

KHẢO SÁT RUNG ĐỘNG MÁY PHAY CNC MINI TSV2013-33

Study vibration of TSV2013 - 33 CNC milling machine

Võ Minh Trí¹

¹Trường Đại học Cần Thơ

e-Mail: vmtri@ctu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này nghiên cứu về rung động của máy TSV2013-33 nhằm đánh giá mức độ rung động trong các điều kiện gia công cụ thể, là tiền đề để chọn các chế độ cắt hợp lý, đảm bảo khả năng hoạt động của máy, tăng chất lượng sản phẩm và năng suất gia công. Tần số và mật độ phổ công suất của rung động được đo thông qua mạch cảm biến gia tốc MMA7361, thu thập bằng vi điều khiển PIC18F2550, phần mềm LabVIEW™ và Matlab®. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra được quy luật rung động của máy đối với các điều kiện gia công và vật liệu gia công khác nhau, theo đó vật liệu có độ cứng cao, dao với ít số lưỡi cắt và chiều sâu cắt giảm sẽ làm tăng mức độ rung động. Kết quả này là một nền tảng rất cần thiết trong quá trình chế tạo máy CNC, phải có giải pháp tăng độ cứng vững cho máy, giảm thiểu tối đa các rung động, từ đó góp phần nâng cao độ chính xác quá trình gia công.

Từ khóa: Rung động máy

Abstract:

This paper investigates the vibration of TSV2013 - 33 machine in order to evaluate the level of vibration in the specific machining conditions. This lays a foundation for selecting the appropriate cutting mode, ensuring the operation of machine, increasing the quality of products and processing performance. Power spectral density of vibration was measured using MMA7361L accelerometer module, measuring data was collected by PIC18F2550 microcontroller, LabVIEW™ and Matlab® software were used to process the data. As a result, the vibration rule of machine with different conditions and materials was determined; especially, for hard materials, cutting tools with less number of blades and decreasing the cutting depth will increase the vibration level. This finding provides an important information for manufacturing CNC machines; improving rigid level of CNC machine body, minimizing vibration, and enhancing the precision should be taken into machining process.

Keywords: vibration.

1. Phần mở đầu

Rung động của máy CNC phụ thuộc vào độ cứng vững của máy, độ cứng của phôi và khi các chế độ gia công thay đổi thì rung động cũng thay đổi. Tìm hiểu mối quan hệ giữa rung động với sự thay đổi chế độ

cắt sẽ giúp nhanh chóng xác định được chế độ cắt phù hợp để tránh tạo ra hiện tượng mất ổn định. Do đó việc khảo sát ảnh hưởng của các chế độ gia công đến rung động là một vấn đề cấp thiết.

Khảo sát rung động của các máy công cụ là một vấn đề không mới và đã có nhiều nghiên cứu liên quan ở cả trong nước và ngoài nước. Năm 1966, Ashin P. Yajnik đã nghiên cứu về việc ảnh hưởng của rung động đến độ chính xác gia công của máy công cụ bằng cách gắn cảm biến lực lên đầu dao của một máy tiện. Năm 2000 John S.Stewart nghiên cứu vấn đề rung động và cân bằng của máy cưa gỗ, đề tài đã phân tích sự ảnh hưởng của tốc độ trục chính đối với rung động đồng thời chỉ ra sai số khi xuất hiện sự mất cân bằng của lưỡi cưa. Năm 2002, Linus Pettersson khảo sát các rung động trên máy tiện bằng cảm biến gia tốc và cảm biến áp điện gắn trên cán dao. Trong nước, đề tài Nghiên cứu xây dựng đồ thị ổn định của máy phay đứng khi gia công thép 45 bằng thực nghiệm của Cô Hữu Hưng (2013) được tiến hành trên máy phay đứng Turdimill nhằm khảo sát rung động làm cơ sở cho việc xác định chế độ cắt hợp lý và tối ưu hóa gia công.

Hầu hết các nghiên cứu rung động đều được tiến hành trên các máy công cụ được thương mại hóa với các tiêu chuẩn xác định của nhà sản xuất và các kết quả nghiên cứu chỉ phù hợp với từng loại máy đó. Đối với máy CNC mini TSV2013-33, là một máy được thiết kế với mục đích nghiên cứu và chưa có một tiêu chuẩn gia công cụ thể nào, các đặc tính của máy và vật liệu gia công của máy cũng tương đối khác so với các máy trên thị trường, do đó khảo sát rung động nhằm tăng khả năng hoạt động của máy là cần thiết.

Việc khảo sát rung động sẽ tập trung vào việc đo rung động, phân tích sự thay đổi tần số và biên độ của rung động ứng với các điều kiện gia công cụ thể, tìm ra quy luật thay đổi của rung động và tần số cộng hưởng. Để có thể đo rung động, cần phải thiết kế mô hình thiết bị đo, lấy các mẫu dữ liệu và xử lý các số liệu thu thập được, thực hiện các phép phân tích kết quả để thấy được quy luật cụ thể.

