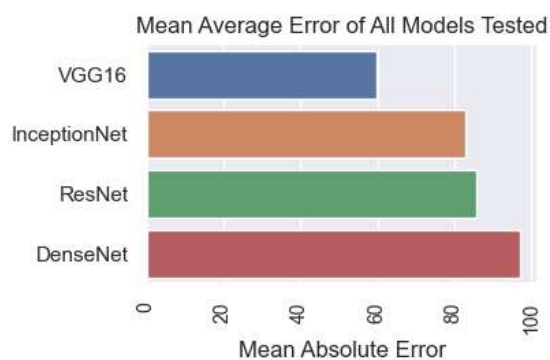


**Hình 5.18:** Ma trận nhầm lẫn mô hình DenseNet với dữ liệu đầu vào là âm thanh



#### 5.2.4. Kết quả mô hình cho file hình ảnh ghép giữa file hình ảnh và file âm thanh

Trong phần này, kết quả thu được từ phương pháp đề xuất và từ các mô hình khác nhau được trình bày. Dựa vào tiêu chí độ chính xác của các mô hình được kết quả như hình 5.19. Kết quả cho thấy mô hình DenseNet mang lại kết quả tốt nhất với 98.7%. Tiếp theo là InceptionNet với độ chính xác mô hình 98%. Hai mô hình ResNet còn lại đạt kết quả dưới 97%. Một trường hợp đặc biệt là mô hình VGG16 chỉ đạt 58% độ chính xác.



**Hình 5.19:** So sánh độ chính xác mô hình với dữ liệu đầu vào là ảnh ghép âm thanh và ảnh bề mặt gia công

Các tiêu chí như độ chính xác (precision), độ phục hồi (recall) và điểm f1 được áp dụng để phân tích và đánh giá mô hình trên tập dữ liệu kiểm tra. Kết quả cho thấy mô hình DenseNet có độ chính xác 98.7%. Công cụ như ma trận lỗi và điểm f1 được sử dụng để trực quan hóa và chứng tỏ khả năng dự đoán của mô hình trong việc xử lý dữ liệu phức tạp và chưa biết trước. Bảng 5.4 chỉ ra rằng độ chính xác và điểm f1 được coi là các yếu tố quan trọng và cần thiết. Mô hình sẽ có khả năng dự đoán hiệu quả hơn khi các chỉ số này đạt mức cao.

**Bảng 5.4:** Chỉ số đánh giá mô hình DenseNet với dữ liệu âm thanh và hình ảnh

	0	1	tỷ lệ chính xác	trung bình macro	trung trung bình có trọng số
Độ chính xác	1.000000	0.876471	0.915663	0.938235	0.926081
Độ phục hồi	0.790000	1.000000	0.915663	0.895000	0.915663
Điểm f1	0.882682	0.934169	0.915663	0.908425	0.913491

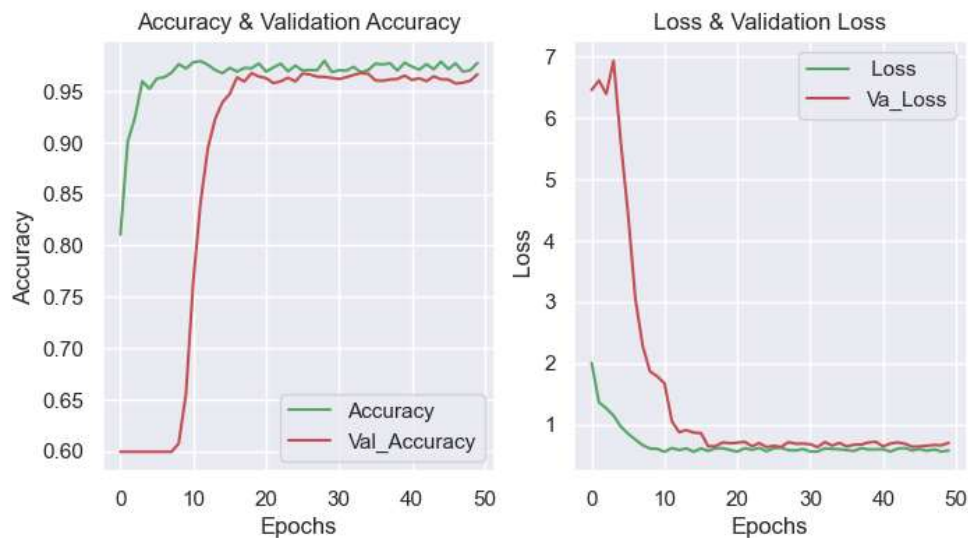
Trong 249 mẫu dữ liệu kiểm tra bằng mô hình DenseNet với dữ liệu đầu vào là âm thanh, trong đó gồm 100 mẫu thuộc loại rung động và 149 mẫu thuộc loại ổn định (hình 5.20). Tuy nhiên, mô hình dự đoán 95 mẫu là rung động và 5 mẫu là ổn định, dẫn đến việc sai trong việc dự đoán 5 mẫu. Trong 149 hình ảnh thuộc nhóm gia công ổn định, có 4 dữ liệu được phân loại sang nhóm rung động, và 145 hình ảnh còn lại được phân loại chính xác. Sau khi đánh giá các trường hợp sai, độ chính xác của mô hình trên tập kiểm tra là 96.3%. Độ chính xác này thấp hơn so với độ chính xác của mô hình với dữ liệu đầu vào là hình ảnh 98.8%, tuy nhiên cao hơn độ chính xác của mô hình DenseNet với tập dữ liệu là âm thanh (94.6%). Có sự cải thiện rõ rệt của việc nâng cao độ chính xác của việc nhận diện rung động với tập dữ liệu kết hợp hình ảnh này.



**Hình 5.20:** Ma trận nhầm lẫn mô hình DenseNet với dữ liệu đầu vào ảnh ghép

### 5.2.5. Kết quả mô hình với dữ liệu đầu vào của mô hình CNN 2 đầu vào

Trong phần này, kết quả thu được từ phương pháp đề xuất được trình bày. Các biểu đồ sau đây minh họa cho đường cong độ chính xác và mất mát của bộ dữ liệu mà đặc trưng đã được trích xuất bằng mô hình hai yếu tố đầu vào. Các kỹ thuật học chuyển giao được sử dụng để trích xuất đặc trưng từ bộ dữ liệu, và các mô hình được huấn luyện trong 50 vòng lặp. Sự ổn định của quá trình huấn luyện có thể được quan sát từ vòng lặp thứ 20 qua các đường cong trong hình 5.21.

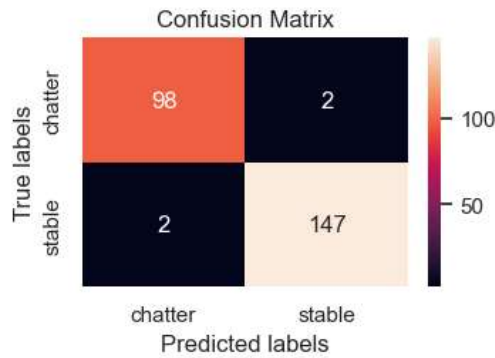


**Hình 5.21:** Trái: độ chính xác trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh. Phải: mất mát trên tập huấn luyện và hiệu chỉnh mô hình CNN 2 dữ liệu đầu vào

**Bảng 5.5:** Kết quả các tiêu chí đánh giá mô hình CNN 2 dữ liệu đầu vào

	0	1	tỷ lệ chính xác	trung bình macro	trung trung bình có trọng số
Độ chính xác	1.00	0.97		0.98	0.98
Độ phục hồi	0.95	1.00		0.97	0.98
Điểm f1	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98

Kết quả của mô hình 2 dữ liệu đầu vào là hình ảnh bề mặt chi tiết gia công và âm thanh thu được trong quá trình gia công đạt độ chính xác 98% sau 50 vòng lặp. Kết quả đánh giá mô hình được thể hiện ở bảng 8. Để minh họa khả năng dự đoán của mô hình học sâu, chúng ta so sánh kết quả của phương pháp với thực tế bằng cách tận dụng ma trận nhầm lẫn.



**Hình 5.22:** Ma trận nhầm lẫn mô hình hai đầu vào

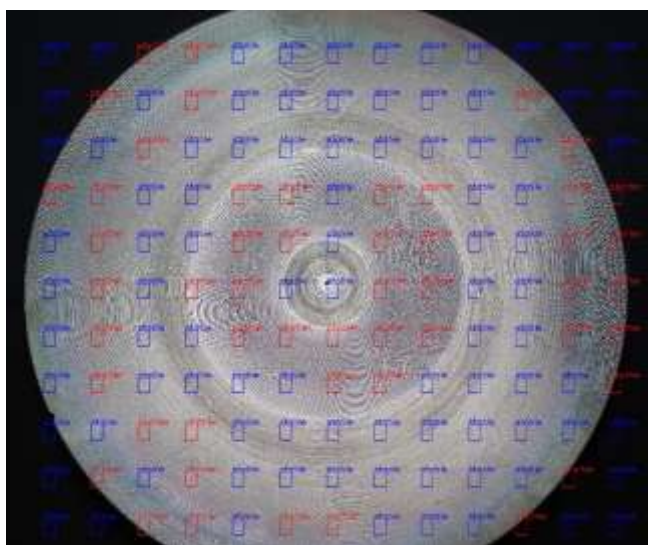
Trong số 249 mẫu dữ liệu kiểm tra có 100 mẫu rung động nhóm gia công có rung, mô hình dự đoán sai 2 mẫu. Trong 149 hình ảnh thuộc nhóm gia công không rung, có 3 dữ liệu được phân loại sang nhóm rung động, và 146 mẫu còn lại được phân loại chính xác. Sau khi đánh giá các dữ liệu nhầm lẫn, mô hình đạt mức độ chính xác dự đoán 98%. Như quan sát được trong hình 5.22 các mẫu sai được phân bố cả 2 tập dữ liệu.

Kết quả nhận diện rung động bằng CNN khi gia công trực tiếp.

Tham khảo	Phương pháp xử lý	Dữ liệu đầu vào	Phân lớp	Độ chính xác
Nghiên cứu này	FFT	Images and sounds	Binary	98%
W. Zhu và cộng sự [81]	Size reduction	Images	Binary	98.26%
Tran và cộng sự [82]	CWT	Images	Multilabel	99.67%
Rahimi và cộng sự [83]	STFT	Images	Multilabel	98.90%
Sener và cộng sự [84]	CWT	Images- cutting parameters	Multilabel	99.88%
C. A. K. A. Kounta và cộng sự [85]	FFT	Sound_cutting	Multilabel	99.71%

**Bảng 5.6:** So sánh kết quả nghiên cứu với các nghiên cứu gần đây

Về mặt học thuật, nghiên cứu đã đạt được kết quả tốt khi xây dựng mô hình phát hiện rung động với ý tưởng thiết kế và tiến hành thực nghiệm, cụ thể chế tạo thêm bộ phận máy tiện CNC có thể nghe và nhìn để phát hiện các vấn đề bất thường. Việc phát hiện rung trong quá trình gia công được thực hiện khi sản phẩm hoàn, khi trục chính dừng lại và thiết bị chụp ảnh để xác định những khu vực ổn định và những khu vực nào có hiện tượng rung (hình 5.23). Điều này có nghĩa là thiết bị sẽ kiểm tra chất lượng bề mặt toàn bộ sản phẩm trước khi quyết định gia công chi tiết tiếp theo.



**Hình 5.23:** Áp dụng mô hình phát hiện bề mặt rung động

Tuy nhiên, để kết quả của nghiên cứu này áp dụng vào mô hình sản xuất thực tế trong trường hợp cả gia công và kiểm tra (hình 5.24), các yếu tố gây nhiễu cần được giảm thiểu. Đối với việc thu thập hình ảnh, cần sử dụng máy ảnh tốc độ cao để chụp liên tục để tránh hiện tượng mờ ảnh. Ngoài ra, trong quá trình gia công, cần sắp xếp máy ảnh ở vị trí ít bị ảnh hưởng bởi phoi và nước làm mát. Tương tự, các yếu tố tiếng ồn nhiều âm thanh cũng nên được giới hạn khi thu thập dữ liệu âm thanh để huấn luyện hoặc kiểm tra, chẳng hạn như âm thanh của động cơ trục chính, âm thanh khi thay dao, v.v. Tuy nhiên, những khó khăn này sẽ được loại bỏ khi có sẵn thiết bị chuyên dụng và thuật toán lọc nhiễu tối ưu trong tương lai.

Tuy mô hình 2 dữ liệu đầu vào có độ chính xác thấp hơn các mô hình của các tác giả khác nhưng do dữ liệu đầu vào của quá trình là dữ liệu kép vừa cả hình ảnh

sản phẩm và âm thanh thu được khi tiện nên mô hình có tính tổng quát hơn. Các yếu tố nhiễu về hình ảnh như độ sáng, góc nghiêng.



**Hình 5.24:** Nhận diện rung động trong quá trình gia công tiện

### **5.2.6. Nhận xét nội dung nhận diện rung động bằng âm thanh và hình ảnh khi tiện**

Nghiên cứu đã xây dựng được mô hình thí nghiệm tiện mặt bích mỏng để thu thập dữ liệu hình ảnh và đồng thời âm thanh trong khi tiện. Bộ dữ liệu có 987 cặp dữ liệu hình ảnh bề mặt chi tiết, âm thanh khi gia công ổn định và 663 cặp dữ liệu ở trạng thái rung động.

Nghiên cứu đã thực hiện phân loại dữ liệu bằng các mô hình machine learning khác nhau: VGG16, RestNet, DenseNet và InceptionNet với các dữ liệu hình ảnh và dữ liệu âm thanh riêng lẻ. Với dữ liệu là hình ảnh bề mặt chi tiết gia công mô hình DenseNet đạt độ chính xác đến 99%, và mô hình RestNet và InceptionNet đạt độ chính xác 97%. Và khi phân loại bằng bộ dữ liệu âm thanh thì mô hình DenseNet vẫn đạt độ chính xác cao nhất 92 %, xếp thứ 2 là mô hình CNN đạt độ chính xác 79%. Tuy nhiên khi kết hợp giữa 2 dữ liệu hình ảnh và âm thanh bằng cách ghép 2 ảnh sau đó nhận diện thì mô hình CNN đạt độ chính xác 97% cao hơn so với mô hình DenseNet đạt 91%.

Nghiên cứu cũng xây dựng mô hình 2 input để phân loại dữ liệu và kết quả độ chính xác mô hình là 98%. Tuy độ chính xác thấp hơn so với mô hình đơn dữ liệu nhưng mô hình combine dữ liệu và mô hình 2 dữ liệu input được đánh giá cao hơn vì mô hình mang tính đặc trưng của quá trình.

Nghiên cứu cũng mở ra hướng mới cho việc giám sát quá trình gia công bằng công cụ machine learning mà nhóm tác giả sẽ làm trong thời gian tới với đa dữ liệu đầu vào: lực cắt, gia tốc và âm thanh, hình ảnh ... tất cả các dữ liệu này sẽ được biến đổi thành hình ảnh phổ tần số và cùng đưa vào mô hình CNN. Khi đó mô hình dữ liệu sẽ mang tính đặc trưng hơn và mô hình sẽ đưa ra quyết định chính xác hơn.

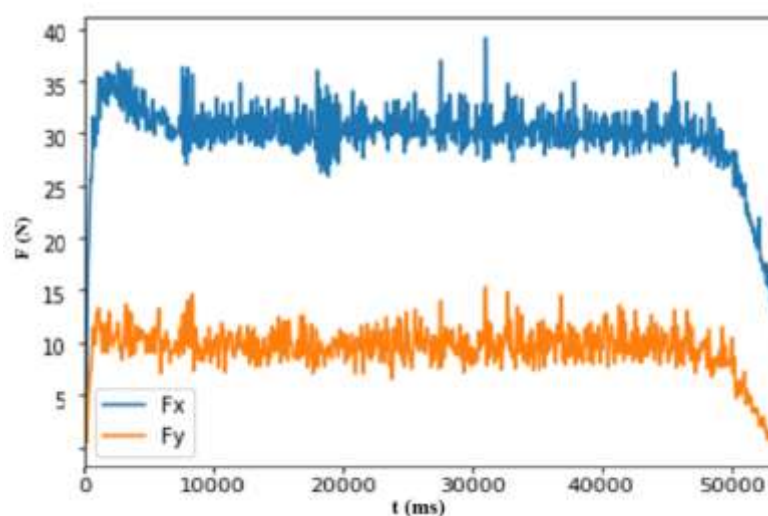
### 5.3. Bài toán dự đoán giá trị lực theo thời gian

Khi gia công tiện, lực cắt thường không ổn định mà luôn thay đổi theo thời gian. Sự thay đổi này phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, trong đó có sự thay đổi do yếu tố ngẫu nhiên và yếu tố mang tính hệ thống. Trong phần này nghiên cứu ứng dụng công cụ máy học với mô hình RNN và LSTM, với mục đích dựa vào lịch sử dữ liệu lực cắt để dự đoán lực trong tương lai. Dữ liệu lực cắt dự đoán này sẽ mang những đặc trưng nhất của lực tương ứng với hệ thống công nghệ. Dữ liệu dự đoán này sẽ được trích xuất ra các đại lượng đặc trưng như giá trị trung bình, phân tích các miền tần số khác nhau để làm cơ sở so sánh, phương án tác động ngoại lực cường bức ở chương 6.

