

# XÂY DỰNG HỆ THỐNG THỰC NGHIỆM KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ CẮT TỐI LỰC CẮT TRONG QUÁ TRÌNH GIA CÔNG TIỆN

LÊ DUY TUẤN, NGUYỄN QUỐC HÙNG

*Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh;  
leduytuan@iuh.edu.vn, nguyenuochung@iuh.edu.vn*

**Tóm tắt.** Cắt là một quá trình tăng ứng suất và biến dạng dẻo trên bề mặt phôi. Quá trình này tạo nên ứng suất nén cao và ma sát tiếp xúc lớn trên bề mặt dụng cụ để tạo một lực cắt  $R$ . Lực cắt là thành phần quan trọng ảnh hưởng lớn đến công suất cắt, sự biến dạng của phôi, độ chính xác, sự hình thành phoi và ổn định hệ thống. Trong bài báo xây dựng mô hình thực nghiệm khảo sát ảnh hưởng của chế độ cắt gồm có bước tiến  $f$ , chiều sâu cắt  $t$ , vận tốc  $v$  tới lực cắt tiếp tuyến  $P_z$  trên vật liệu thép kết cấu C45. Kết quả thu được sai số giữa lý thuyết tính toán và thực nghiệm là 5% - 9%.

**Từ khóa.** Lực cắt, vận tốc cắt, bộ thu thập dữ liệu (DAQ), labview

**Abstract.** Cutting is a process of extensive stresses and plastic deformations. The high compressive and frictional contact stresses on the tool face result in a substantial cutting force  $R$ . Cutting forces are the factors for the evaluation of the cutting power in machining and influence the deformation of the workpiece, accuracy, chip formation and machinery system stability. This paper built an experiment system to investigate the influence of cutting parameters including feed  $f$ , depth of cut  $t$ , feed rate  $v$  to a tangential cutting force  $P_z$  on structural steel materials C45. The final results confirmed tolerance between theory and experiments 5% - 9%.

**Key words.** Cutting force, speed cutting, data acquisition (DAQ), labview

## 1. TỔNG QUAN

Quá trình cắt gọt kim loại là một quá trình phức tạp, hiệu suất phụ thuộc vào số lần cắt và điều kiện dụng cụ. Lực cắt ảnh hưởng lớn đến quá trình cắt vì lực sinh ra trong quá trình cắt kim loại cho biết công suất của máy, lựa chọn đúng quá trình cắt và tối ưu hóa các thông số công nghệ giúp tiết kiệm năng lượng trong quá trình gia công, điều khiển quá trình cắt, lực cắt có vai trò quan trọng trong việc xác định các giới hạn phạm vi tối ưu hóa [1].

Kỹ thuật đo lường và điều khiển bằng máy tính đã được ứng dụng, phát triển trong nghiên cứu, quá trình sản xuất giúp cho việc thu thập dữ liệu, theo dõi, xử lý tín hiệu nhằm điều khiển, tối ưu hóa vận hành, quá trình công nghệ đòi hỏi độ tin cậy cao.

Bộ thu thập dữ liệu (DAQ) là quá trình mà tín hiệu vật lý từ thiết bị thực được chuyển thành tín hiệu điện để đo lường và chuyển sang tín hiệu số cho quá trình xử lý, phân tích và lưu trữ bằng máy tính. Bộ thu thập dữ liệu được thiết kế không những chỉ để thu thập dữ liệu mà còn cả chức năng điều khiển. Hệ thống (DAQ) gồm các bộ cảm biến, các thiết bị phân cứng dùng để đo lường và máy tính kết hợp phần mềm lập trình LabVIEW là một ngôn ngữ lập trình đồ họa mà sử dụng các biểu tượng. LabVIEW sử dụng lập trình lưu đồ, các dữ liệu được thu thập, kiểm tra, phân tích, báo cáo, dữ liệu được truyền dẫn qua cổng giao tiếp với máy tính thực hiện mệnh lệnh và các hàm chức năng [7].