2. Phương pháp thực hiện

2.1 Tổng quan về rung động

2.1.1 Khái niệm về rung động

Rung động hay dao động là một hiện tượng phổ biến trong tự nhiên và trong kỹ thuật. Một cách sơ lược, rung động là một quá trình trong đó một đại lượng vật

lý (hóa học, sinh học,...) thay đổi theo thời gian mà có một đặc điểm nào đó lặp lại ít nhất một lần. Dao động kỹ thuật là dao động của các hệ kỹ thuật (các máy, các phương tiện giao thông vận tải, các công trình...) (Nguyễn Văn Khang, 2004).

Các quá trình dao động được phân loại tùy theo các quan điểm khác nhau. Căn cứ vào cơ cấu gây nên dao động người ta phân thành dao động tự do, dao động cưỡng bức, dao động tham số, tự dao động, dao động hỗn độn, dao động ngẫu nhiên. Căn cứ vào số bậc tự do người ta phân thành dao động hệ một bậc tự do, dao động hệ n bậc tự do, dao động hệ vô hạn bậc tự do. Căn cứ vào phương trình chuyển động người ta phân thành dao động tuyến tính, dao động phi tuyến. Căn cứ vào dạng chuyển động người ta phân thành dao động cơ học, dao động xoắn, dao động uốn (Nguyễn Văn Khang, 2004).

2.1.2 Rung động trong quá trình cắt

Sự biến động của lực cắt: trong quá trình cắt, khi tốc độ cắt tăng lên thì lực cắt giảm. Sự suy giảm của lực cắt theo chiều tăng của tốc độ cắt là một trong những nguyên nhân gây ra hiện tượng rung động của máy công cụ (Cồ Hữu Hưng, 2013). Theo quan điểm lý thuyết năng lượng tới hạn ổn định của quá trình cắt ta có phương trình cân bằng năng lượng cho quá trình cắt như sau:

Công suất tạo phoi được xác định:

$$Q = P.V \tag{1}$$

Trong đó:
 P là lực tạo phoi (thành phần lực tiếp tuyến), với quá trình phay thì P được xác định:

$$P = kF = K.S_z.T.Z_c \tag{2}$$

k: lực cắt riêng của vật liệu gia công (N/m²).

F: diện tích cắt (m²).

S_z: bước tiến dao răng (m).

T: chiều sâu cắt (m).

V: tốc độ cắt (m/s).

Z_c: số răng đồng thời cắt của dao phay.

Nếu gọi Q_k là công suất tới hạn ổn định của một quá trình tạo phoi – tức là công suất mà khi nhu cầu năng lượng của quá trình tạo phoi vượt quá giá trị đó thì hệ thống công nghệ bắt đầu ổn định thì Q_k được xác định:

$$Q_k = P_k.V \tag{3}$$

Trong đó P_k là lực tạo phoi tới hạn xét tại một cấp tốc độ V xác định. Khi lực tạo phoi trong một quá trình cắt bất kì vượt qua giá trị đó thì hệ thống bắt đầu mất ổn định.

Tại một vị trí gia công, theo một phương xác định, công suất tạo phoi tới hạn khi cắt với tốc độ V₁ sẽ là:

$$Q_{k1} = P_{k1}.V_1 \tag{4}$$

Tương tự công suất tạo phoi tới hạn khi cắt với tốc độ V₂ là:

$$Q_{k2} = P_{k2}.V_2 \tag{5}$$

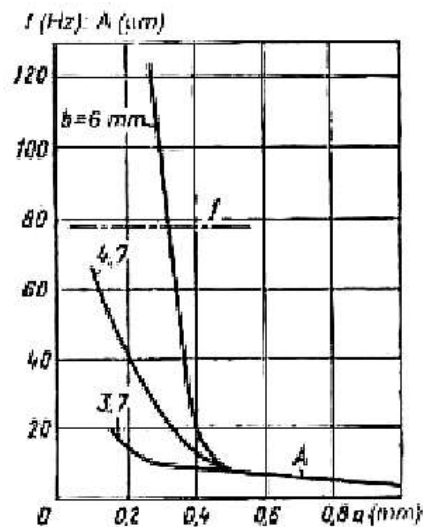
Lý thuyết về tự rung và ổn định theo quan điểm năng lượng của quá trình cắt đã chỉ ra rằng, tại mỗi vị trí gia công và theo một phương xác định thì năng lượng tới hạn ổn định là không đổi, theo đó thì Q_{k1}=Q_{k2}

Hay $P_{k1}.V_1 = P_{k2}.V_2 \tag{6}$

Cuối cùng ta có:
$$\frac{P_{k1}}{P_{k2}} = \frac{V_2}{V_1} \tag{7}$$

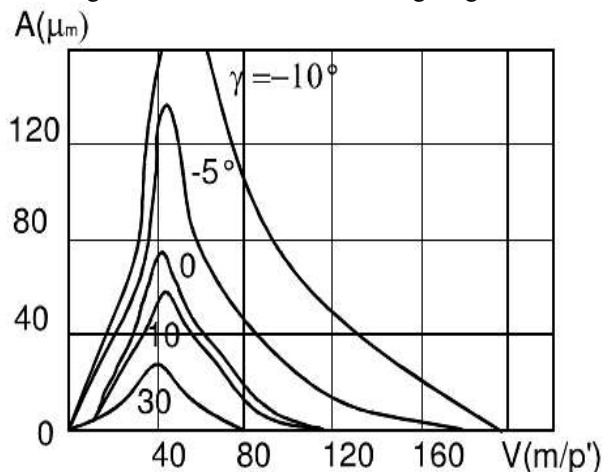
Công thức (7) biểu thị mối quan hệ giữa lực tạo phoi và tốc độ cắt. Nó đã lượng hóa được hiệu ứng suy giảm lực cắt tiếp tuyến theo chiều tăng của tốc độ cắt, đây là nguyên nhân gây ra hiện tượng rung động.