#### 5.3.1. Mô hình bài toán chuỗi thời gian với dữ liệu mô phỏng

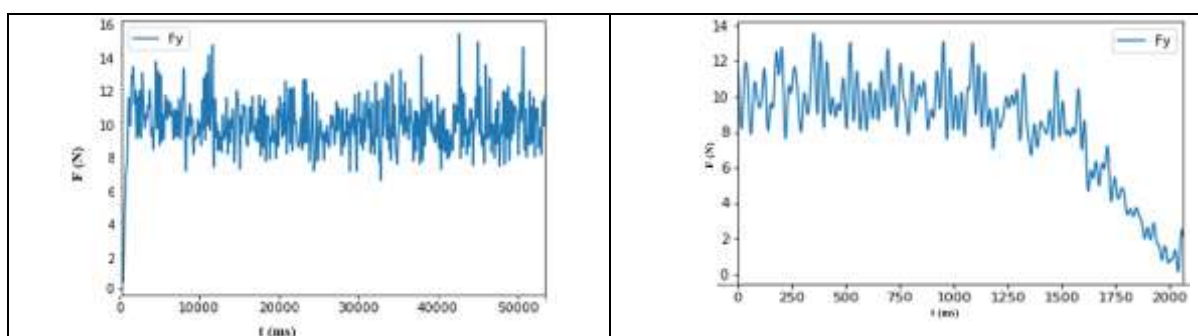
Công cụ tác giả sử dụng mô hình Recurent Network cho bài toán đánh giá lực cắt theo thời gian. Kết quả 50000 điểm dữ liệu lực cắt theo thời gian.

Dữ liệu về lực cắt mô phỏng theo thời gian (hình 5.25)



**Hình 5.25:** Biểu đồ mô phỏng lực cắt theo thời gian

Chia dữ liệu thành 2 nhóm: dữ liệu huấn luyện học mô hình và dữ liệu kiểm tra mô hình (hình 5.26). Sau khi đã chuẩn bị và tiền xử lý dữ liệu chuỗi thời gian, một bước quan trọng trong quá trình phân tích là chia dữ liệu thành hai nhóm: dữ liệu huấn luyện mô hình và dữ liệu kiểm tra mô hình. Mục đích chia dữ liệu này là để đào tạo mô hình trên một phần dữ liệu và kiểm tra hiệu suất của mô hình trên một phần dữ liệu độc lập. Bằng cách làm như vậy, có thể đánh giá khả năng dự đoán của mô hình trên dữ liệu chưa từng thấy, đánh giá khả năng tổng quát hóa và tránh tình trạng quá khớp (overfitting). Thông thường, dữ liệu chuỗi thời gian được chia theo thứ tự thời gian, với một phần trên cùng được sử dụng làm dữ liệu huấn luyện và phần còn lại là dữ liệu kiểm tra. Điều này giúp đảm bảo rằng mô hình chỉ được huấn luyện trên dữ liệu có sẵn trước thời điểm dự đoán và không "nhìn thấy" tương lai.

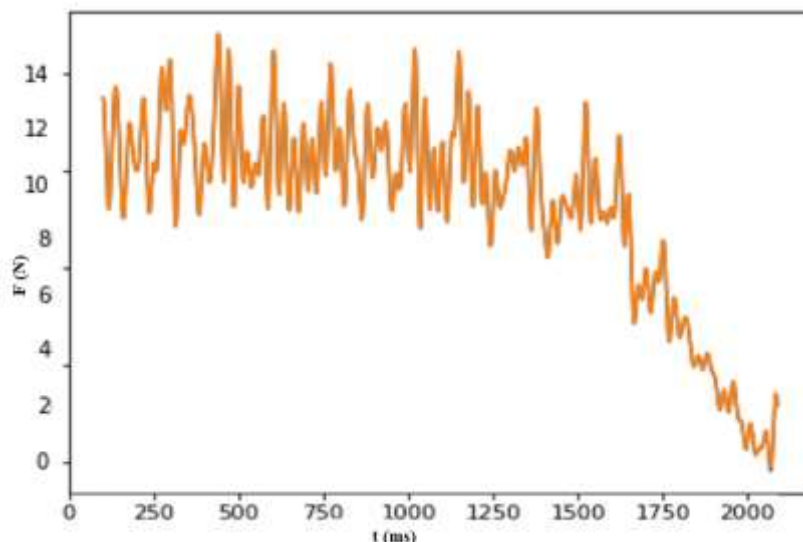


**Hình 5.26:** Dữ liệu học và dữ liệu kiểm tra mô hình

Kết quả khi áp dụng học máy với mô hình Fully connected (hình 5.27). Mô hình Fully Connected đã đạt được kết quả tương đối tốt trong việc dự đoán chuỗi thời gian. Qua quá trình huấn luyện, mô hình đã học được một số mẫu và xu hướng từ dữ liệu huấn luyện, và từ đó áp dụng để dự đoán giá trị trong tương lai trên dữ liệu kiểm tra. Một nhược điểm tiềm năng của mô hình Fully Connected là khả năng bị overfitting. Nếu mô hình quá phức tạp hoặc kích thước mạng quá lớn so với lượng dữ liệu huấn luyện có sẵn, mô hình có thể học quá mức từ dữ liệu huấn luyện và không thể tổng quát hóa đúng trên dữ liệu mới. Điều này có thể yêu cầu điều chỉnh các tham số và cấu trúc mô hình để giảm overfitting và cải thiện khả năng tổng quát hóa. Để cải thiện hiệu suất và khả năng dự đoán của mô hình trên dữ liệu

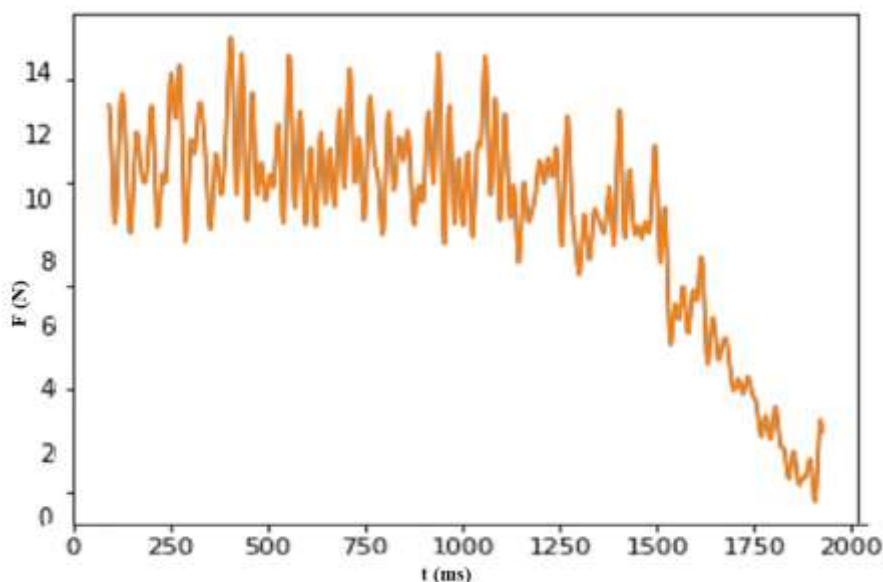


chuỗi thời gian, có thể xem xét sử dụng các mô hình khác như RNNs, LSTM. Những mô hình này được thiết kế đặc biệt để xử lý dữ liệu chuỗi thời gian và có khả năng học được các mối quan hệ dài hạn và phụ thuộc vào lịch sử, có thể cung cấp kết quả tốt hơn cho các bài toán phân tích chuỗi thời gian phức tạp.

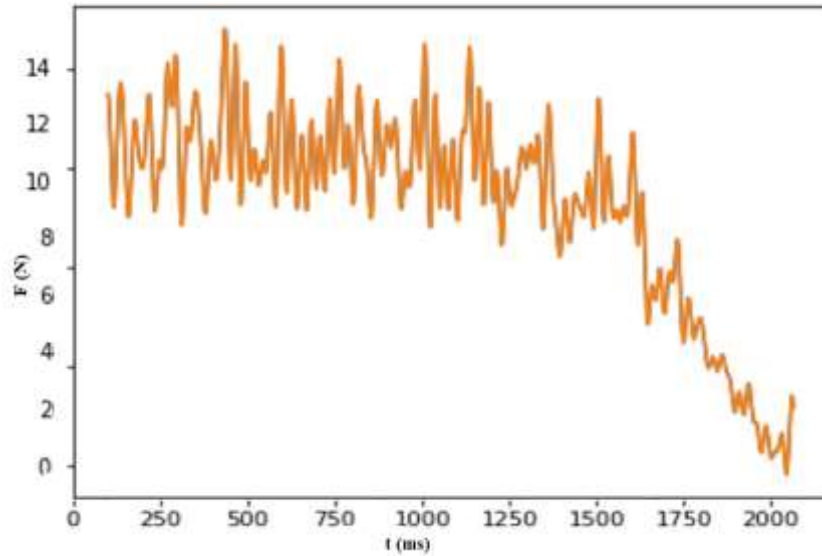


**Hình 5.27:** So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình kết nối đầy đủ

Kết quả khi chạy machine learning với mô hình recurrent (hình 5.28)



**Hình 5.28:** So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình Recurrent  
Kết quả khi chạy machine learning với mô hình LSTM (hình 5.29)

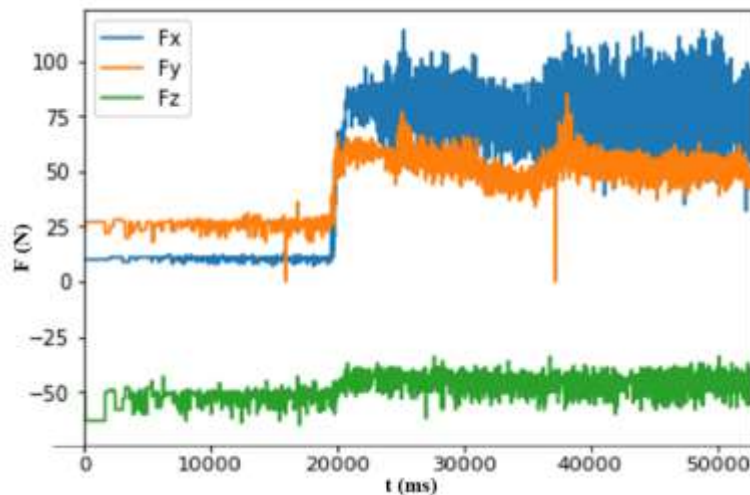


**Hình 5.29:** So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình LSTM

### 5.3.2. Mô hình bài toán chuỗi thời gian với dữ liệu thực nghiệm

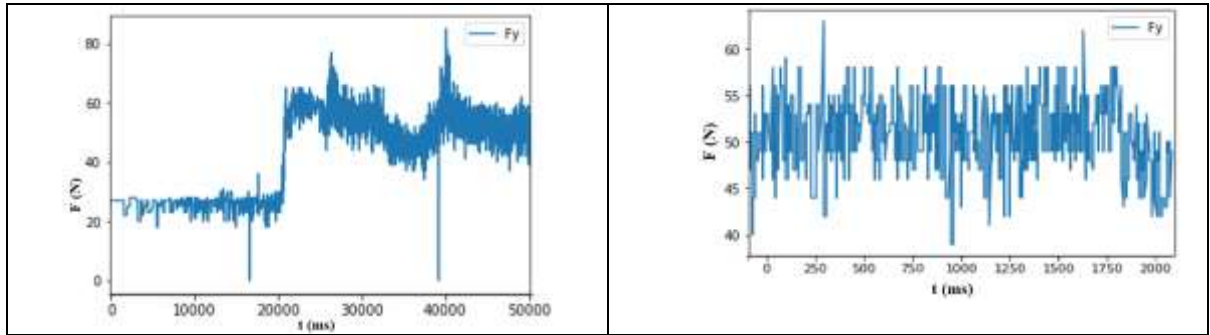
Công cụ tác giả sử dụng mô hình Recurent Network cho bài toán đánh giá lực cắt theo thời gian. Lực cắt được mô phỏng ở hai mô hình cắt gọt với hệ số đàn hồi  $K_x$ . Vật liệu cắt Al\_T6061 với chiều sâu cắt  $t = 0.25$  mm. Với kết quả 50000 điểm dữ liệu lực cắt theo thời gian (hình 5.30).

Dữ liệu về lực cắt mô phỏng theo thời gian



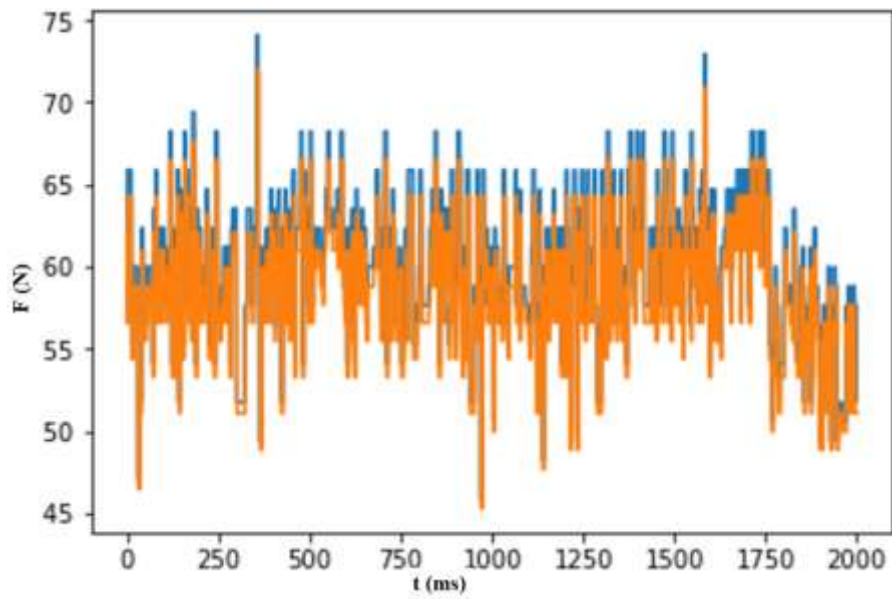
**Hình 5.30:** Dữ liệu thực nghiệm đo lực cắt theo thời gian

Chia dữ liệu thành 2 nhóm: dữ liệu huấn luyện học mô hình và dữ liệu kiểm tra mô hình (hình 5.31), với tỷ lệ 80% dữ liệu thuộc tập huấn luyện và 10% thuộc tập hiệu chuẩn và 10% thuộc tập kiểm tra.



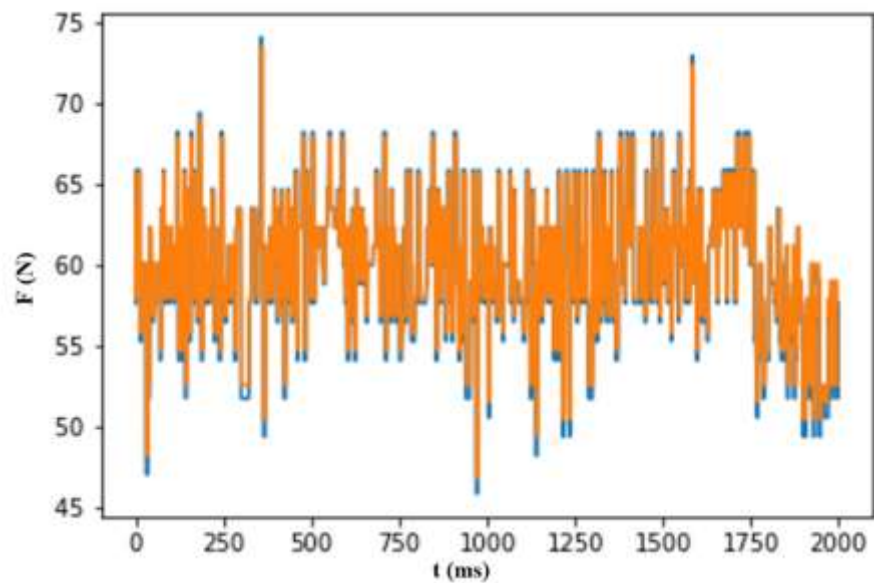
**Hình 5.31:** Nhóm dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra

Kết quả khi chạy machine learning với mô hình Fully connected hình 5.32

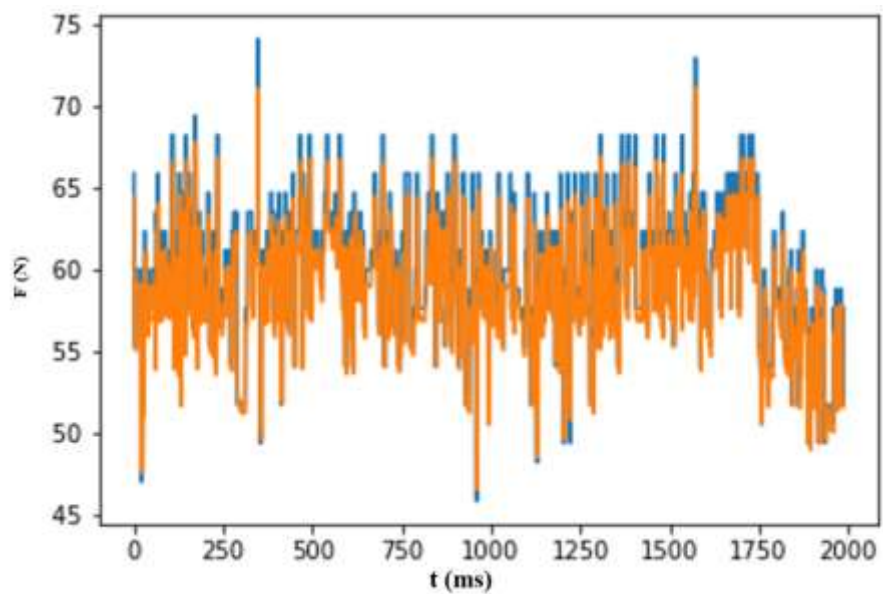


**Hình 5.32:** So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình kết nối đầy đủ

Kết quả khi chạy machine learning với mô hình RNNs (hình 5.33).



**Hình 5.33:** So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình Recurrent  
 Kết quả khi chạy machine learning với mô hình LSTM (hình 5.34)



**Hình 5.34:** So sánh dữ liệu dự đoán và dữ liệu kiểm tra với mô hình LSTM

Kết luận: với mô hình giải bài toán theo chuỗi thời gian dữ liệu dự đoán gần như hoàn toàn khớp với dữ liệu kiểm tra. Nguyên nhân có thể do dữ liệu thu thập được thông qua thực nghiệm có thể được mô hình gần chính xác thông qua thuật toán học máy sự sai khác do yếu tố nhiễu và các tác động bên ngoài.

#### **5.4. Đánh giá kết quả nội dung ứng dụng máy học để nhận diện và dự đoán rung động**

Hiện tượng rung động là hiện tượng rất phức tạp, chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố và thay đổi liên tục về đặc tính theo thời gian. Vì vậy việc nắm bắt quy luật và trích xuất đặc trưng cũng như phát hiện rung động để có biện pháp xử lý kịp thời là điều rất cấp thiết. Kết quả chương 5 này là sự thành công trong việc ứng dụng công cụ máy học trong việc học các đặc trưng của hệ thống thông qua lực cắt, dự đoán lực cắt và phát hiện ra sự cố rung động trong quá trình tiện thông qua các dữ liệu âm thanh và hình ảnh trong lúc gia công. Đây chính là cơ sở để sử dụng biện pháp hạn chế rung động bằng ngoại lực khi có hiện tượng rung động xảy ra được nghiên cứu ở chương 6.

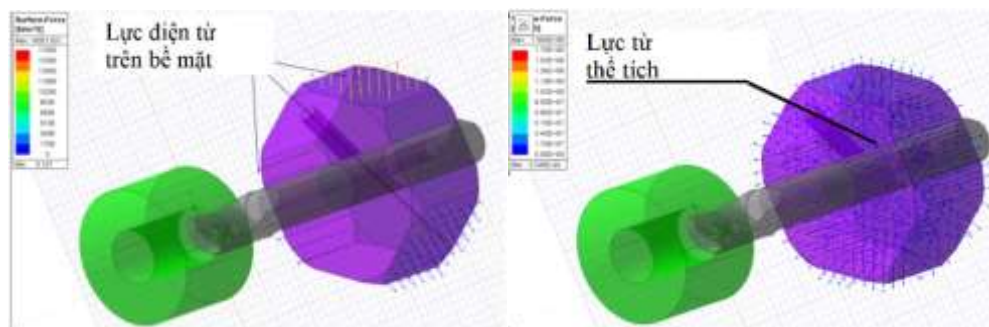
## CHƯƠNG 6

# NGHIÊN CỨU GIẢM RUNG TÍCH CỰC BẰNG NGOẠI LỰC CƯỜNG BỨC

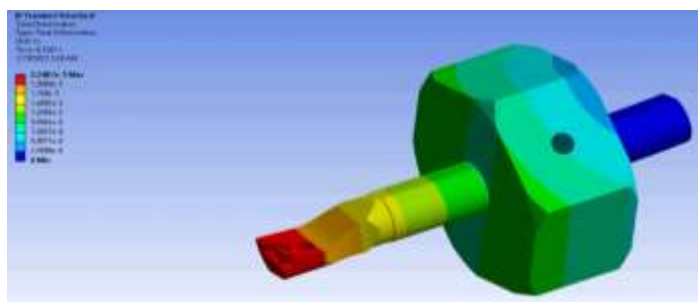
Trong chương này trình bày kết quả thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của lực từ cường bức đến mục đích giảm rung trong quá trình tiện. Qua đó, đánh giá phương pháp gia công tiện dưới tác động của lực từ trường hợp lý sẽ là giải pháp mang lại hiệu quả cao trong việc giảm rung động và đạt được chất lượng bề mặt chi tiết gia công tốt nhất.

### 6.1. Mô phỏng biến dạng cán dao dưới tác dụng của lực từ trường

Kết quả nghiên cứu đã mô phỏng được lực từ trường tác động lên cán dao phụ thuộc vào khoảng cách giữa cán dao và nam châm và phụ thuộc vào cường độ dòng điện đi qua nam châm (hình 6.1 và 6.2).



**Hình 6.1:** Lực từ khối và lực từ mặt tác dụng lên khối lực giác



**Hình 6.2:** Chuyển vị cán dao dưới tác dụng của lực từ

**Bảng 6.1:** Chuyển vị của dao tiện khi đặt lực từ  $F_{1m}$ 

STT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{1m}$ (N)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta_y(\mu m)$	3.3	6.2	9.4	12.6	15.5	18.7	22.1	24.8	30.6	31.6

**Bảng 6.2:** Chuyển vị của dao tiện khi đặt lực từ  $F_{2m}$ 

STT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{2m}$ (N)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\Delta_x(\mu m)$	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0	4.7	5.6	6.3	7.8	8.11
$\Delta_y(\mu m)$	1.3	2.6	3.9	5.2	6.6	7.7	9.2	10.1	12.5	12.9

Dựa vào bảng 6.1 và 6.2 kết luận khi cán dao dao động do lực cắt thay đổi thì vị trí tương đối hay khoảng cách từ cán dao đến bề mặt nam châm thay đổi từ 20-80  $\mu m$ . Với sự thay đổi này thì lực nam châm thay đổi không đáng kể

## 6.2. Kết quả thí nghiệm

**Hình 6.3:** Các mẫu thí nghiệm

Sau khi có được đặc điểm của lực từ trường tác động lên cán dao. Nghiên cứu kết luận rằng có thể thay đổi được đặc điểm dao động của cán dao dưới tác động của lực từ trường bằng cách thay đổi cường độ dòng điện theo thời gian với mục đích là sử dụng lực từ trường như là ngoại lực tác động nhằm giảm sự thay đổi của lực cắt và giảm dao động của cán dao. Thực nghiệm khảo sát ảnh hưởng của từ lực từ từ giá đỡ từ trường đến quá trình rung động và chất lượng bề mặt chi tiết gia công (hình 6.3). Kết quả các trường hợp gia công tiện khi có lực từ sẽ được so sánh và đánh giá so với trường hợp khi gia công không có lực từ mẫu đối chứng (mẫu đối chứng đo được trong thí nghiệm  $Ra = 2.846 (\mu m)$  tương ứng  $Rz = 15.444 (\mu m)$ ).

### 6.2.1. Trường hợp tác động một lực theo phương cắt chính

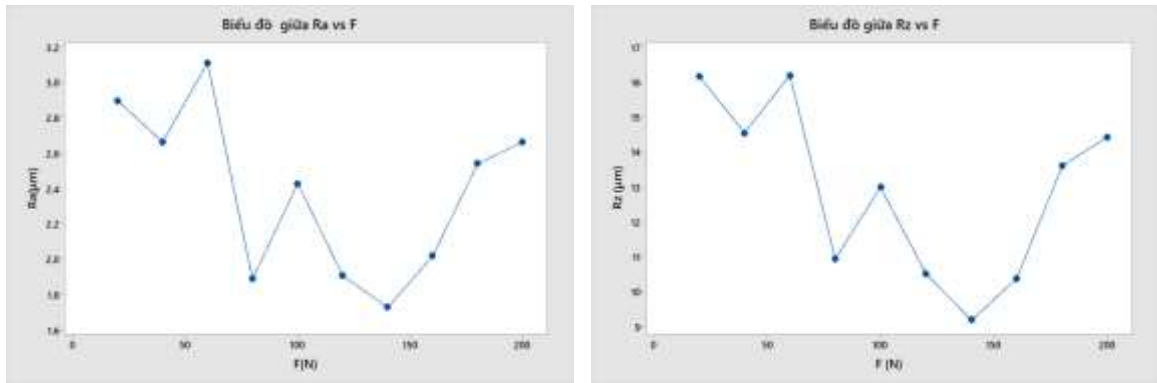
Thí nghiệm nghiên cứu tác động của lực cưỡng bức từ đến sự rung động của dao trong quá trình tiện, nghiên cứu thu được bảng 6.3.

**Bảng 6.3:** Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH1

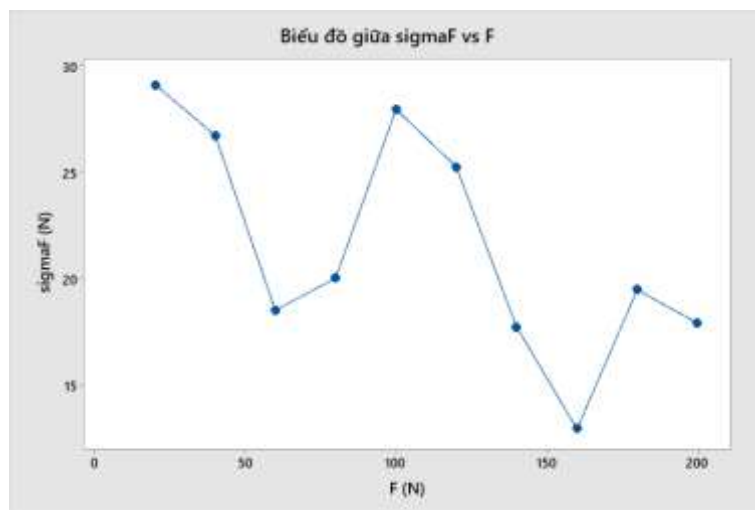
STT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{1m}$ (N)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\sigma_{F_c}$ (N)	29.1	26.7	18.5	20.0	27.9	25.2	17.7	12.9	19.5	29.1
a (m/s <sup>2</sup> )	98.6	96.6	95.1	91.3	92.1	91.3	90	93.4	96.2	98.6
Ra( $\mu$ m)	2.8	2.6	3.1	1.8	2.4	1.9	1.7	2.0	2.5	2.8
Rz ( $\mu$ m)	16.1	14.5	16.1	10.9	13	10.5	9.1	10.3	13.6	16.1

Biểu đồ biểu diễn mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt và lực từ cưỡng bức được thể hiện trên hình 6.4. Trên biểu đồ, trục x thể hiện lực cưỡng bức từ, trong khi trục y biểu thị giá trị độ nhám bề mặt Ra và Rz. Dựa vào đồ thị ta thấy giai đoạn đầu khi không có lực cưỡng bức từ thì độ nhám bề mặt tương ứng khoản Ra = 3 ( $\mu$ m) tương ứng Rz = 15 ( $\mu$ m). Khi lực cưỡng bức từ tăng dần từ 20 N đến 120 N độ nhám bề mặt có xu hướng giảm xuống, nghĩa là chất lượng bề mặt tăng lên điều này được giải thích do trong quá trình cắt dao dao động tuy nhiên do lực từ có xu hướng kéo dao về vị trí cân bằng nên dao sẽ ít rung hơn và chu kỳ dao động của dao sẽ tắt dần nhanh hơn. Khi lực từ ở  $F_{1m} = 140$  N chất lượng bề mặt ở trường hợp này là tốt nhất tương ứng Ra = 1.7 ( $\mu$ m) hay Rz = 9.1 ( $\mu$ m). Tuy nhiên khi tăng lực từ lên  $F_{1m} > 140$  N thì độ nhám bề mặt có xu hướng tăng lên lại, điều này có thể giải thích là do khi tăng lực từ lớn thì tác dụng của đệm lực từ trường không còn, mà lực từ lúc này có xu hướng cao hơn lực cắt và trở thành lực tác động làm cho hệ dao động hơn. Quy luật này cũng xảy ra tương tự khi khảo sát mối quan hệ giữa lực từ cưỡng bức với độ phân tán lực cắt (hình 6.5) và gia tốc rung (hình 6.6). Đồ thị cũng cho thấy độ phân tán lực cắt và gia tốc rung đạt giá trị nhỏ nhất ở giá trị lực từ  $F_{1m} = 140$  N.

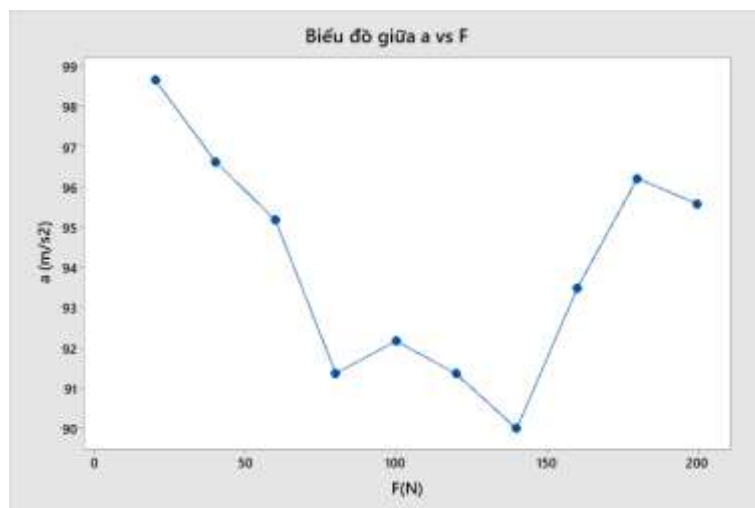




**Hình 6.4:** Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH1



**Hình 6.5:** Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH1



**Hình 6.6:** Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH1

Kết luận chất lượng bề mặt chi tiết đạt tối ưu là  $Ra = 1.7 \mu m$  ;  $Rz = 9.1 \mu m$  tương ứng với lực từ 140 N. Tốt hơn khi chưa có lực từ khoảng 39%

## 6.2.2. Trường hợp tác động 2 lực theo phương

### 6.2.2.1. Tác dụng 2 lực $F_{1m} = 2F_{2m}$

Tương tự trong thí nghiệm 1 thí nghiệm 2 tác giả bố trí lực nam châm theo 2 phương thu được kết quả thí nghiệm được thể hiện trong bảng 6.4

**Bảng 6. 4:** Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH2

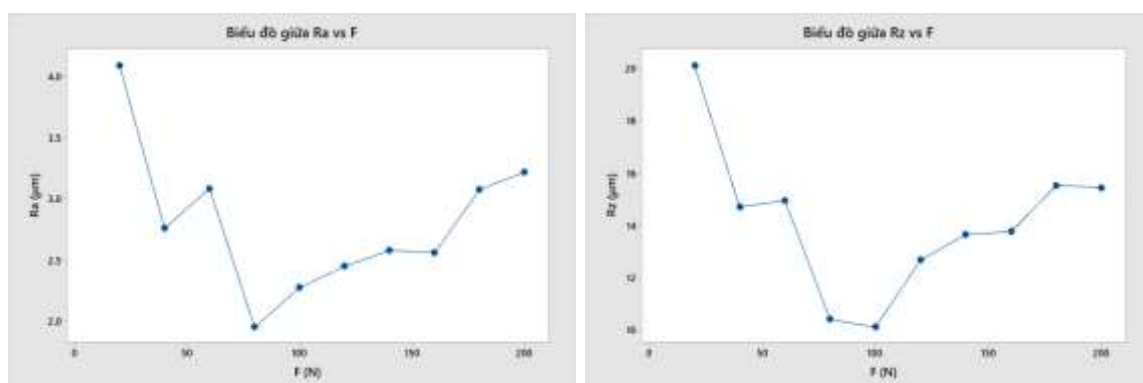
STT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{1m} = 2 * F_{2m}(N)$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\sigma_{F_c}$ (N)	49.55	26.58	39.6	30.22	31.16	20.69	21.7	24.54	23.7	30.84
a (m/s <sup>2</sup> )	102.17	100.8	93.96	86.62	86.16	86.8	89.52	91.98	93.72	93.22
Ra( $\mu m$ )	4.088	2.756	3.082	1.95	2.274	2.446	2.578	2.558	3.074	3.214
Rz ( $\mu m$ )	20.106	14.68	14.93	10.40	10.10	12.67	13.64	13.75	15.52	15.43

Biểu đồ trên hình 6.7 minh họa mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt và lực từ cưỡng bức trong trường hợp tồn tại 2 lực từ cưỡng bức theo 2 phương  $F_{1m}$  và  $F_{2m}$  trong đó  $F_{1m} = 2 * F_{2m}$ . Trục x trên biểu đồ biểu thị lực cưỡng bức từ, trong khi trục y biểu thị giá trị độ nhám bề mặt được đo bằng Ra và Rz. Dựa vào biểu đồ, ta có thể quan sát rằng trong giai đoạn ban đầu khi không có lực cưỡng bức từ, giá trị độ nhám bề mặt tương ứng với Ra = 4  $\mu m$  và Rz = 20  $\mu m$ .