Ngoài ra sự biến động của lực cắt do diện tích lớp cắt và tốc độ cắt ảnh hưởng khác nhau đến biên độ rung động. Biên độ của tự rung phụ thuộc vào kích thước lớp cắt (a và b) và tốc độ cắt (V). Kích thước của lớp cắt ảnh hưởng khác nhau đến biên độ rung động (Hình 1): khi tăng chiều dày cắt a, biên độ rung động A giảm, khi tăng bề rộng cắt b, biên độ rung động A tăng.



H. 1 Ảnh hưởng kích thước lớp cắt với tần số và biên độ dao động (Cồ Hữu Hưng, 2013)

Đối với Hình 2 ta thấy, lúc đầu khi tăng tốc độ cắt biên độ dao động tăng, sau khi đạt giá trị V xác định thì biên độ dao động A bắt đầu giảm. Tốc độ cắt ứng với biên độ dao động lớn nhất và phạm vi tốc độ cắt mà tại đó tồn tại rung động phụ thuộc vào loại vật liệu gia công và điều kiện cắt. Góc trước γ cũng ảnh hưởng đến cường độ rung động, khi γ giảm và chuyển dần sang trị số âm thì biên độ dao động tăng đột biến.



H. 2 Ảnh hưởng tốc độ cắt và góc trước dao đối với biên độ dao động (Cồ Hữu Hưng, 2013)

Tính chất cơ lý của vật liệu gia công nói chung ảnh hưởng rất phức tạp và có tính tương phản đến hệ thống lực cắt. Khi tăng độ bền và độ cứng của vật liệu gia công sẽ làm giảm hệ số co rút phôi và độ lớn trượt tương đối, điều này làm giảm công biến dạng và công tạo phôi tức là giảm lực cắt. Mặt khác, khi tăng độ bền và độ cứng thì tải trọng lên bề mặt trượt tương ứng sẽ làm công biến dạng, công tạo phôi và tăng lực cắt. Khi gia công vật liệu giòn thì lực cắt nhỏ hơn khi gia công vật liệu dẻo, biên độ và tần số rung động nhỏ hơn. Có thể nói sự biến động trong thành phần của vật liệu gia công như sau: khi tăng hoặc giảm độ cứng, độ bền của vật liệu gia công sẽ gây ra sự biến động của lực cắt và dẫn đến rung động của máy.

Trong quá trình cắt, phía trước lưỡi cắt xuất hiện những lớp kim loại có cấu trúc khác hẳn với vật liệu gia công và vật liệu làm dao, nếu lớp kim loại này bám chắc vào lưỡi cắt dụng cụ sinh ra lẹo dao. Lẹo

dao ngăn cản tiếp xúc giữa lưỡi cắt và phôi và là nguyên nhân gây ra rung động.

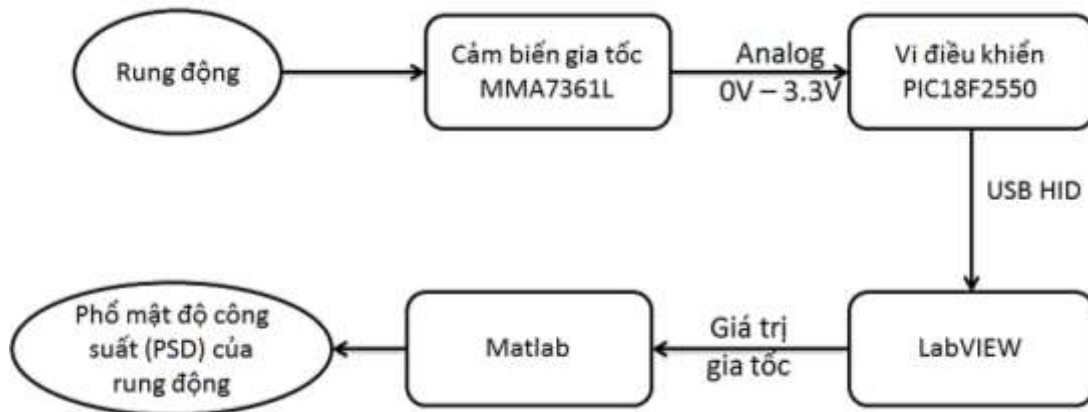
2.2 Phương pháp thí nghiệm

Giả thiết rằng đặc tính của rung động sẽ thay đổi khi các điều kiện gia công như vật liệu cắt, tốc độ trục chính, bước tiến, chiều sâu cắt và dụng cụ cắt thay đổi. Thí nghiệm này lần lượt thay đổi các điều kiện gia công, lấy mẫu số liệu và phân tích.