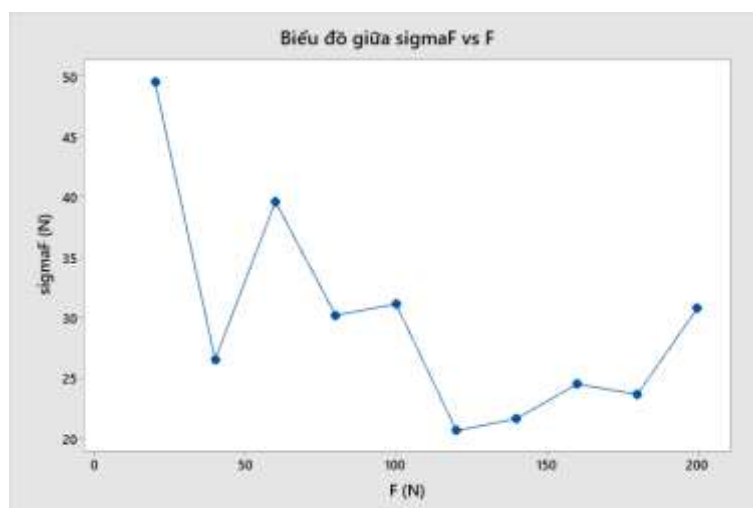
Khi lực cưỡng bức từ tăng từ 20 N đến 80 N, ta thấy độ nhám bề mặt có xu hướng giảm, tức là chất lượng bề mặt tăng lên. Điều này có thể được giải thích bởi sự dao động của dao cắt trong quá trình cắt giảm dần, do lực từ có xu hướng kéo dao về vị trí cân bằng, dao cắt sẽ rung ít hơn và chu kỳ dao động cũng sẽ giảm dần. Khi lực từ đạt mức  $F_{1m} = 100$  N và  $F_{2m} = 50$  N, chất lượng bề mặt đạt đỉnh cao nhất, với giá trị Ra = 1.95  $\mu m$  hoặc Rz = 10.4  $\mu m$ .

Tuy nhiên, khi lực từ tăng lên  $F_{1m} > 100$  N và  $F_{2m} > 50$  N, độ nhám bề mặt có xu hướng tăng trở lại. Điều này có thể được giải thích bởi sự ảnh hưởng của đệm lực từ trường giảm đi và lực từ trở thành lực tác động cao hơn lực cắt, làm tăng sự dao động của hệ thống cắt. Quy luật này cũng tương tự khi xem xét mối quan hệ giữa lực từ cưỡng bức và độ phân tán lực cắt (hình 6.8) cũng như gia tốc rung (hình

6.9). Biểu đồ cũng cho thấy độ phân tán lực cắt và gia tốc rung đạt giá trị nhỏ nhất khi lực từ  $F_{1m} = 100 \text{ N}$  và  $F_{2m} = 50 \text{ N}$ .

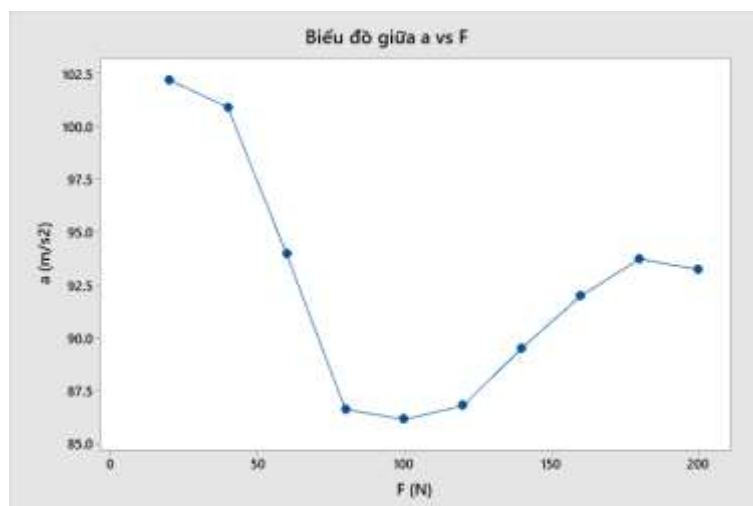


**Hình 6.7:** Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH2



**Hình 6.8:** Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH2

Chất lượng bề mặt chi tiết đạt tối ưu là  $Ra = 1.95 \mu m$  ;  $Rz = 10.4 \mu m$  tương ứng với lực từ  $F_{1m} = 100 \text{ N}$  và  $F_{2m} = 50 \text{ N}$ . Tốt hơn khi chưa có lực từ khoảng 31%. Khi so sánh với trường hợp 1, vẫn tồn tại quy luật, xu hướng chung của 2 trường hợp là khi tăng lực từ cường bức thì chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm sẽ tăng theo tuy nhiên khi lực từ đạt đến giá trị  $F_{mgh}$  thì tác dụng giảm rung của lực từ sẽ giảm dần, chất lượng bề mặt sẽ giảm.



**Hình 6.9:** Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH2

### 6.2.2.2. Tác dụng 2 lực $F_{1m} = F_{2m}$

Nghiên cứu tiến hành thí nghiệm cho trường hợp 3 là trường hợp lực từ được tác dụng theo 2 phương  $F_{1m}$  và  $F_{2m}$  trong đó  $F_{1m} = F_{2m}$  và giá trị lực từ cường bức sẽ tăng từ 20 N đến 200 N. Kết quả sau thí nghiệm giá trị lực cắt được thu thập và tính độ phân tán lực cắt  $\sigma_{F_c}$ , giá trị gia tốc rung và độ nhám bề mặt cũng được thu thập và được thể hiện ở bảng 6.5

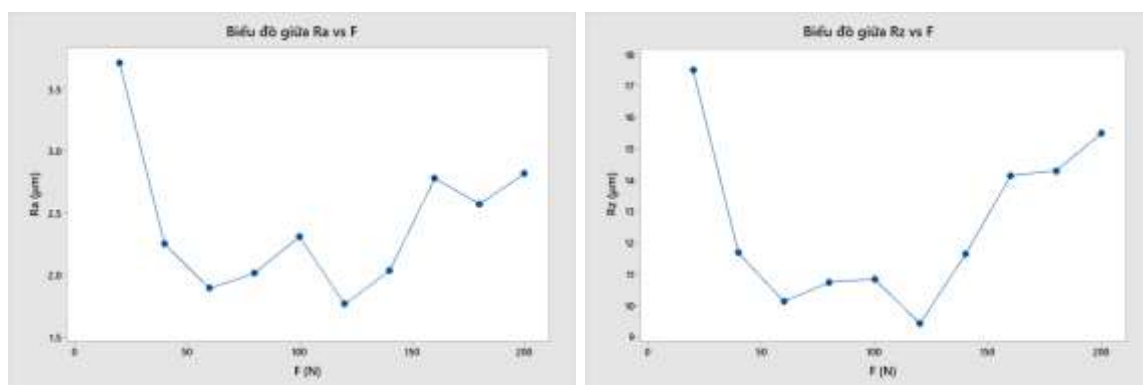
**Bảng 6.5:** Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cường bức từ trong TH3

STT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{1m} = F_{2m}$ (N)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\sigma_{F_c}$ (N)	25.07	31.6	21.74	19.9	19.4	19.2	20.1	21.32	20.24	20.9
a (m/s <sup>2</sup> )	91.85	96.44	92.44	91.7	91.5	87.76	91.34	93.1	94.38	96.06
Ra( $\mu$ m)	3.70	2.25	1.89	2.01	2.30	1.76	2.03	2.77	2.57	2.81
Rz ( $\mu$ m)	17.48	11.67	10.12	10.73	10.83	9.42	11.62	14.12	14.27	15.46

Biểu đồ trên hình 6.10 mô tả mối liên hệ giữa độ nhám bề mặt và lực từ cường bức trong tình huống có hai lực từ cường bức theo phương  $F_{1m}$  và  $F_{2m}$ , với  $F_{1m} = F_{2m}$ . Trục x trên biểu đồ đại diện cho lực từ cường bức, trong khi trục y thể hiện giá trị độ nhám bề mặt được đo bằng Ra và Rz. Dựa trên biểu đồ, ta có thể nhận thấy

rằng ở giai đoạn ban đầu khi không có lực từ cưỡng bức, giá trị độ nhám bề mặt tương ứng với  $R_a$  là  $3.7 \mu\text{m}$  và  $R_z$  là  $17.4 \mu\text{m}$ .

Khi lực từ cưỡng bức tăng từ 20 đến 120, quan sát thấy độ nhám bề mặt có xu hướng giảm, cho thấy chất lượng bề mặt tăng lên. Hiện tượng này có thể giải thích bằng việc dao cắt rung ít hơn và chu kỳ dao động cắt giảm dần trong quá trình cắt, do lực từ có xu hướng kéo dao về vị trí cân bằng. Khi lực từ đạt mức  $F_{1m} = 120 \text{ N}$  và  $F_{2m} = 120 \text{ N}$ , chất lượng bề mặt đạt cao nhất với giá trị  $R_a$  là  $1.7 \mu\text{m}$  hoặc  $R_z$  là  $9.4 \mu\text{m}$ .



**Hình 6.10:** Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH3

Tuy nhiên, khi lực từ tăng lên vượt qua giá trị  $F_{1m} > 120 \text{ N}$  và  $F_{2m} > 120 \text{ N}$ , độ nhám bề mặt có xu hướng tăng trở lại. Hiện tượng này có thể giải thích bằng việc ảnh hưởng của lực từ trường giảm và lực từ trở thành lực tác động lớn hơn lực cắt, làm tăng độ rung của hệ thống cắt. Quy luật này cũng áp dụng khi xem xét mối quan hệ giữa lực từ cưỡng bức và độ phân tán lực cắt (hình 6.11) cũng như gia tốc rung (hình 6.12). Biểu đồ cũng cho thấy độ phân tán lực cắt và gia tốc rung đạt giá trị nhỏ nhất khi lực từ  $F_{1m} = 120 \text{ N}$  và  $F_{2m} = 120 \text{ N}$ .

Chất lượng bề mặt chi tiết đạt tối ưu là  $R_a = 1.3 \mu\text{m}$  ;  $R_z = 9.8 \mu\text{m}$  tương ứng với lực từ 40 N (tương ứng 50% giá trị lực cắt trung bình)

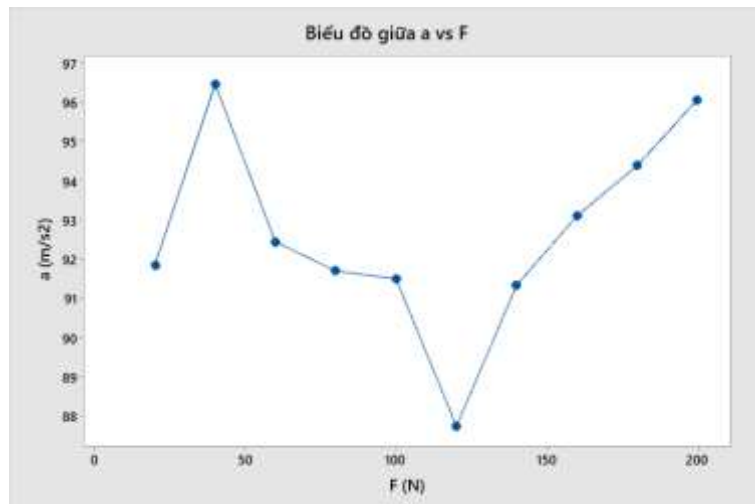
Tốt hơn khi chưa có lực từ khoảng 38%



**Hình 6.11:** Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH3

### 6.2.2.3. Tác dụng 2 lực $F_{2m} = F_{3m}$

Nghiên cứu tiến hành cho trường hợp thứ 4, khi đó lực từ được tác dụng theo 2 phương  $F_{2m} = F_{3m}$ , hai phương này có xu hướng tạo ra lực hướng xuống, cùng hướng với lực cắt chính. Kết quả các giá trị thu được thể hiện trong bảng 6.6



**Hình 6.12:** Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH3

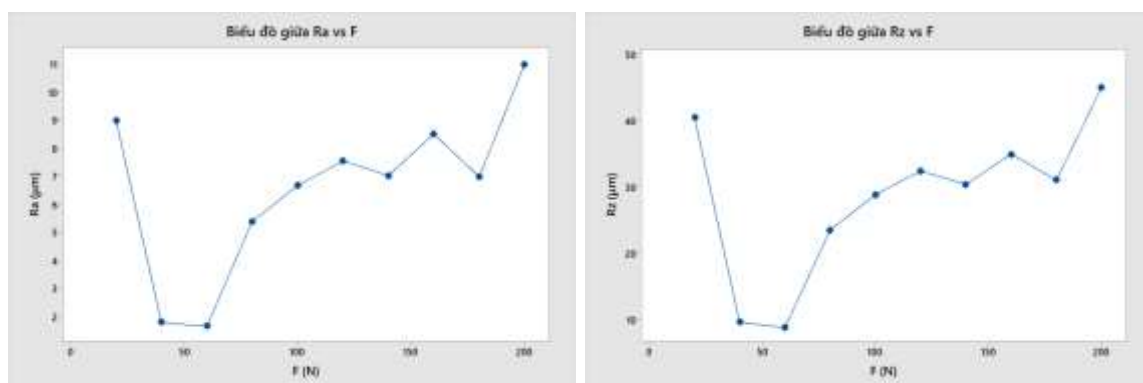
bức trong tình huống có hai lực từ cường bức theo phương  $F_{2m}$  và  $F_{3m}$ , với  $F_{2m} = F_{3m}$ . Trục x trên biểu đồ đại diện cho lực từ cường bức từ 20 N đến 200 N, trong khi trục y thể hiện giá trị độ nhám bề mặt được đo bằng  $R_a$  và  $R_z$ . Dựa vào biểu đồ, ta có thể nhận thấy rằng trong giai đoạn ban đầu khi không có lực từ cường bức, giá trị độ nhám bề mặt tương ứng với  $R_a$  là  $8.9 \mu\text{m}$  và  $R_z$  là  $40.4 \mu\text{m}$ .

**Bảng 6.6:** Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH4

STT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{2m} = F_{3m}$ (N)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\sigma_{F_c}$ (N)	20.37	14.5	20.	12.57	17.88	16.8	21.42	19.22	28.64	34.3
a (m/s <sup>2</sup> )	98.62	82.7	86.4	84.275	94.34	92.6	92.5	94.84	90.7	102.0
Ra( $\mu\text{m}$ )	8.99	1.78	1.65	5.38	6.664	7.534	7.01	8.5	6.97	10.98
Rz( $\mu\text{m}$ )	40.46	9.61	8.82	23.49	28.82	32.38	30.36	34.92	31.01	45.01

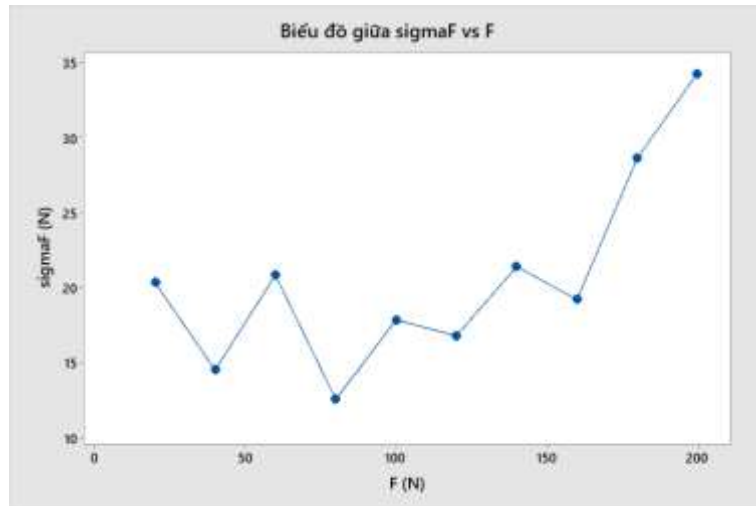
Biểu đồ trên hình 6.13 mô tả mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt và lực từ cưỡng

Khi lực từ cưỡng bức tăng từ 20 đến 60, quan sát thấy độ nhám bề mặt có xu hướng giảm, cho thấy chất lượng bề mặt tăng lên. Hiện tượng này có thể giải thích bằng việc dao cắt rung ít hơn và chu kỳ dao động cắt giảm dần trong quá trình cắt, do lực từ có xu hướng kéo dao về vị trí cân bằng. Khi lực từ đạt mức  $F_{2m} = 60$  N và  $F_{3m} = 60$  N, chất lượng bề mặt đạt cao nhất với giá trị Ra là 1.6  $\mu\text{m}$  hoặc Rz là 8.8  $\mu\text{m}$ .

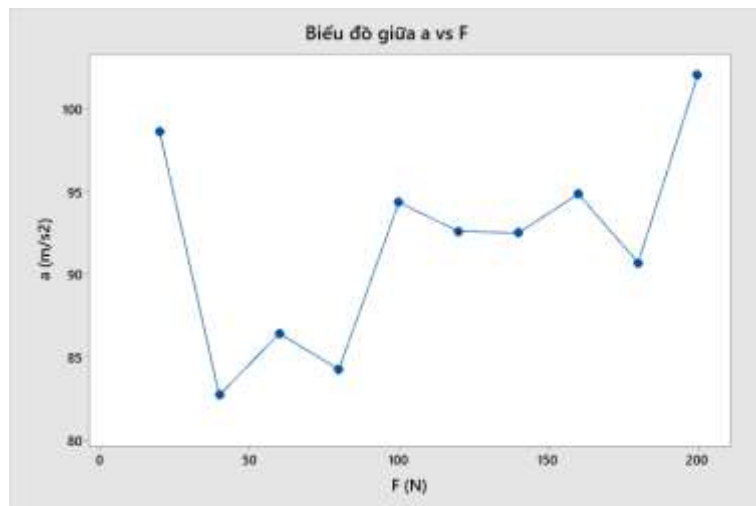


**Hình 6.13:** Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH4

Tuy nhiên, khi lực từ tăng lên vượt qua giá trị  $F_{2m} > 60$  N và  $F_{3m} > 60$  N, độ nhám bề mặt có xu hướng tăng trở lại. Hiện tượng này có thể giải thích bằng việc ảnh hưởng của lực từ trường giảm và lực từ trở thành lực tác động lớn hơn lực cắt, làm tăng độ rung của hệ thống cắt. Quy luật này cũng áp dụng khi xem xét mối quan hệ giữa lực từ cưỡng bức và độ phân tán lực cắt (hình 6.14) cũng như gia tốc rung (hình 6.15). Biểu đồ cũng cho thấy độ phân tán lực cắt và gia tốc rung đạt giá trị nhỏ nhất khi lực từ  $F_{2m} = 60$  N và  $F_{3m} = 60$  N.



**Hình 6.14:** Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH4



**Hình 6.15:** Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH4

Kết luận trong trường hợp 4 chất lượng bề mặt chi tiết đạt tối ưu là  $R_a = 1.6 \mu m$  ;  $R_z = 8.8 \mu m$  tương ứng với lực từ  $F_{2m} = F_{3m} = 60 N$ . Tốt hơn khi chưa có lực từ xấp xỉ khoảng 37%

### 6.2.3. Tác dụng 3 lực theo 3 hướng

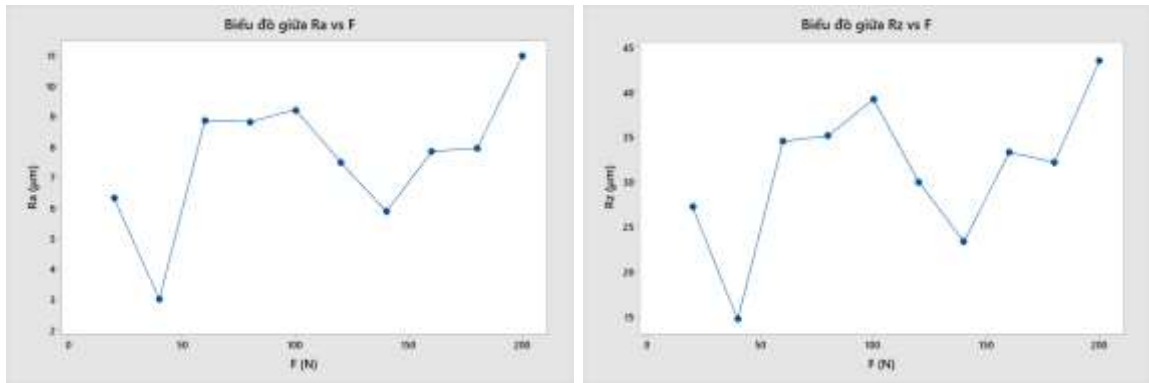
Nghiên cứu thử nghiệm tác dụng cùng lúc cả 3 lực từ cường độ  $F_{1m} = F_{2m} = F_{3m}$  và kết quả được thể hiện trong bảng 6.7.



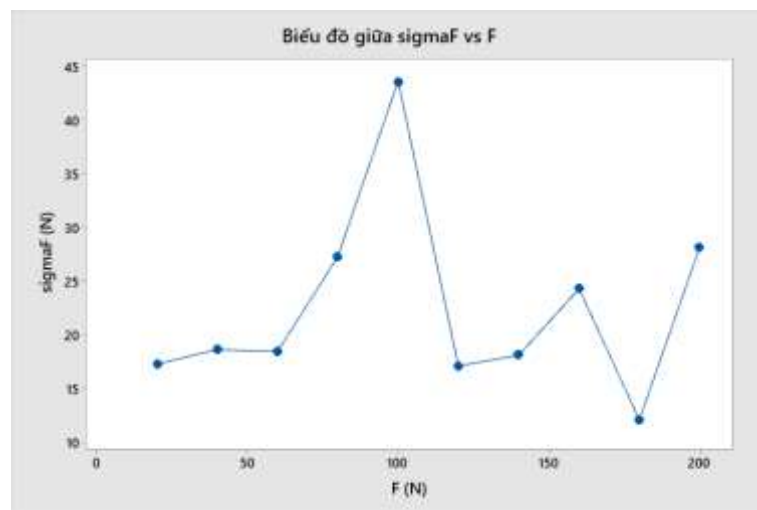
**Bảng 6.7:** Quan hệ giữa nhám bề mặt, lực cắt và gia tốc rung với lực cưỡng bức từ trong TH5

STT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_{1m} = F_{2m} = F_{3m} (N)$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$\sigma_{F_c} (N)$	17.3	18.66	18.46	27.25	43.52	17.138	18.13	24.28	12.14	28.12
$a (m/s^2)$	96	90.9	99.58	101.2	101.92	96.42	90.7	99.38	98.1	100.04
$Ra(\mu m)$	6.31	3.01	8.84	8.814	9.204	7.47	5.87	7.84	7.95	10.96
$Rz(\mu m)$	27.22	14.75	34.48	35.1	39.14	30.00	23.35	33.27	32.17	43.46

Biểu đồ trên hình 6.16 mô tả mối quan hệ giữa độ nhám bề mặt và lực từ cưỡng bức trong tình huống có hai lực từ cưỡng bức theo phương  $F_{1m}$ ,  $F_{2m}$  và  $F_{3m}$ , với  $F_{1m} = F_{2m} = F_{3m}$ . Trục x trên biểu đồ đại diện cho lực từ cưỡng bức từ 20 N đến 200 N, trong khi trục y thể hiện giá trị độ nhám bề mặt được đo bằng Ra và Rz. Dựa vào biểu đồ, ta có thể nhận thấy rằng ở các giá trị lực từ khác nhau thì chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm có xu hướng giảm, các giá trị Ra và Rz có xu hướng tăng nhẹ. Điều này có thể được giải thích khi tác dụng cùng lúc cả 3 lực từ cưỡng bức với giá trị bằng nhau thì cả 3 lực này có xu hướng triệt tiêu nhau nên tổng lực từ bằng 0, chính vì vậy mà tác dụng giảm rung cũng không còn tác dụng. Tương tự đối với độ phân tán lực và gia tốc rung cũng không có xu hướng giảm rung rõ rệt (hình 6.17 và hình 6.18).



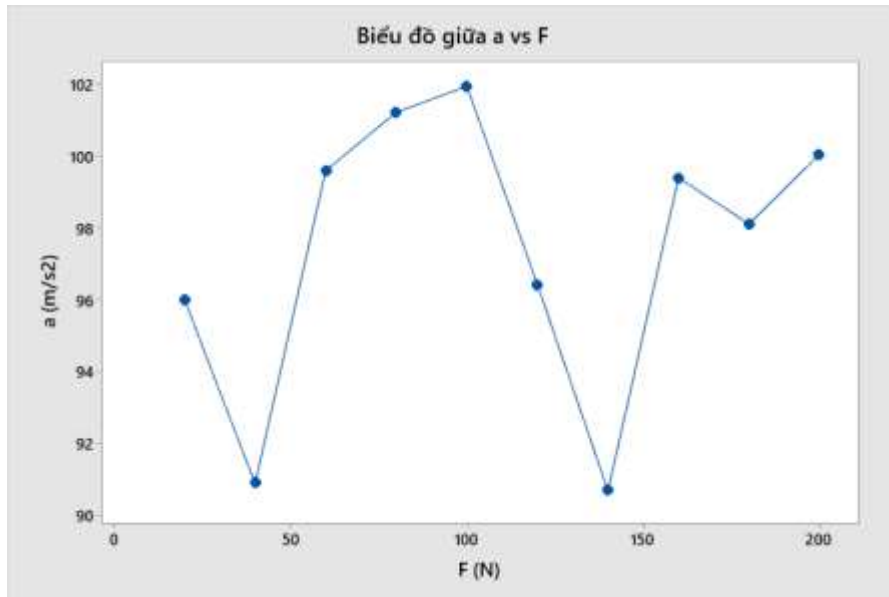
**Hình 6.16:** Quan hệ giữa lực từ và nhám bề mặt TH5



**Hình 6.17:** Quan hệ giữa lực từ và lực cắt TH5

Chất lượng bề mặt chi tiết không tốt hơn trường hợp không có từ trường.

Nghiên cứu đã thử nghiệm tác động của lực từ trường cường bức khi tiện bị dao động. Tác dụng giảm rung rất rõ rệt. Hình 6.19 thể hiện bề mặt chi tiết giai đoạn bị rung và giai đoạn rung nhưng tác động thêm lực cường bức từ trường vào làm chất lượng bề mặt chi tiết tăng lên.



**Hình 6.18:** Quan hệ giữa lực từ và gia tốc TH5



**Hình 6.19:** Chi tiết gia công đang bị rung động và có tác dụng của từ trường

### **6.3. Nhận xét nội dung ứng dụng phương pháp giảm rung tích cực bằng ngoại lực**

Về phần kết quả mô phỏng ảnh hưởng lực từ trường đến ứng xử của cán dao, nghiên cứu đã mô phỏng được môi trường đa vật lý cơ điện từ trường. Với các cường độ dòng điện đi qua cuộn dây cũng như khoảng cách từ nam châm đến cán dao, nghiên cứu đã mô phỏng tính được lực tác dụng lên cán dao và biến dạng của cán dao dưới tác dụng lực từ trường.

Nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm các trường hợp lực từ trường khác nhau tác dụng lên cán dao và đo được lực cắt, gia tốc cũng như chất lượng bề mặt chi tiết

sau khi gia công. Nghiên cứu đã kết luận rằng với mô hình tác dụng lực  $F_{2m} = F_{3m}$  và giá trị lực từ trường 60 N sẽ cho kết quả chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm là tốt nhất.

Khi so sánh ưu điểm của cán dao giảm chấn so với cán dao thường theo kết quả nghiên cứu của Lâm Thanh Bình [78] kết luận: So sánh đánh giá chất lượng gia công ở cùng chế độ cắt trên cán dao bình thường cán dao giảm chấn ở điều kiện gia công công nghiệp khả năng tăng năng suất của cán dao giảm chấn từ 10 – 50 % so với cán dao thường. Với kết quả độ nhám được cải thiện khoảng 37% của nghiên cứu này , có thể kết luận rằng phương án giảm rung bằng từ trường cũng có kết quả tương đương với dao giảm chấn. Tuy nhiên một trong những ưu điểm của lớn nhất của công nghệ giảm rung bằng lực từ trường có thể thay đổi thông số của hệ thống thông qua việc thay đổi điện áp nam châm, việc này sẽ rất hạn chế đối với dao giảm chấn. Ngoài ra ưu điểm hơn cả là hệ thống tích hợp lực từ trường vào cán dao có thể tích hợp cho các cán dao nhỏ (hơn 16mm) , điều này là rất khó khăn với dao giảm chấn.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết luận của luận án

Nghiên cứu đã chỉ ra rằng trong tổng số 4 yếu tố được xem xét, yếu tố độ cứng của cán dao có tác động lớn nhất. Trong mô hình mô phỏng với chiều dài cán dao  $l = 60$  mm, độ biến thiên của lực cắt và chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm Rz đạt giá trị tối ưu. Các thông số như bước tiến dao, vận tốc cắt và sóng bề mặt phiê không thể hiện sự khác biệt rõ ràng trong độ biến thiên của lực cắt và nhấp nhô bề mặt chi tiết thành phẩm. Trong các mô hình machine learning sử dụng để nhận diện rung động, dữ liệu hình ảnh bề mặt chi tiết gia công đã được áp dụng vào mô hình DenseNet với mức độ chính xác lên đến 99%. Các mô hình ResNet và InceptionNet cũng đạt mức độ chính xác 97%. Khi áp dụng dữ liệu âm thanh để phân loại, mô hình DenseNet vẫn đạt tỷ lệ chính xác cao nhất là 92%, tiếp đó là mô hình CNN với tỷ lệ chính xác là 79%. Tuy nhiên, khi kết hợp cả hai dữ liệu hình ảnh và âm thanh bằng cách ghép hai ảnh và thực hiện nhận diện, mô hình CNN đã đạt tỷ lệ chính xác là 97%, vượt trội hơn so với mô hình DenseNet chỉ đạt 91%. Nghiên cứu cũng đã phát triển một mô hình sử dụng hai đầu vào dữ liệu, và kết quả đạt tỷ lệ chính xác là 98%. Mặc dù tỷ lệ chính xác của mô hình hai đầu vào thấp hơn so với mô hình sử dụng một loại dữ liệu, nhưng mô hình kết hợp và mô hình hai đầu vào đã được đánh giá cao hơn do mang tính đặc trưng của quá trình.

Khi mô phỏng tác động của lực từ trường lên ứng xử của cán dao, mô phỏng bao gồm môi trường đa vật lý, trong đó nghiên cứu đã xem xét cường độ dòng điện đi qua cuộn dây và khoảng cách từ nam châm đến cán dao. Kết quả mô phỏng cho thấy sự tác động của lực từ trường lên cán dao, cũng như biến dạng của cán dao dưới tác động của lực từ trường. Nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm với các trường hợp khác nhau về lực từ trường tác động lên cán dao. Kết quả thực nghiệm đã ghi nhận lực cắt, gia tốc và chất lượng bề mặt chi tiết sau khi gia công. Dựa trên những kết quả này, nghiên cứu đã rút ra kết luận rằng trong mô hình, lực tác động từ trường có giá trị  $F_{2m} = F_{3m}$  và lực từ trường có giá trị 60 N sẽ cho ra kết quả chất lượng bề mặt chi tiết thành phẩm tốt nhất.

Trong kết quả về mô phỏng quá trình cắt gọt trong tiện trong luận án này, cho thấy lực cắt biến đổi theo thời gian và sự biến đổi này rất nhạy cảm đối với các thay đổi trong thông số đầu vào của mô hình mô phỏng. Trong mô hình các thông số đặc trưng như vận tốc cắt, chiều sâu cắt và bước tiến dao được giả định là hằng số không thay đổi. Bên cạnh đó, các thông số liên quan đến vật liệu và các hệ số đặc trưng của mô hình vật liệu cũng là hằng số tham khảo từ các nghiên cứu khác. Nên khi so sánh kết quả lực cắt thay đổi theo thời gian theo mô phỏng và thực nghiệm có sự khác biệt, tương tự kết quả độ nhám bề mặt gia công. Nên việc sử dụng kết quả mô phỏng lực cắt để đưa vào bộ tác động lực cưỡng bức là không hợp lý. Do đó, để đạt được sự tương đồng giữa kết quả mô phỏng lực cắt và kết quả biến dạng bề mặt sản phẩm so với dữ liệu thực nghiệm, việc điều chỉnh các thông số mô hình một cách hợp lý là điều cần thiết. Tuy nhiên, điều này tốn nhiều công sức và chi phí hơn là phương pháp thu thập dữ liệu lực cắt từ mô hình thực tế. Khi đó thông lực cắt và gia tốc sẽ đặc trưng cho hệ thống công nghệ hiện có chính xác hơn.

Nghiên cứu đã đề xuất phương pháp mới trong việc kiểm soát rung động chủ động Magnetic Rest Active Control (MRAC) dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) đã được tạo ra. Hệ thống MRAC mới này có khả năng xác định nhận diện hiện tượng rung động và dự đoán giá trị lực cắt mang đặc trưng của rung động hệ thống công nghệ máy, dao, phôi và đồ gá. Trong quy trình gia công những chi tiết đầu tiên hệ thống sẽ học được những đặc trưng về rung động, những đặc trưng về kết cấu của hệ thống. Trong những vòng điều khiển sau đó, các đặc trưng rung động và đặc điểm rung động được kiểm soát và điều chỉnh dưới tác động của lực từ trường. Về nguyên tắc, nếu ANN có thể được huấn luyện để đáp ứng đủ các tần số và biên độ, thì sau một số lượng đủ lớn các chu kỳ điều khiển, phần lớn rung động ban đầu sẽ bị loại bỏ. ANN có thể tự động được huấn luyện để thích ứng với độ trễ thời gian trong trường hợp có sự thay đổi trong hệ thống. Được kiểm chứng thông qua thực nghiệm, hệ thống MRAC này cho thấy tính hiệu quả, thời gian thực, khả năng thích ứng, độ bền và tính dễ triển khai.