Thí nghiệm này đo rung động của máy bằng cách cắt các mẫu vật liệu với các điều kiện khác nhau. Cảm biến gia tốc được gắn trên máy CNC, khi máy bắt đầu gia công, tín hiệu từ cảm biến gia tốc được đọc và gửi về máy tính. Tín hiệu này được chuyển đổi thành giá trị gia tốc, thông qua các giải thuật phân tích mật độ phổ công suất (PSD) tìm được tần số rung động cộng hưởng và mức độ rung động, so sánh đặc tính của rung động khi thay đổi các chế độ gia công.

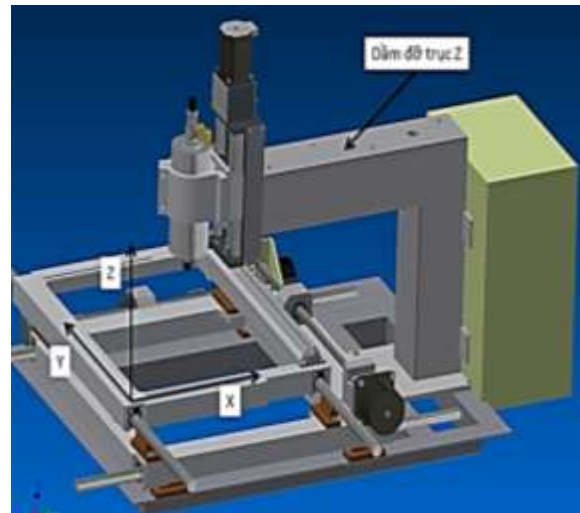
2.3 Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được bố trí theo sơ đồ ở Hình 3.



H. 3 Sơ đồ tổng quan thí nghiệm khảo sát rung động

Với cấu trúc của dầm đỡ trục Z dạng chữ L với phần trên khá dài (Hình 4), dễ nhận thấy dầm có khả năng bị uốn theo phương trục Y nhiều nhất, dễ gây ra rung động, do vậy thí nghiệm sẽ đo rung động khi cắt mẫu vật liệu theo phương trục Y. Mẫu vật liệu được giữ cố định trên bàn máy, khi bắt đầu thí nghiệm, động cơ trục chính được di chuyển xuống với chiều sâu cắt theo yêu cầu, sau đó bàn máy di chuyển sao cho dao tiến theo chiều dương của trục Y. Quá trình lấy mẫu bắt đầu khi ít nhất nửa bán kính dao ăn vào mẫu vật liệu để loại bỏ hiện tượng va đập khi dao bắt đầu tiếp xúc phôi.

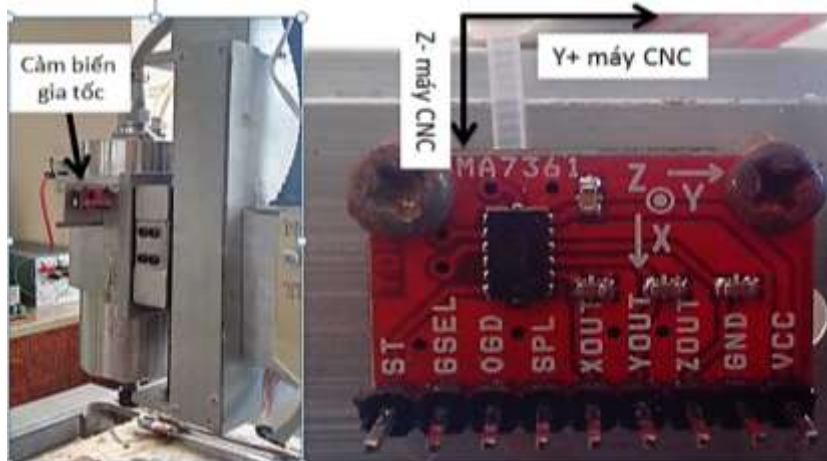


H. 4 Bản vẽ mô phỏng máy phay CNC mini TSV2013-33

Module cảm biến gia tốc MMA7361L được gắn cố định lên bộ đỡ động cơ trục chính của máy CNC sao cho các trục của cảm biến trùng với các hướng di chuyển của máy để số liệu đo được chính xác. Trục X của cảm biến được đặt hướng xuống theo chiều của trọng lực (chiều âm của trục Z máy), trục Y cảm biến hướng theo chiều dương trục Y của máy, trục Z cảm

biến hướng theo chiều dương máy (Hình 5). Trong các thí nghiệm, chiều cắt được chọn theo chiều dương

trục Y của máy CNC, do đó tín hiệu gia tốc của trục Y sẽ được đọc.



H. 5 Cảm biến gia tốc gắn trên bộ đồ động cơ trục chính

Module cảm biến gia tốc MMA7361L được kết nối với mạch vi điều khiển PIC18F2550 và thang đo gia tốc được chỉnh mức $\pm 6g$ (Bùi Thế Hiện, 2014). Vi điều khiển PIC18F2550 có nhiệm vụ đọc tín hiệu analog liên tục từ cảm biến, biến đổi ADC 10-bit và gửi về máy tính thông qua giao tiếp USB HID, lưu đồ giải thuật được trình bày ở Hình 6.



H. 6 Lưu đồ giải thuật cho vi điều khiển

Trên máy tính, chương trình được viết bằng LabVIEW™ đọc dữ liệu từ vi điều khiển gửi qua cổng USB, sau đó dữ liệu được xử lý, bù sai số và chuyển đổi thành giá trị gia tốc và lưu vào tập tin .lvm (Bùi Thế Hiện, 2014).

Với các giá trị gia tốc có được, thông qua phép phân tích mật độ phổ công suất (PSD) bằng Matlab®, ta có được đồ thị biểu diễn tần số dao động.

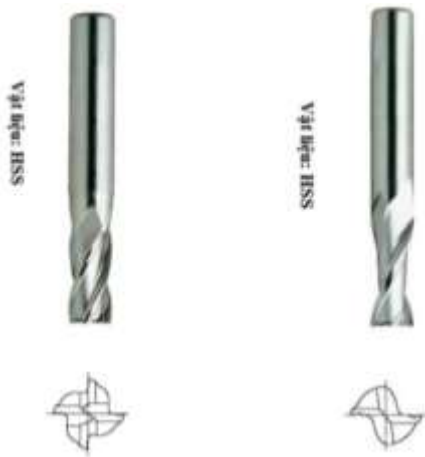
Do giới hạn về thiết bị đo cũng như tốc độ lấy mẫu (khoảng 300 mẫu/giây), khoảng tần số khảo sát được chỉ nằm trong khoảng 0 Hz - 150 Hz.

2.4 Tiến hành thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành trên 5 mẫu loại vật liệu: nhôm, gỗ thông, composite, cast acrylic và nhựa pp



H. 7 Các mẫu vật liệu thí nghiệm



Phân nghiên cứu rung động được chia thành 5 thí nghiệm (các thông số thí nghiệm được cho trong Bảng 1) Thí nghiệm 1: Đo rung động khi cắt 2 mẫu nhôm và nhựa pp, thay đổi tốc độ trục chính nhằm đánh giá sơ bộ đặc tính rung động đối với độ cứng vật liệu.

Thí nghiệm 2: Đo rung động khi cắt các vật liệu có độ cứng khác nhau để có kết quả cụ thể hơn về sự thay đổi rung động khi vật liệu thay đổi.

Thí nghiệm 3: Dựa trên thí nghiệm 2 tìm được vật liệu có độ cứng trung bình trong các mẫu (gỗ thông), khảo sát rung động khi cắt mẫu gỗ thông với chiều sâu cắt thay đổi.

Thí nghiệm 4: Cắt mẫu gỗ thông với bước tiến thay đổi để đánh giá rung động.

Thí nghiệm 5: So sánh mức độ rung động khi cắt mẫu gỗ thông bằng dao 6 mm 4 lưỡi cắt và 2 lưỡi cắt.

H. 8 Dao cụ sử dụng trong thí nghiệm

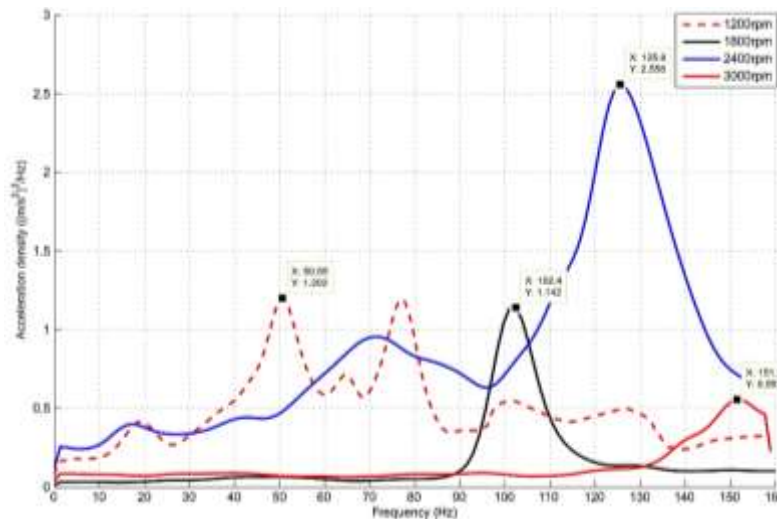
Bảng 1: Các thông số thí nghiệm

Thí nghiệm	Vật liệu	Dao phay ngón 6mm	Tốc độ spindle (vòng/phút)	Bước tiến (mm/phút)	Chiều sâu cắt (mm)
1	Nhôm Nhựa pp	4 lưỡi cắt	1200, 1800, 2400, 3000	30	0.5
2	Nhôm, nhựa pp, gỗ thông, composite, cast acrylic	4 lưỡi cắt	1800	30	0.5
3	Gỗ thông	4 lưỡi cắt	1800	30	1, 2, 3, 4, 5
4	Gỗ thông	4 lưỡi cắt	1800	15, 30, 45, 60, 75, 90	1
5	Gỗ thông	4 lưỡi cắt 2 lưỡi cắt	1800	15, 30, 45	1