Khi hệ thống này được áp dụng vào quá trình gia công sẽ mang lại rất nhiều ưu điểm và lợi ích hơn các hệ thống khác trước đây. Bởi vì hệ thống này không thay đổi hệ thống công nghệ và quy trình thông số công nghệ. Nghĩa là để giảm rung phương pháp này không cần thay đổi dao, độ cứng vững cán dao, cách gá đặt chi tiết ... để đưa vùng gia công về vùng ổn định. Phương pháp này cũng không cần cải tạo lại cán dao cũng như cải tạo lại hệ thống điều khiển của máy. Với ưu điểm này sẽ không làm hiệu suất máy và năng suất gia công bị giảm.

Trái ngược với nhiều phương pháp khác khi cần thay đổi hệ thống công nghệ máy, dao, phôi và đồ gá thì các thông số cần được điều chỉnh lại cho phù hợp với hệ thống mới. Đặc biệt hệ thống được thiết kế trong nghiên cứu này hoạt động trực tuyến, thích ứng, tự điều chỉnh và tự học lại khi có sự thay đổi hệ thống gia công.

Một số phương pháp kiểm soát rung chủ động sử dụng kết hợp giữa kiến trúc và giải thuật thích ứng tuyến tính, không thể xử lý các tính năng phi tuyến, trong khi phương pháp đề xuất sử dụng các mạng nơ-ron nhân tạo (ANN) có khả năng cao hơn. Ngoài ra, so với một số phương pháp điều khiển chủ động dựa trên ANN, phương pháp đề xuất này có thể xử lý độ trễ thời gian và triển khai dễ dàng hơn.

Phương pháp này có thể được ứng dụng trong các hệ thống gia công tự động, khi máy móc hoạt động mà không cần thêm nhân công trong việc giám sát hoạt động của máy.

## **2. Tính mới của luận án**

Đầu tiên, luận án đã sử dụng phương pháp tính toán số, cụ thể là phương pháp phần tử hữu hạn, để mô phỏng bài toán gia công cắt gọt. Các vấn đề liên quan đến mô hình phần tử, biến dạng đàn hồi, biến dạng dẻo và điều kiện biên đã được đưa ra chi tiết trong nội dung này. Nổi bật trong nội dung này là việc mô phỏng quá trình cắt gọt với mô hình phôi biến dạng đàn hồi và cán dao biến dạng đàn hồi. Từ đó, nghiên cứu đã xác định được thông số độ nhám bề mặt của chi tiết thành phẩm và đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố như chế độ cắt, nhấp nhô phôi, độ cứng cán dao, và đặc tính rung động đến chất lượng bề mặt chi tiết gia công trong cả hai mô hình mô phỏng 2D và 3D. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng áp dụng mô hình Taguchi và

Neuron Network để tối ưu hóa thông số công nghệ và giải quyết bài toán hồi quy nhằm dự đoán chất lượng bề mặt chi tiết gia công dựa trên các thông số công nghệ khác nhau. Nhờ áp dụng các phương pháp này, luận án đã tìm ra quy luật ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến chất lượng bề mặt sản phẩm, đồng thời đưa ra các giải pháp tối ưu cho quá trình gia công cắt gọt.

Thứ hai, luận án đã thành công trong việc áp dụng công cụ học máy, một phương tiện phổ biến hiện nay, để phát hiện hiện tượng rung động dựa trên các dữ liệu thu thập được trong quá trình tiện. Bằng cách sử dụng dữ liệu hình ảnh bề mặt chi tiết thành phẩm và dữ liệu âm thanh thu được, các mô hình như VGG16, DenseNet, InceptionNet và ResNet đã được áp dụng để xác định sự xuất hiện của hiện tượng rung động bất thường. Ngoài ra, luận án cũng đã tích hợp mô hình CNN với nhiều dữ liệu đầu vào, giúp nhận diện đặc điểm rung động của quá trình bằng cách kết hợp khả năng nhìn (dữ liệu hình ảnh chi tiết gia công) và khả năng nghe (dữ liệu âm thanh thu thập được trong quá trình tiện). Nhờ đó, đặc tính rung động của hệ thống trong quá trình gia công đã được xác định một cách chính xác.

Thứ ba, luận án cũng đã thành công trong việc áp dụng các thuật toán dự đoán trong bài toán chuỗi thời gian để dự đoán giá trị lực cắt. Đặc biệt, việc sử dụng RNNs và LSTM đã cho phép dự đoán giá trị lực cắt, thể hiện đặc trưng rung động của hệ thống công nghệ máy dao và đồ gá một cách hiệu quả.

Cuối cùng, luận án cũng đã thành công trong việc thiết kế và chế tạo bộ MRAC sử dụng các nam châm điện một chiều. Kết quả của thuật toán dự đoán lực cắt thông qua máy học có thể được áp dụng vào lực từ trường nam châm để cải thiện hiện tượng rung động trong quá trình tiện. Sự phát triển của bộ điều khiển từ trường này mang lại tiềm năng ứng dụng trong việc giảm rung động ở cán dao khi tiện lỗ với cán dao dài không đủ cứng vững, cũng như khi tiện trụ với kích thước đường kính phôi nhỏ khi phôi không đủ cứng vững.



### 3. Kiến nghị

Về nội dung mô phỏng, bên cạnh việc áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn kết hợp với các kỹ thuật chia lưới cấu trúc, phần tử tứ diện và mô hình phá hủy Johnson-Cook, nghiên cứu tiếp theo có thể được mở rộng bằng cách sử dụng các kỹ thuật phần tử hạt và các mô hình vật liệu khác. Đối với việc nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình rung động thông qua mô phỏng, các nghiên cứu tiếp theo cần phải khảo sát thêm mô hình ảnh hưởng khác như vật liệu gia công, mòn dao, leo dao... Khi tất cả các yếu tố cùng tác động sẽ làm hiện tượng rung động và chất lượng bề mặt của chi tiết sau gia công sẽ bị ảnh hưởng nhiều hơn và phức tạp hơn.

Vấn đề áp dụng trí tuệ nhân tạo vào quy trình gia công là một lĩnh vực cần thiết và hấp dẫn với nhiều tiềm năng. Các mô hình Neuron Network đặc biệt hiệu quả trong việc giải quyết các hiện tượng cơ học phức tạp trong quá trình gia công cắt gọt. Các nghiên cứu sau này có thể kết hợp nhiều tín hiệu đầu vào như dòng điện của động cơ trục chính, lực cắt và gia tốc rung động để tích hợp vào mạng CNN đa dữ liệu và xây dựng cấu trúc mạng phức tạp hơn, chính xác hơn. Bằng cách sử dụng dữ liệu đầu vào đa dạng, các thuật toán hiện đại hơn như phương pháp học không giám sát, học tăng cường... có thể được áp dụng. Học tăng cường cho phép mô hình học máy tự học và điều chỉnh hành vi, chẳng hạn như thay đổi chế độ cắt hoặc điều chỉnh các thông số tác động từ bên ngoài. Nhờ đó, quá trình gia công sẽ trở nên hiệu quả hơn, giúp tạo ra máy công cụ CNC thông minh và chính xác hơn.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] F. Taylor, *On the art of cutting metals*. Transactions of ASME 28 , 1907.
- [2] M. C. Shaw, “The size effect in metal cutting,” *Sadhana*, vol. 28, no. 5, pp. 875–896, 2003, doi: 10.1007/BF02703319.
- [3] Y. Altintas, *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. doi: DOI: 10.1017/CBO9780511843723.
- [4] R. N. Arnold, “Cutting Tools Research: Report of Subcommittee on Carbide Tools: The Mechanism of Tool Vibration in the Cutting of Steel,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 154, no. 1, pp. 261–284, Jun. 1946, doi: 10.1243/PIME\_PROC\_1946\_154\_037\_02.
- [5] S. A. Tobias and W. Fishwick, *The chatter of lathe tools under orthogonal cutting conditions*, vol. 1079–1088. Transactions of ASME 80, 1958.
- [6] J. Tlustý and M. Poláček, “The stability of machine tools against self excited vibrations in machining,” in *Proceedings of the International Research in Production Engineering Conference*, Pittsburgh, PA, ASME, New York, 1963, pp. 465–474.
- [7] H. E. Merritt, “Theory of self-excited machine–tool chatter,” *T. of the A. J. of E. for I.* 87, Ed., Transactions of the ASME Journal of Engineering for Industry 87, 1965, pp. 447–454.
- [8] M. Wiercigroch and E. Budak, “Sources of nonlinearities, chatter generation and suppression in metal cutting,” *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 359, no. 1781, pp. 663–693, 2001, doi: 10.1098/rsta.2000.0750.

- [9] G. Quintana and J. Ciurana, “Chatter in machining processes: A review,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 51, no. 5, pp. 363–376, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2011.01.001>.
- [10] M. Siddhpura and R. Paurobally, “A review of chatter vibration research in turning,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 61, pp. 27–47, 2012, doi: [10.1016/j.ijmachtools.2012.05.007](https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2012.05.007).
- [11] M. K. Das and S. A. Tobias, “The relation between the static and the dynamic cutting of metals,” *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 7, no. 2, pp. 63–89, 1967, doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(67\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0020-7357(67)90026-1).
- [12] J. Tlustý, “Analysis of the State of Research in Cutting Dynamics,” *CIRP Annals*, vol. 27, no. 2, pp. 583–589, 1978.
- [13] M. M. Nigm, “A method for the analysis of machine tool chatter,” *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 21, no. 3, pp. 251–261, 1981, doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(81\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0020-7357(81)90022-6).
- [14] J. Qiu and R. Ge, “An improved stability lobe and turning chatter characteristic investigation,” *Int J Mech Sci*, vol. 149, pp. 338–348, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.10.006>.
- [15] Z. C. WANG and W. L. CLEGHORN, “Stability analysis of spinning stepped-shaft workpieces in a turning process,” *Journal of Sound and Vibration - J SOUND VIB*, vol. 250, pp. 356–367, Feb. 2002, doi: [10.1006/jsvi.2001.3725](https://doi.org/10.1006/jsvi.2001.3725).
- [16] Y. Altintas, M. Eynian, and H. Onozuka, “Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process damping,” *CIRP Annals*, vol. 57, no. 1, pp. 371–374, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.048>.
- [17] J. Paulo Davim, *Finite Element Method in Manufacturing Processes*. Wiley- ISTE, 2011.

- [18] O. İynen, A. ekşi, H. Akyildiz, and M. Özdemir, “Real 3D turning simulation of materials with cylindrical shapes using ABAQUS/Explicit,” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 43, p. 374, Jul. 2021, doi: 10.1007/s40430-021-03075-5.
- [19] R. Mahdavinejad, “Finite element analysis of machine and workpiece instability in turning,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 45, no. 7, pp. 753–760, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.11.017>.
- [20] T. Altan and E. and Yen, “Modeling of metal cutting using FEM,” *CIRP Workshop on FEM Modeling of Machining Operations*, p. 39, 2003, [Online]. Available: <papers2://publication/uuid/1BF1B4A8-C1D5-40B2-8D4B-BDE5E7AAC27C>
- [21] E. J. A. Armarego and M. N. P. Chen, “Predictive Cutting Models for the Forces and Torque in Machine Tapping with Straight Flute Taps,” *CIRP Ann Manuf Technol*, vol. 51, no. 1, pp. 75–78, 2002, doi: 10.1016/S0007-8506(07)61469-3.
- [22] B. Toubhans, G. Fromentin, F. Viprey, H. Karaouni, and T. Dorlin, “Machinability of inconel 718 during turning: Cutting force model considering tool wear, influence on surface integrity,” *J Mater Process Technol*, vol. 285, p. 116809, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116809>.
- [23] W. A. Knight, “Chatter in turning: Some effects of tool geometry and cutting conditions,” *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 12, no. 3, pp. 201–220, 1972, doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7357\(72\)90021-2](https://doi.org/10.1016/0020-7357(72)90021-2).
- [24] G. U. Pelayo, D. Olvera-Trejo, E. Budak, and M. Wan, “Special Issue on Machining systems and signal processing: Advancing machining processes through algorithms, sensors and devices,” *Mech Syst Signal*

- Process*, vol. 182, p. 109575, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.YMSSP.2022.109575.
- [25] A. Muqeet, A. Israr, M. H. Zafar, M. Mansoor, and N. Akhtar, “A novel optimization algorithm based PID controller design for real-time optimization of cutting depth and surface roughness in finish hard turning processes,” *Results in Engineering*, vol. 18, p. 101142, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.RINENG.2023.101142.
- [26] F. Bleicher, D. Biermann, W.-G. Drossel, H.-C. Moehring, and Y. Altintas, “Sensor and actuator integrated tooling systems,” *CIRP Annals*, vol. 72, no. 2, pp. 673–696, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2023.05.009>.
- [27] S. Heyns, “Tool condition monitoring using vibration measurements - A review,” *Insight*, vol. 49, pp. 447–450, Aug. 2007, doi: 10.1784/insi.2007.49.8.447.
- [28] K. Zhu, Y. S. Wong, and G. S. Hong, “Wavelet analysis of sensor signals for tool condition monitoring: A review and some new results,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 49, no. 7, pp. 537–553, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.02.003>.
- [29] H. Dogan and A. Shokrani, “Investigation of chatter detection with sensor-integrated tool holders based on strain measurement,” *Procedia CIRP*, vol. 117, pp. 157–162, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.028>.
- [30] C. V Biju and M. S. Shunmugam, “Performance of magnetorheological fluid based tunable frequency boring bar in chatter control,” *Measurement*, vol. 140, pp. 407–415, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.03.073>.
- [31] Y. Mohammadi and K. Ahmadi, “Finite-amplitude stability in regenerative chatter: The effect of process damping nonlinearity and

- intermittent cutting in turning,” *J Sound Vib*, vol. 537, p. 117158, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117158>.
- [32] L.-J. Yeh and G.-J. Lai, “A Study of the Monitoring and Suppression System for Turning Slender Workpieces,” *Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf*, vol. 209, no. 3, pp. 227–236, Jun. 1995, doi: [10.1243/PIME\\_PROC\\_1995\\_209\\_077\\_02](https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1995_209_077_02).
- [33] S. C. Lin and M. R. Hu, “Low vibration control system in turning,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 32, no. 5, pp. 629–640, 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(92\)90018-C](https://doi.org/10.1016/0890-6955(92)90018-C).
- [34] M. Thomas and Y. Beauchamp, “Statistical investigation of modal parameters of cutting tools in dry turning,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 43, no. 11, pp. 1093–1106, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00131-7](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00131-7).
- [35] Y. S. Chiou, E. S. Chung, and S. Y. Liang, “Analysis of tool wear effect on chatter stability in turning,” *Int J Mech Sci*, vol. 37, no. 4, pp. 391–404, 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(94\)00070-Z](https://doi.org/10.1016/0020-7403(94)00070-Z).
- [36] I. Grabec and P. Leskovar, “Acoustic emission of a cutting process,” *Ultrasonics*, vol. 15, no. 1, pp. 17–20, 1977, doi: [https://doi.org/10.1016/0041-624X\(77\)90007-5](https://doi.org/10.1016/0041-624X(77)90007-5).
- [37] X. Li, “A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 42, no. 2, pp. 157–165, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(01\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(01)00108-0).
- [38] J. Liu, C. Jiang, X. Yang, and S. Sun, “Review of the Application of Acoustic Emission Technology in Green Manufacturing,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2023, doi: [10.1007/s40684-023-00557-w](https://doi.org/10.1007/s40684-023-00557-w).
- [39] R. Y. Chiou and S. Y. Liang, “Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning,” *Int J Mach Tools Manuf*,

- vol. 40, no. 7, pp. 927–941, 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(99\)00093-0](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(99)00093-0).
- [40] J. H. Lange and N. H. Abu-Zahra, “Tool Chatter Monitoring in Turning Operations Using Wavelet Analysis of Ultrasound Waves,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 248–254, 2002, doi: [10.1007/s001700200149](https://doi.org/10.1007/s001700200149).
- [41] E. Budak and E. Ozlu, “Analytical Modeling of Chatter Stability in Turning and Boring Operations: A Multi-Dimensional Approach,” *CIRP Annals*, vol. 56, no. 1, pp. 401–404, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.05.093>.
- [42] A. V. Dassanayake and C. S. Suh, “On nonlinear cutting response and tool chatter in turning operation,” *Commun Nonlinear Sci Numer Simul*, vol. 13, no. 5, pp. 979–1001, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2006.08.003>.
- [43] S. D. Yu and V. Shah, “Theoretical and Experimental Studies of Chatter in Turning for Uniform and Stepped Workpieces,” *J Vib Acoust*, vol. 130, no. 6, Oct. 2008, doi: [10.1115/1.2948384](https://doi.org/10.1115/1.2948384).
- [44] M. A. U. Patwari, A. K. M. Nurul Amin, W. F. Faris, and M. H. Ishtiyahq, “Investigations of Formation of Chatter in a Non-Wavy Surface during Thread Cutting and Turning Operations,” *Adv Mat Res*, vol. 83–86, pp. 637–645, 2010, doi: [10.4028/www.scientific.net/AMR.83-86.637](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.83-86.637).
- [45] A. Nurulamin, I. Jaafar, P. Patwari, and W. Zubaire, “Role of discrete nature of chip formation and natural vibrations of system components in chatter formation during metal cutting,” *International Islamic University Malaysia Engineering Journal*, vol. 11, May 2010, doi: [10.31436/iiumej.v11i1.53](https://doi.org/10.31436/iiumej.v11i1.53).

- [46] I. N. Tansel, A. Wagiman, and A. Tziranis, "Recognition of chatter with neural networks," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 31, no. 4, pp. 539–552, 1991, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(91\)90035-2](https://doi.org/10.1016/0890-6955(91)90035-2).
- [47] B. Y. Lee, Y. S. Tarng, and S. C. Ma, "Modeling of the process damping force in chatter vibration," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 35, no. 7, pp. 951–962, 1995, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(94\)00046-M](https://doi.org/10.1016/0890-6955(94)00046-M).
- [48] D. E. Dimla, P. M. Lister, and N. J. Leighton, "Neural network solutions to the tool condition monitoring problem in metal cutting—A critical review of methods," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 37, no. 9, pp. 1219–1241, 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(97\)00020-5](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(97)00020-5).
- [49] P. G. Benardos, S. Mosialos, and G.-C. Vosniakos, "Prediction of workpiece elastic deflections under cutting forces in turning," *Robot Comput Integr Manuf*, vol. 22, no. 5, pp. 505–514, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2005.12.009>.
- [50] K. Rama Kotaiah, J. Srinivas, K. J. Babu, and K. Srinivas, "Prediction of Optimal Cutting States during Inward Turning: An Experimental Approach," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 25, no. 6, pp. 432–441, May 2010, doi: 10.1080/10426910903229321.
- [51] J. Chae, S. S. Park, and T. Freiheit, "Investigation of micro-cutting operations," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 46, no. 3, pp. 313–332, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.05.015>.
- [52] C. Zhang, X. Yue, Y. Jiang, and W. Zheng, "A Hybrid Approach of ANN and HMM for Cutting Chatter Monitoring," *Adv Mat Res*, vol. 97–101, pp. 3225–3232, Mar. 2010, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.3225.
- [53] R. X. Du, M. A. Elbestawi, and S. Li, "Tool condition monitoring in turning using fuzzy set theory," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 32, no. 6,



- pp. 781–796, 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(92\)90031-B](https://doi.org/10.1016/0890-6955(92)90031-B).
- [54] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility,” *Fuzzy Sets Syst*, vol. 1, no. 1, pp. 3–28, 1978, doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(78\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5).
- [55] I. N. Tansel, X. Wang, P. Chen, A. Yenilmez, and B. Ozcelik, “Transformations in machining. Part 2. Evaluation of machining quality and detection of chatter in turning by using s-transformation,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 46, no. 1, pp. 43–50, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.04.011>.
- [56] M. Xiao, S. Karube, T. Soutome, and K. Sato, “Analysis of chatter suppression in vibration cutting,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 42, no. 15, pp. 1677–1685, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(02\)00077-9](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(02)00077-9).
- [57] E. Marui, S. Ema, M. Hashimoto, and Y. Wakasawa, “Plate insertion as a means to improve the damping capacity of a cutting tool system,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 38, no. 10, pp. 1209–1220, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(98\)00001-7](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(98)00001-7).
- [58] J. P. Den Hartog, *Mechanical Vibrations*. Dover Pubns, 1985.
- [59] S. A. Tobias, *Machine Tool Vibration*. Blackie and Sons Ltd, Glasgow, 1965.
- [60] E. I. Rivin and H. Kang, “Improvement of machining conditions for slender parts by tuned dynamic stiffness of tool,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 29, no. 3, pp. 361–376, 1989, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(89\)90006-0](https://doi.org/10.1016/0890-6955(89)90006-0).
- [61] Y. S. Tarn, J. Y. Kao, and E. C. Lee, “Chatter suppression in turning operations with a tuned vibration absorber,” *J Mater Process Technol*, vol. 105, no. 1, pp. 55–60, 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00585-9](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00585-9).

- [62] E. C. Lee, C. Y. Nian, and Y. S. Tarn, "Design of a dynamic vibration absorber against vibrations in turning operations," *J Mater Process Technol*, vol. 108, no. 3, pp. 278–285, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00836-0](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00836-0).
- [63] Y. Yang, J. Muñoa, and Y. Altintas, "Optimization of multiple tuned mass dampers to suppress machine tool chatter," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 50, no. 9, pp. 834–842, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2010.04.011>.
- [64] M. Wang, T. Zan, Y. Yang, and R. Fei, "Design and implementation of nonlinear TMD for chatter suppression: An application in turning processes," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 50, no. 5, pp. 474–479, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2010.01.004>.
- [65] Z. Mei, S. Yang, H. Shi, S. Chang, and K. F. Ehmann, "Active chatter suppression by on-line variation of the rake and clearance angles in turning— principles and experimental investigations," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 34, no. 7, pp. 981–990, 1994, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0890-6955(94)90029-9).
- [66] G. R. Frumusanu, I. C. Constantin, V. Marinescu, and A. Epureanu, "Development of a stability intelligent control system for turning," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 64, no. 5, pp. 643–657, 2013, doi: [10.1007/s00170-012-4074-7](https://doi.org/10.1007/s00170-012-4074-7).
- [67] S. Yamato, T. Ito, H. Matsuzaki, J. Fujita, and Y. Kakinuma, "Self-acting optimal design of spindle speed variation for regenerative chatter suppression based on novel analysis of internal process energy behavior," *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 159, p. 103639, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2020.103639>.
- [68] T.-C. Tsao, M. W. McCarthy, and S. G. Kapoor, "A new approach to stability analysis of variable speed machining systems," *Int J Mach*

- Tools Manuf*, vol. 33, no. 6, pp. 791–808, 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(93\)90038-V](https://doi.org/10.1016/0890-6955(93)90038-V).
- [69] Y. S. Liao and Y. C. Young, “A new on-line spindle speed regulation strategy for chatter control,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 36, no. 5, pp. 651–660, 1996, doi: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(95\)00076-3](https://doi.org/10.1016/0890-6955(95)00076-3).
- [70] G. Park, M. T. Bement, D. A. Hartman, R. E. Smith, and C. R. Farrar, “The use of active materials for machining processes: A review,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 47, no. 15, pp. 2189–2206, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2007.06.002>.
- [71] C.-H. Chiou, M.-S. Hong, and K. F. Ehmann, “The feasibility of eigenstructure assignment for machining chatter control,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 43, no. 15, pp. 1603–1620, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00185-8](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00185-8).
- [72] M. K. A. Saleh, A. Ulaslyar, and I. Lazoglu, “Active damping of chatter in the boring process via variable gain sliding mode control of a magnetorheological damper,” *CIRP Annals*, vol. 70, no. 1, pp. 337–340, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.04.039>.
- [73] X. ZHOU *et al.*, “Experimental and modeling study of surface topography generation considering tool-workpiece vibration in high-precision turning,” *Chinese Journal of Aeronautics*, Jan. 2023, doi: [10.1016/j.cja.2022.12.018](https://doi.org/10.1016/j.cja.2022.12.018).
- [74] L. Prabhu, S. Satish Kumar, D. Dinakaran, and R. Jawahar, “Improvement of chatter stability in boring operations with semi active magneto-rheological fluid damper,” *Mater Today Proc*, vol. 33, pp. 420–427, Jan. 2020, doi: [10.1016/J.MATPR.2020.04.651](https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.04.651).
- [75] P. G. S. T. S. N. Đ. Bình and T. D. P. Tý, *Tự rung và mất ổn định quá trình cắt kim loại*. Nhà Xuất Bản Khoa Học Kỹ Thuật Hà Nội, 2007.

- [76] Nguyễn Thị Lệ Hằng, “Đánh giá ảnh hưởng của rung động tích cực đến tiện cứng,” Luận văn Thạc sĩ, Đại học Kỹ thuật Công Nghiệp – Đại học Thái Nguyên., 2014.
- [77] Nguyễn Thị Thanh Vân, “Nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc cắt tới cơ chế mòn dụng cụ PCBN sử dụng tiện tinh thép 9XC qua tôi,” Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Kỹ thuật Công Nghiệp – Đại học Thái Nguyên, 2009.
- [78] Lâm Thanh Bình, “Nghiên cứu nâng cao năng suất khi gia công ren trong trên máy tiện CNC sử dụng cán dao giảm chấn,” Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TPHCM, 2016.
- [79] Nguyễn Thanh Giang, “Nghiên cứu độ cứng của cán dao tiện ảnh hưởng đến độ bóng bề mặt của sản phẩm,” Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TPHCM, 2016.
- [80] E. Türkeş and S. Neşeli, “A simple approach to analyze process damping in chatter vibration,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 70, no. 5, pp. 775–786, 2014, doi: 10.1007/s00170-013-5307-0.
- [81] W. Zhu, J. Zhuang, B. Guo, W. Teng, and F. Wu, “An optimized convolutional neural network for chatter detection in the milling of thin-walled parts,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 106, no. 9, pp. 3881–3895, 2020, doi: 10.1007/s00170-019-04899-1.
- [82] M.-Q. Tran, M.-K. Liu, and Q.-V. Tran, “Milling chatter detection using scalogram and deep convolutional neural network,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 107, no. 3, pp. 1505–1516, 2020, doi: 10.1007/s00170-019-04807-7.
- [83] M. H. Rahimi, H. Hoai Nam, and Y. Altintas, “On-line chatter detection in milling with hybrid machine learning and physics-based

- model,” *CIRP J Manuf Sci Technol*, vol. 35, pp. 25–40, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.cirpj.2021.05.006.
- [84] B. Sener, M. U. Gudelek, A. M. Ozbayoglu, and H. O. Unver, “A novel chatter detection method for milling using deep convolution neural networks,” *Measurement*, vol. 182, p. 109689, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109689>.
- [85] C. A. K. A. Kounta, L. Arnaud, B. Kamsu-Foguem, and F. Tangara, “Deep learning for the detection of machining vibration chatter,” *Advances in Engineering Software*, vol. 180, p. 103445, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2023.103445>.

## CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. The Ho, Q.N.; Do, T.T.; Son Minh, P. Studying the Factors Affecting Tool Vibration and Surface Quality during Turning through 3D Cutting Simulation and Machine Learning Model. *Micromachines* 2023, 14, 1025. <https://doi.org/10.3390/mi14051025> (SCIE - Q2).
2. The Ho, Q.N.; Do, T.T.; Minh, P.S.; Nguyen, V.-T.; Nguyen, V.T.T. Turning Chatter Detection Using a Multi-Input Convolutional Neural Network via Image and Sound Signal. *Machines* 2023, 11, 644. <https://doi.org/10.3390/machines11060644> (SCIE - Q2).
3. HO, N. T. Q.; DO, T. T. Effects of Workpiece Surface and Cutting Parameters on the Finished Surface Quality in Turning Based on Finite Element Method. *Journal of Technical Education Science*, [S. l.], n. 78B, p. 18–25, 2023. DOI: 10.54644/jte.78B.2023.1392.
4. Q. Ho, P. Minh, and T. Do, A Study on Machine Learning Application by Convolutional Neural Network Model Classifying Audio to Identify Vibration Phenomenon in the Turning Process. 2023. doi: 10.1109/ICSSE58758.2023.10227199.
5. Quang Ngoc The Ho, Son Minh Pham, and Thanh Trung Do "Effect of toolholder stiffness on the product surface roughness in turning process by using the simulation method", *Proc. SPIE 12720, 2022 Workshop on Electronics Communication Engineering*, 127200Q (28 June 2023); <https://doi.org/10.1117/12.2675023>.
6. Quang, H.N.T., Minh, P.S., Van Son, N., Khuyen, H.N., Thuan, B.T., Son, T.V.D. (2024). Study on the Damping Effect of Compliant Structure on the Milling Tool Holder. In: Long, B.T., et al. *Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development (MMMS2022)*. MMMS 2022. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-39090-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-39090-6_18).

7. Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, Lâm Thanh Bình, Hồ Ngọc Thế Quang. Ảnh hưởng của vận tốc cắt đến độ nhám bề mặt trong quy trình tiện ren bằng cán dao giảm chấn. Tạp Chí Cơ Khí Việt Nam Số 4 – 2016.
8. Nguyễn Ngọc Phương, Phạm Sơn Minh, Nguyễn Văn Toàn, Hồ Ngọc Thế Quang. Ảnh hưởng của cán dao giảm chấn đến độ bóng bề mặt của quá trình phay mặt phẳng. Tạp Chí Cơ Khí Việt Nam Số 4 – 2016.
9. Phạm Sơn Minh, Đỗ Thành Trung, Hồ Ngọc Thế Quang, Phan Thế Nhân, Nguyễn Thanh Giang, Bùi Thế Phong. Ảnh hưởng của độ cứng cán dao tiện đến chất lượng bề mặt tiện trụ. Tạp Chí Cơ Khí Việt Nam Số 9 – 2016.

# PHỤ LỤC

## KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

### Kết quả nhóm đối chứng

	<i>Ra</i> (μm)	<i>RZ</i> (μm)
A01	2.05	9.61
A02	2.4	12.95
A03	3.08	16.98
A04	2.84	16.17
A05	3.86	21.51
ΣA	2.846	15.444

### Kết quả đo các mẫu thí nghiệm.

F	Mẫu	$\sigma_F(N)$	A (mm/s <sup>2</sup> )	Ra (μm)	Rz(μm)	Mẫu	$\sigma_F(N)$	A (mm/s <sup>2</sup> )	Ra (μm)	Rz(μm)
20	A 01	21.1	93.67	3.08	15.56	C 01	25.6	100.8	3.85	20.12
	A 02	17.85	94.8	3.27	16.55	C 02	63	102.4	3.86	21.76
	A 03	20.12	92.9	1.95	11.5	C 03	16.1	100.9	3.64	14.26
	A 04	24.64	98.3	2.25	15.84	C 04	14	101.7	2.02	10.83
	A 05	21.83	88.7	3.94	21.44	C 05	105.1	103.7	7.07	33.56
	<b>A0</b>	<b>21.11</b>	<b>93.675</b>	<b>2.898</b>	<b>16.178</b>	<b>C0</b>	<b>49.55</b>	<b>102.175</b>	<b>4.088</b>	<b>20.106</b>
40	A11	30.76	93.3	2.63	13.25	C11	20.4	98.9	2.84	15.2
	A12	16.66	88.7	2.03	10.74	C12	41	102.5	2.36	12.3
	A13	27.39	83.8	2.75	18.57	C13	25.9	104.6	2.57	13.04
	A14	21.11	96.7	2.98	15.51	C14	26.4	104.4	2.38	13.57
	A15	37.68	90.7	2.92	14.66	C15	19.2	94	3.63	19.33
	<b>A1</b>	<b>26.72</b>	<b>90.64</b>	<b>2.662</b>	<b>14.546</b>	<b>C1</b>	<b>26.58</b>	<b>100.88</b>	<b>2.756</b>	<b>14.688</b>
60	A21	22.6	90.4	3.12	15.19	C21	35.2	92.8	2.96	13.53
	A22	17.8	94.9	2.55	16.04	C22	34.8	96.4	1.76	9.8
	A23	18.15	92.3	3.86	18.98	C23	67.1	103.3	5.76	24.7
	A24	12.5	84.4	2.1	12.16	C24	26.8	91.3	3.22	17.86
	A25	21.6	88.9	3.92	18.59	C25	34.1	86	1.71	8.79
	<b>A2</b>	<b>18.53</b>	<b>90.18</b>	<b>3.11</b>	<b>16.192</b>	<b>C2</b>	<b>39.6</b>	<b>93.96</b>	<b>3.082</b>	<b>14.936</b>
80	A31	20.0	90.378	1.83	9.56	C31	26.6	91.8	2.15	12.26
	A32	14.8	93.5	1.99	13.37	C32	58.5	92.1	1.96	9.81
	A33	25.9	88.9	1.5	7.77	C33	24.6	88.2	2.28	12.05
	A34	13.8	85.6	2	11.59	C34	19.6	82.1	1.81	9.58
	A35	25.7	93.5	2.12	12.45	C35	18.2	84.1	1.55	8.34
	<b>A3</b>	<b>20.05</b>	<b>90.375</b>	<b>1.888</b>	<b>10.948</b>	<b>C3</b>	<b>30.225</b>	<b>86.625</b>	<b>1.95</b>	<b>10.408</b>
100	A41	49.9	91.8	2.62	13.26	C41	58	86.7	1.85	8.18
	A42	27.3	92	2.78	13.49	C42	34.1	88.1	1.74	10.15