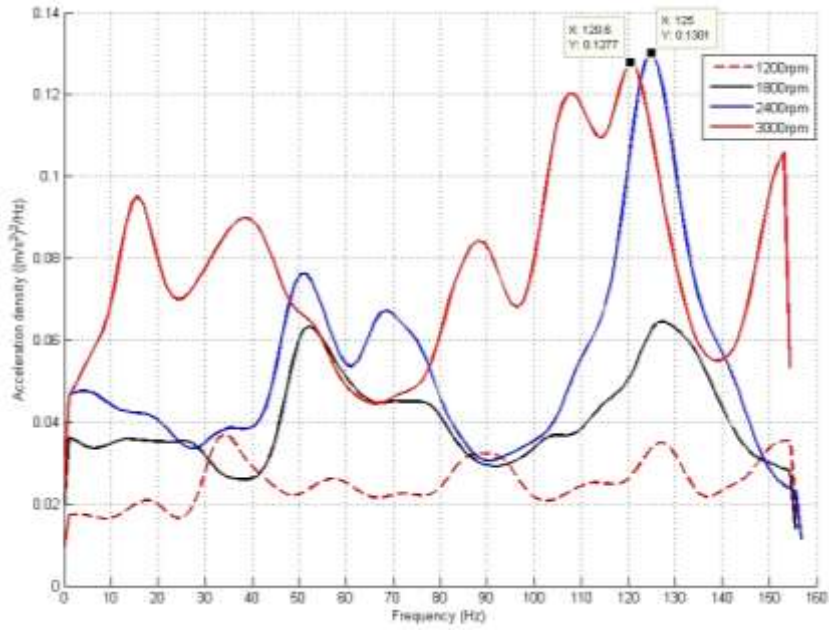
3. Kết quả và đánh giá

3.1 Kết quả thí nghiệm

3.1.1 Thí nghiệm 1



H. 9 Đồ thị phân tích phổ của rung động khi cắt nhôm



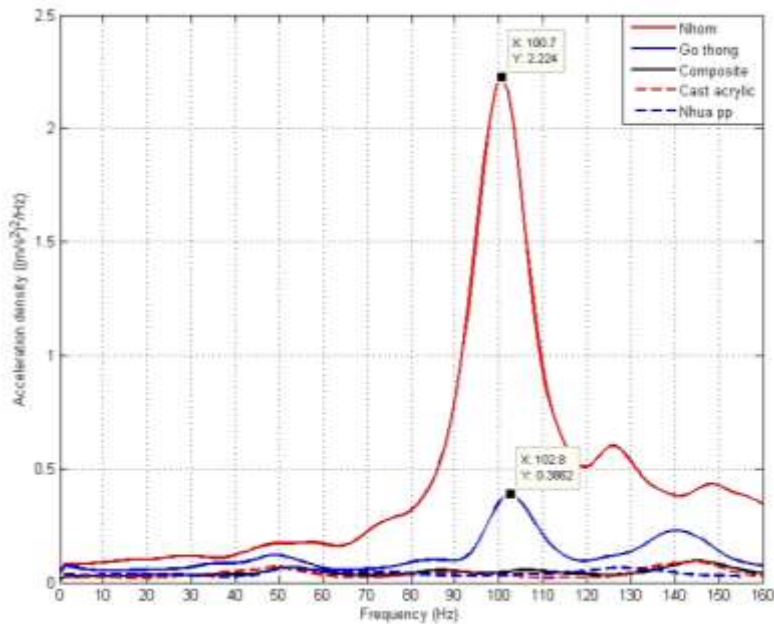
H. 10 Đồ thị phân tích phổ rung động khi cắt nhựa PP

Bảng 2: Giá trị gia tốc rung động cực đại khi cắt nhôm và nhựa pp

Vật liệu cắt	Tốc độ spindle (vòng/phút)			
	1200	1800	2400	3000
Nhôm	34.7021	44.5337	46.2234	23.7953
Nhựa pp	9.5089	10.4306	11.1987	13.0421

Đơn vị: m/s^2

3.1.2 Thí nghiệm 2



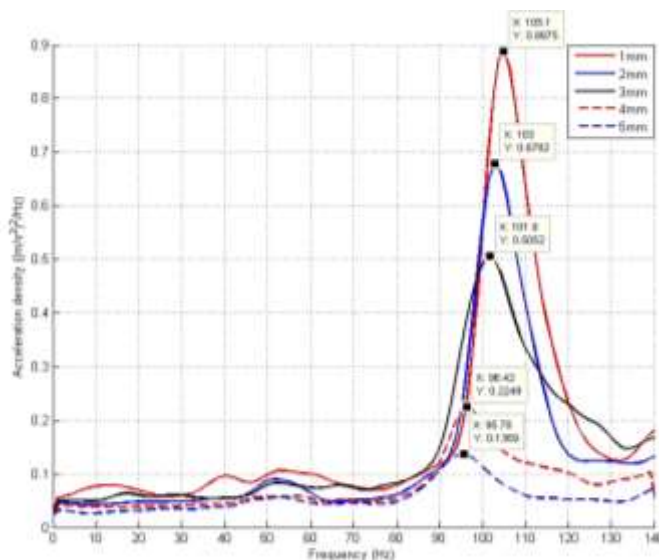
H. 11 Đồ thị phân tích phổ rung động của các mẫu vật liệu

3.1.3 Thí nghiệm 3

Bảng 3: Giá trị gia tốc rung động cực đại khi cắt trên nhiều mẫu vật liệu

Mẫu vật liệu				
Nhôm	Gỗ thông	Composite	Cast acrylic	Nhựa pp
44.5337	15.6536	10.8915	9.3553	10.4306

Đơn vị: m/s^2



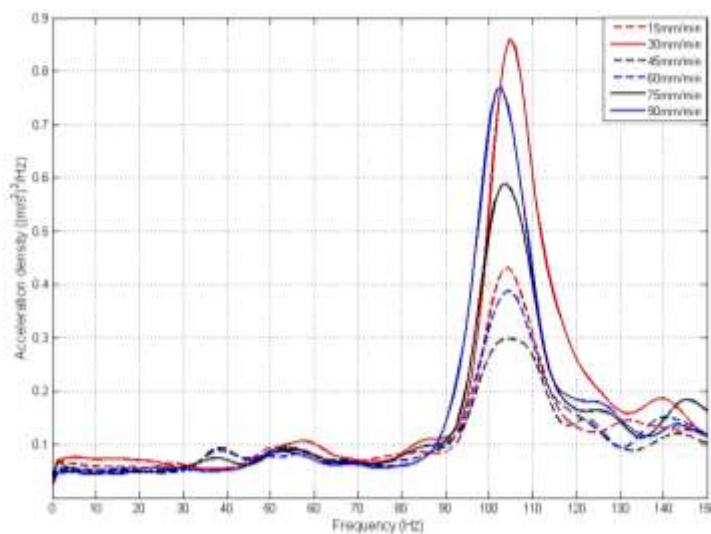
H. 12 Đồ thị phân tích phổ rung động khi thay đổi chiều sâu cắt

Bảng 4: Giá trị gia tốc rung động cực đại khi thay đổi chiều sâu cắt đối với vật liệu là gỗ thông

Chiều sâu cắt (mm)				
1	2	3	4	5
18.2651	17.9886	15.6536	13.5030	12.7656

Đơn vị: m/s^2

3.1.4 Thí nghiệm 4



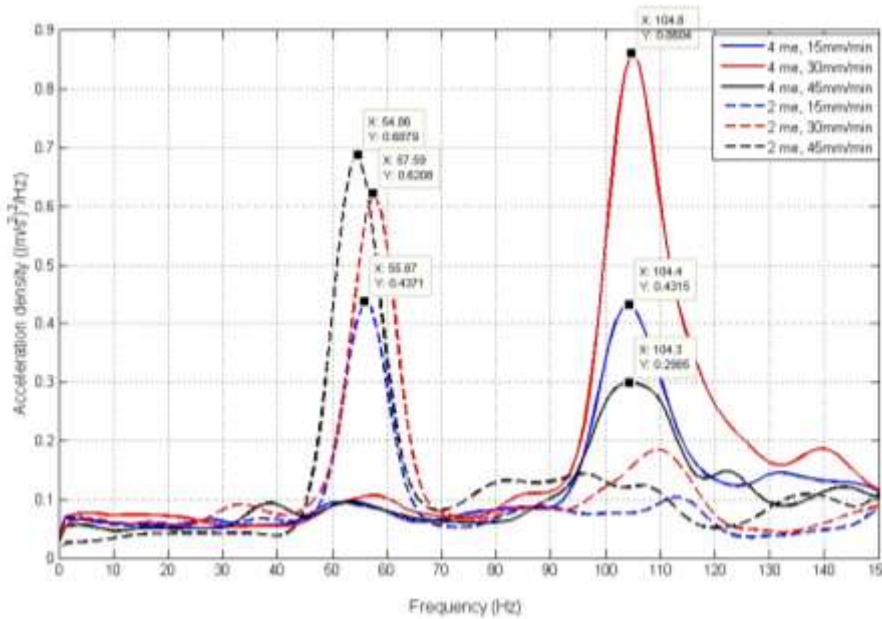
H. 13 Đồ thị phân tích phổ khi thay đổi bước tiế

Bảng 5: Giá trị gia tốc rung động cực đại khi thay đổi bước tiến

Bước tiến (mm/phút)					
15	30	45	60	75	90
17.1898	17.1898	15.9608	17.3741	16.1145	17.6814

Đơn vị: m/s^2

3.1.5 Thí nghiệm 5



H. 14 Đồ thị phân tích phổ khi thay đổi dao cụ

lưỡi cắt thì tần số rung động sẽ cao hơn, điều này cũng đúng khi tốc độ trục chính tăng vì khi tốc độ trục chính tăng thì tần số va đập của lưỡi dao cũng sẽ tăng. Với thí nghiệm thay đổi bước tiến ngoài việc cho thấy khi bước tiến tăng tần số rung động giảm (Hình 13). Các thí nghiệm còn cho thấy tần số rung động riêng của kết cấu máy khoảng 105 Hz.