	A43	14.1	94.2	2.29	11.66	C43	13.4	85.4	4.03	11.68
	A44	26.7	90.7	2.17	13.16	C44	21.3	85	1.93	10.37
	A45	21.7	92.2	2.28	13.43	C45	29	85.6	1.82	10.16
	<b>A4</b>	<b>27.94</b>	<b>92.18</b>	<b>2.428</b>	<b>13</b>	<b>C4</b>	<b>31.16</b>	<b>86.16</b>	<b>2.274</b>	<b>10.108</b>
120	A51	13.3	90.7	1.84	9.12	C51	21.3	85.2	2.91	15.04
	A52	16.7	94.3	2.07	12.82	C52	14.1	102	2.5	11.77
	A53	69.1	92.5	1.45	7.99	C53	22.9	77.1	2.85	14.71
	A54	28.7	89.2	1.92	9.36	C54	16.8	82.4	1.73	11.45
	A55	38.4	90.1	2.26	13.31	C55	28.35	87.3	2.24	10.4
	<b>A5</b>	<b>33.24</b>	<b>91.36</b>	<b>1.908</b>	<b>10.52</b>	<b>C5</b>	<b>20.69</b>	<b>86.8</b>	<b>2.446</b>	<b>12.674</b>
140	A61	25.8	89.3	1.67	8.86	C61	18.4	89.4	1.93	11.96
	A62	7.15	88.8	1.74	9.05	C62	26	94.4	3.06	15.22
	A63	19.9	87.6	1.52	8.12	C63	13.4	89.4	2.68	13.42
	A64	16.8	93.7	1.99	10.12	C64	22.5	87.3	1.86	11.27
	A65	19.1	90.6	1.72	9.82	C65	28.2	87.1	3.36	16.36
	<b>A6</b>	<b>17.75</b>	<b>90</b>	<b>1.728</b>	<b>9.194</b>	<b>C6</b>	<b>21.7</b>	<b>89.52</b>	<b>2.578</b>	<b>13.646</b>
160	A71	14.4	94.3	1.76	9.69	C71	26.8	83.7	2.37	12.78
	A72	17.5	87.2	1.65	8.64	C72	22.6	79.6	1.62	8.67
	A73	22.4	99.6	2.51	11.91	C73	19.6	95	4.21	21.44
	A74	10.6	93	1.7	9.68	C74	37	94.3	2.74	15.38
	A75	18.9	93.3	2.48	12.03	C75	16.7	82.3	1.85	10.49
	<b>A7</b>	<b>12.98</b>	<b>93.48</b>	<b>2.02</b>	<b>10.39</b>	<b>C7</b>	<b>24.54</b>	<b>86.98</b>	<b>2.558</b>	<b>13.752</b>
180	A81	13.7	94.7	2.1	10.67	C81	17.6	89.9	4.81	22.75
	A82	22.8	97.7	3.6	17.74	C82	23.1	79	2.46	12.86
	A83	20.2	97.4	2.77	16.09	C83	26.5	82.6	2.61	14.12
	A84	17.6	96.5	2.1	11.51	C84	26.7	84.1	2.5	12.67
	A85	23.2	94.8	2.14	12.05	C85	24.6	83	2.99	15.22
	<b>A8</b>	<b>19.5</b>	<b>96.22</b>	<b>2.542</b>	<b>13.612</b>	<b>C8</b>	<b>23.7</b>	<b>83.72</b>	<b>3.074</b>	<b>15.524</b>
200	A91	17.5	92.1	2.46	12.85	C91	19	84.8	2.05	11.94
	A92	20.1	99.2	2.94	14.57	C92	25.7	84	2.52	13.42
	A93	15.9	96.5	2.62	14.73	C93	15.6	86.9	3	15.48
	A94	19.1	96.8	2.15	12.48	C94	10.5	105.4	3.61	13.32
	A95	17	93.3	3.14	17.52	C95	33.4	105	2.39	13.02
	<b>A9</b>	<b>17.92</b>	<b>95.58</b>	<b>2.662</b>	<b>14.43</b>	<b>C9</b>	<b>20.84</b>	<b>93.22</b>	<b>2.714</b>	<b>13.436</b>

$M\ddot{a}u$	$\sigma_F(N)$	A (mm/s <sup>2</sup> )	Ra ( $\mu m$ )	Rz( $\mu m$ )
D01	15.3	104.7	3.9	20.28
D02	18.6	104.7	5.5	23.94
D03	47	89.2	2.24	12.4
D04	19.1	89.3	3.61	14.68
D05	15.6	84.2	3.29	16.13
<b>D0</b>	<b>25.075</b>	<b>91.85</b>	<b>3.708</b>	<b>17.486</b>
D11	30.3	96.3	1.81	9.34
D12	22	97	2.4	11.71
D13	29.8	90.9	2.03	11.56
D14	30.4	101.7	2.57	12.69
D15	45.7	96.3	2.44	13.05
<b>D1</b>	<b>31.64</b>	<b>96.44</b>	<b>2.25</b>	<b>11.67</b>
D21	12.4	98	1.88	11.11
D22	21.4	85.2	1.9	9.21
D23	16.7	98.4	1.91	10.76
D24	20.5	88.6	1.66	8.56
D25	37.7	92	2.11	10.98
<b>D2</b>	<b>21.74</b>	<b>92.44</b>	<b>1.892</b>	<b>10.124</b>
D31	30.2	86.7	2.1	10.17
D32	29.8	87.1	2.07	11.86
D33	12	92.3	2.2	11.67
D34	11.4	88.1	1.69	9.15
D35	18.4	99.3	2.02	10.82
<b>D3</b>	<b>17.9</b>	<b>91.7</b>	<b>2.016</b>	<b>10.734</b>
D41	24	96.3	14.88	53.82
D42	14.7	99.8	2.13	12.53
D43	8.9	104.9	3.65	19.51
D44	17.5	88	2.27	10.69
D45	31.9	103.5	3.61	17.62
<b>D4</b>	<b>19.4</b>	<b>98.5</b>	<b>5.308</b>	<b>22.834</b>
D51	18.2	89.5	2.15	11.66
D52	42.2	86.3	1.81	10.66
D53	15	89.1	1.34	6.77
D54	9.4	89.7	1.8	9.11
D55	11.4	84.2	1.72	8.93
<b>D5</b>	<b>19.24</b>	<b>87.76</b>	<b>1.764</b>	<b>9.426</b>
D61	9.5	86.4	2.04	9.68
D62	22.2	94.9	2.19	12.3
D63	16.8	85.7	2.26	13.05
D64	14.8	95.7	1.42	11.57
D65	37.3	94	2.27	11.5
<b>D6</b>	<b>20.12</b>	<b>91.34</b>	<b>2.036</b>	<b>11.62</b>
D71	11.9	87	2.12	12.11

$M\ddot{a}u$	$\sigma_F(N)$	A (mm/s <sup>2</sup> )	Ra ( $\mu m$ )	Rz( $\mu m$ )
E01	28.3	90	2.86	15.61
E02	32.9	96.7	2.15	11.3
E03	11.4	105.5	12.18	49.75
E04	12.1	105.6	12.36	48.66
E05	12.8	76.2	2.02	10.81
<b>E0</b>	<b>17.3</b>	<b>96</b>	<b>6.314</b>	<b>27.226</b>
E11	14.5	84.5	1.45	7.86
E12	32.1	101.9	6.18	26.35
E13	16.5	89.1	2.69	15.5
E14	16.7	98.2	3.32	17
E15	13.5	80.8	1.41	7.04
<b>E1</b>	<b>18.66</b>	<b>90.9</b>	<b>3.01</b>	<b>14.75</b>
E21	32.2	105.6	8.64	36.92
E22	6.7	105.6	12.51	50.97
E23	12	75.5	1.58	8.64
E24	23.9	105.6	10.06	35.99
E25	17.5	105.6	11.44	39.92
<b>E2</b>	<b>18.46</b>	<b>99.58</b>	<b>8.846</b>	<b>34.488</b>
E31	7.5	105.6	6.19	22.82
E32	49.2	102.7	11.93	51.09
E33	15.3	93.8	3.22	17.62
E34	19.9	102.8	8.8	30.65
E35	24.6	105.5	13.93	53.32
<b>E3</b>	<b>27.25</b>	<b>101.2</b>	<b>8.814</b>	<b>35.1</b>
E41	90	105.6	16.14	59
E42	31	97.7	4.63	25.32
E43	19.8	95.7	3.98	20.04
E44	40.2	105.4	13.37	54.82
E45	36.6	105.2	7.9	36.53
<b>E4</b>	<b>43.52</b>	<b>101.92</b>	<b>9.204</b>	<b>39.142</b>
E51	10.29	105	8.11	29.03
E52	9.9	105.6	11.24	41.54
E53	31	105.6	11.61	44.59
E54	13.9	82.8	2.36	13.19
E55	20.6	83.1	4.06	21.66
<b>E5</b>	<b>17.138</b>	<b>96.42</b>	<b>7.476</b>	<b>30.002</b>
E61	25.1	79.5	1.57	9.07
E62	12.3	105.6	11.4	42.96
E63	14.3	81.2	2.28	12.61
E64	31.3	105.6	12.6	44.12
E65	7.65	81.6	1.53	8.03
<b>E6</b>	<b>18.13</b>	<b>90.7</b>	<b>5.876</b>	<b>23.358</b>
E71	18.2	78.5	1.9	10.49

D72	19.5	95.3	5.02	22.29	E72	55.9	101.8	5.33	23.67
D73	22.6	94.9	3.41	18.55	E73	10.1	105.5	2.5	12.09
D74	29.4	96.8	1.72	9.44	E74	13.8	105.6	14.01	59.29
D75	23.2	91.5	1.62	8.22	E75	23.4	105.5	15.47	60.83
<b>D7</b>	<b>21.32</b>	<b>93.1</b>	<b>2.778</b>	<b>14.122</b>	<b>E7</b>	<b>24.28</b>	<b>99.38</b>	<b>7.842</b>	<b>33.274</b>
D81	31.8	87.7	4.01	22.12	E81	13.4	89.6	2.86	14.37
D82	29.5	86	2.18	12.77	E82	18.8	85.5	1.63	8.22
D83	8	84.6	2.99	16.31	E83	7.3	105.6	8.57	37.79
D84	14.6	78.6	1.9	11.11	E84	10.7	105.6	13.55	50.42
D85	17.3	85	1.78	9.08	E85	10.5	104.2	13.15	50.08
<b>D8</b>	<b>20.24</b>	<b>84.38</b>	<b>2.572</b>	<b>14.278</b>	<b>E8</b>	<b>12.14</b>	<b>98.1</b>	<b>7.952</b>	<b>32.176</b>
D91	27.6	92.4	2.99	14.7	E91	16.3	104.5	13.03	52.82
D92	12.3	86	2.04	11.86	E92	58.1	105.6	12.56	52.39
D93	10.1	90	3.21	18.08	E93	11.6	105.6	14.89	56.77
D94	43.5	83.4	2.61	15.03	E94	45.2	105.5	12.86	47.42
D95	11.2	98.5	3.24	17.63	E95	9.4	79	1.49	7.91
<b>D9</b>	<b>20.94</b>	<b>90.06</b>	<b>2.818</b>	<b>15.46</b>	<b>E9</b>	<b>28.12</b>	<b>100.04</b>	<b>10.966</b>	<b>43.462</b>

Mẫu	$\sigma_F(N)$	A (mm/s <sup>2</sup> )	Ra ( $\mu m$ )	Rz( $\mu m$ )
F01	17.6	88.6	2.38	13.2
F02	25.9	105.5	15.96	61.18
F03	24	92.7	4.19	21.34
F04	15.6	92.5	4.25	22.3
F05	16	103.8	18.17	84.31
<b>F0</b>	<b>20.375</b>	<b>98.625</b>	<b>8.99</b>	<b>40.466</b>
F11	9.1	77.8	1.65	8.55
F12	11.6	82.6	1.64	10.25
F13	11.3	95.6	1.9	9.88
F14	17.4	75.8	1.69	8.6
F15	23.3	81.8	2.04	10.81
<b>F1</b>	<b>14.54</b>	<b>82.72</b>	<b>1.784</b>	<b>9.618</b>
F21	19.2	90	1.9	10.68
F22	12.9	76.2	1.58	8.39
F23	18.7	92.6	1.61	9.06
F24	19.9	88	1.6	8.15
F25	33.6	85.4	1.57	7.84
<b>F2</b>	<b>20.86</b>	<b>86.44</b>	<b>1.652</b>	<b>8.824</b>
F31	15.3	105.4	15.44	58.67
F32	7.8	78.5	2.24	11.82
F33	15.5	80.3	2.53	12.81
F34	18.3	97.6	3.54	17.79
F35	8.69	80.7	3.15	16.38

<b>F3</b>	<b>12.5725</b>	<b>84.275</b>	<b>5.38</b>	<b>23.494</b>
F41	15	105.5	14.47	56.17
F42	22.7	105.5	10.42	40.7
F43	15	94.6	3.8	21.24
F44	14.3	77.3	2.67	14.57
F45	22.4	88.8	1.96	11.44
<b>F4</b>	<b>17.88</b>	<b>94.34</b>	<b>6.664</b>	<b>28.824</b>
F51	22.4	76.9	1.89	9.6
F52	12.6	105.6	6.48	28.56
F53	16.2	77	11.08	45.97
F54	20.7	98	16.08	65.05
F55	12.1	105.5	2.14	12.76
<b>F5</b>	<b>16.8</b>	<b>92.6</b>	<b>7.534</b>	<b>32.388</b>
F61	17.6	105.5	14.15	59.76
F62	12.5	79.7	3.76	17.65
F63	29.2	101.9	8.78	36.64
F64	17.6	69.9	1.97	10.32
F65	30.2	105.5	6.42	27.45
<b>F6</b>	<b>21.42</b>	<b>92.5</b>	<b>7.016</b>	<b>30.364</b>
F71	23.3	105.5	12.6	49.83
F72	19.8	105.6	10.67	38.91
F73	20	76	2.26	11.68
F74	12.5	105.6	13.49	55.13
F75	20.5	81.5	3.48	19.09
<b>F7</b>	<b>19.22</b>	<b>94.84</b>	<b>8.5</b>	<b>34.928</b>
F81	26.8	86.9	10.36	44.54
F82	27.1	105.3	12.43	49.94
F83	44.6	78	2.29	12.16
F84	25.2	90.1	4.41	21.03
F85	19.5	93.2	5.36	27.41
<b>F8</b>	<b>28.64</b>	<b>90.7</b>	<b>6.97</b>	<b>31.016</b>
F91	61.1	91.6	7.02	29.13
F92	30.8	105.4	13.23	55.36
F93	33	105.6	13.62	50.05
F94	21	102.1	6.1	26.88
F95	25.6	105.5	14.96	63.65
<b>F9</b>	<b>34.3</b>	<b>102.04</b>	<b>10.986</b>	<b>45.014</b>

	F (N)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
F1= F; F2 = 0; F3 = 0		A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
	$\sigma_f(N)$	21.11	26.72	18.53	20.05	27.94	33.24	17.75	12.98	19.5	17.92
	A (mm/s <sup>2</sup> )	93.67	90.64	90.18	90.375	92.18	91.36	90	93.48	96.22	95.58
	Ra ( $\mu m$ )	2.898	2.662	3.11	1.888	2.428	1.908	1.728	2.02	2.542	2.662
	Rz( $\mu m$ )	16.17	14.54 6	16.19 2	10.948	13	10.52	9.194	10.39	13.61 2	14.43
F1 = F; F2 = 1/2 F; F3 = 0		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	$\sigma_f(N)$	49.55	26.58	39.6	30.225	31.16	20.69	21.7	24.54	23.7	20.84
	A (mm/s <sup>2</sup> )	102.1 7	100.8 8	93.96	86.625	86.16	86.8	89.52	86.98	83.72	93.22
	Ra ( $\mu m$ )	4.088	2.756	3.082	1.95	2.274	2.446	2.578	2.558	3.074	2.714
	Rz( $\mu m$ )	20.10 6	14.68 8	14.93 6	10.408	10.10 8	12.67 4	13.64 6	13.75 2	15.52 4	13.43 6
F1= F; F2 = F; F3 = 0		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
	$\sigma_f(N)$	25.07 5	31.64	21.74	17.9	19.4	19.24	20.12	21.32	20.24	20.94
	A (mm/s <sup>2</sup> )	91.85	96.44	92.44	91.7	98.5	87.76	91.34	93.1	84.38	90.06
	Ra ( $\mu m$ )	3.708	2.25	1.892	2.016	5.308	1.764	2.036	2.778	2.572	2.818
	Rz( $\mu m$ )	17.48 6	11.67	10.12 4	10.734	22.83 4	9.426	11.62	14.12 2	14.27 8	15.46
F1= F; F2 = F; F3 = F		E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
	$\sigma_f(N)$	17.3	18.66	18.46	27.25	43.52	17.13 8	18.13	24.28	12.14	28.12
	A (mm/s <sup>2</sup> )	96	90.9	99.58	101.2	101.9 2	96.42	90.7	99.38	98.1	100.0 4
	Ra ( $\mu m$ )	6.314	3.01	8.846	8.814	9.204	7.476	5.876	7.842	7.952	10.96 6
	Rz( $\mu m$ )	27.22 6	14.75	34.48 8	35.1	39.14 2	30.00 2	23.35 8	33.27 4	32.17 6	43.46 2
F1 = 0; F2 = F; F3 = F		F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
	$\sigma_f(N)$	20.37 5	14.54	20.86	12.572 5	17.88	16.8	21.42	19.22	28.64	34.3
	A (mm/s <sup>2</sup> )	98.62 5	82.72	86.44	84.275	94.34	92.6	92.5	94.84	90.7	102.0 4
	Ra ( $\mu m$ )	8.99	1.784	1.652	5.38	6.664	7.534	7.016	8.5	6.97	10.98 6
	Rz( $\mu m$ )	40.46 6	9.618	8.824	23.494	28.82 4	32.38 8	30.36 4	34.92 8	31.01 6	45.01 4