Bảng 6: Giá trị gia tốc rung động cực đại khi thay đổi dao cụ

Loại dao phay ngón	Bước tiến (mm/phút)	
	15	30
Dao 6mm 4 lưỡi cắt	17.1898	17.1898
Dao 6mm 2 lưỡi cắt	18.9945	17.3434

Đơn vị: m/s^2

Các kết quả thí nghiệm được tổng hợp thành quy luật thay đổi rung động của máy CNC với sự thay đổi các điều kiện gia công được chỉ ra trong Bảng 7.

Bảng 7: Quy luật thay đổi rung động của máy CNC

Điều kiện gia công	Tần số rung động cộng hưởng	Mức độ rung động
Tốc độ trục chính tăng	Tăng	Chưa xác định
Vật liệu độ cứng cao	Chưa xác định	Tăng
Bước tiến tăng	Giảm	Chưa xác định
Số lưỡi cắt tăng	Tăng	Giảm
Chiều sâu cắt tăng	Giảm	Giảm

Trong quá trình sử dụng thực tế và qua thí nghiệm, dễ nhận thấy rằng độ rung động của máy khá cao dẫn đến giảm độ chính xác trong quá trình gia công, gây tiếng ồn lớn và giảm tuổi thọ máy

4. Thảo luận

Như vậy với các thí nghiệm đã thực hiện có thể thấy rằng rung động của máy CNC khi làm việc phụ thuộc vào tốc độ trục chính, vật liệu gia công, chiều sâu cắt, bước tiến và dụng cụ cắt.

Cụ thể, với vật liệu càng mềm thì độ rung động sẽ càng thấp (Hình 11), tương tự như vậy, khi chiều sâu cắt lớn, lực cản cắt của vật liệu lớn (Hình 12) làm cho rung động giảm đáng kể.

Dao cụ với số lưỡi cắt khác nhau sẽ tạo ra rung động với tần số khác nhau (Hình 14), tần số rung động phụ thuộc vào số lần lưỡi cắt của dao va đập vào phôi trong một đơn vị thời gian, do vậy khi dao có nhiều

5. Kết luận và đề nghị

Việc khảo sát rung động đã chỉ ra được quy luật rung động của máy đối với các điều kiện gia công và vật liệu gia công khác nhau, theo đó vật liệu có độ cứng cao, dao với ít số lưỡi cắt và chiều sâu cắt giảm sẽ làm tăng mức độ rung động. Đây là nền tảng cho việc lựa chọn các chế độ cắt và vật liệu gia công hợp lý nhằm tăng hiệu suất làm việc, chất lượng sản phẩm và đảm bảo tuổi thọ cho máy.

Tuy đã cố gắng hết sức nhưng đề tài vẫn còn tồn tại một số hạn chế nhất định. Việc thu thập các tín hiệu rung động do hạn chế về tốc độ lấy mẫu, chưa thể khảo sát được toàn bộ dải tần số rung động nên việc thí nghiệm chỉ phản ánh được các rung động ở tần số thấp.

6. Cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn Nhóm sinh viên Đỗ Thanh Nam, Bùi Thế Hiển, Trần Ngọc Sơn đã tích cực thực hiện thí nghiệm và thu thập dữ liệu trong thời gian thực hiện đề tài song song với đề tài luận văn tốt nghiệp.

Tài liệu tham khảo

- [1] Võ Minh Trí, Trần Ngọc Sơn, Bùi Thế Hiển, Đỗ Thanh Nam. *Chế tạo máy phay CNC mini TSV2013-33*. Đại học Cần Thơ, 2013
- [2] Bùi Thế Hiển. *Giải pháp tổng hợp nâng cao tính khả dụng máy phay CNC TSV2013-33: Ứng dụng các phần mềm CAM để tối ưu hóa chương trình gia công và khảo sát rung động*. Đại học Cần Thơ, 2014
- [3] Cồ Hữu Hưng. *Nghiên cứu xây dựng đồ thị ổn định của máy phay đứng khí gia công thép 45 bằng thực nghiệm*. Đại học Thái Nguyên, 2013
- [4] Ashvin P.Yajnik. *Vibration in machine tools*. University of Gujarat, 1966
- [5] Nguyễn Văn Khang. *Dao động kỹ thuật*. NXB Khoa học và kỹ thuật Hà Nội, 2004
- [6] Linus Pettersson. *Vibrations in Metal Cutting*. Blekinge institute of technology, 2002
- [7] John S. Stewart. *Vibration and balance problem in wood machining*. North Carolina State University, 2000



Võ Minh Trí nhận bằng Kỹ sư Cơ khí nông nghiệp tại Trường Đại Học Cần Thơ năm 1993, bằng Thạc sỹ Cơ khí nông nghiệp tại Trường Đại Học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh năm 1998, và nhận bằng Tiến sỹ Cơ điện tử tại Trường Đại Học Katholieke Universiteit Leuven, Vương quốc Bỉ năm 2010.

Tiến sỹ Võ Minh Trí tham gia giảng dạy tại Trường Đại Học Cần Thơ từ năm 1993 đến nay. Hiện anh đang là Giảng Viên Chính thuộc Bộ môn Tự Động Hóa, Khoa Công Nghệ; giữ chức vụ Trưởng bộ môn Tự động hóa, Khoa Công Nghệ, Trường Đại Học Cần Thơ.