Nghiên cứu này tiến hành xây dựng hệ thống thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng tham số vận tốc  $v$ , bước tiến dao  $f$ , chiều sâu cắt  $t$  đối với lực cắt tiếp tuyến  $P_z$  trong quá trình gia công tiện. Thiết bị là sự kết hợp phần cứng card thu thập dữ liệu DAQ, phần mềm lập trình trong môi trường Labview [2] và máy tính giúp tính toán, phân tích, xử lý dữ liệu nhanh và chính xác. Kết quả đánh giá mức ảnh hưởng của chế độ cắt đến lực cắt tiếp tuyến  $P_z$ .

## 2. GIA CÔNG TIỆN VÀ LỰC CẮT KHI TIỆN

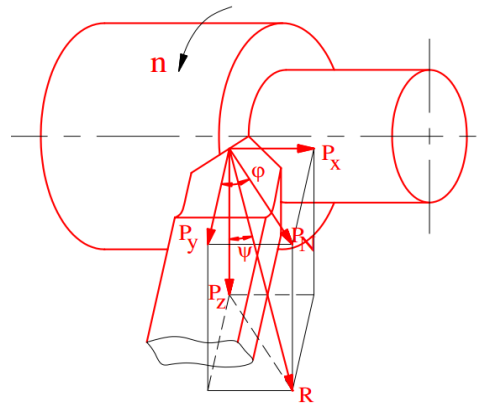
### 2.1 Gia công tiện

Tiện là quá trình gia công cơ khí tạo ra các chi tiết có dạng hình trụ. Lực cắt sinh ra trong quá trình tiện là một hiện tượng động lực học, tức là lực cắt thay đổi theo thời gian.

Muốn tách phôi ra khỏi vật liệu cần gia công phải tác dụng vào phôi một lực thắng được lực liên kết kim loại. Lực cắt có vai trò quan trọng vì biết lực cắt ta sẽ tính toán công suất tiêu thụ của máy... Lực cắt lớn hay nhỏ ảnh hưởng đến tuổi bền dao và chất lượng bề mặt gia công.

### 2.2 Lực cắt khi tiện

Lực cắt được biến đổi dọc theo chiều dài quãng đường gia công chi tiết của dụng cụ cắt. Giá trị lực cắt đạt cực đại tại thời điểm tách phôi ra khỏi chi tiết gia công sau đó lực cắt giảm dần song không tiến về giá trị bằng không vì trước khi kết thúc quá trình dịch chuyển phần tử phôi cắt thì đã bắt đầu biến dạng phần tử phôi khác [3], [4].



Hình 1. Thành phần lực cắt

Trong không gian 3 chiều, lực  $P_N$  lại được hợp thành từ 2 lực thành phần lực dọc trục  $P_x$  và lực hướng kính  $P_y$ . Trong đó:

- Lực  $P_z$  là lực cắt chính. Giá trị của nó cần thiết để tính toán công suất của chuyển động chính, tính độ bền dao, các chi tiết cơ cấu chuyển động chính và các chi tiết khác của máy công cụ, trùng với phương vận tốc  $v$ .

- Lực hướng kính  $P_y$  có xu hướng làm cong chi tiết, ảnh hưởng đến độ chính xác gia công, độ cứng vững của máy và các chi tiết gia công, có phương trùng với phương của chiều sâu cắt  $t$ . Lực này gây rung động trong mặt phẳng ngang.

- Lực dọc trục  $P_x$  tác dụng ngược hướng chạy dao được dùng để tính độ bền dao cắt, chi tiết trong chuyển động phụ..., có phương trùng với phương chạy dao  $f$ . Lực  $P_x$  tác dụng lên cơ cấu chạy dao.

Tổng hợp lực  $\vec{R}$  các lực thành phần:

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (1)$$

Lực tiếp tuyến  $P_z$  là lực cắt chính, chiếm 70-80% lực cắt tổng hợp  $R$  [5], [9].

$$P_z = k_c \times t \times f \quad (N) \quad (2)$$

$$P_z = \frac{k_c \times t \times v}{n} \quad (N) \quad (3)$$

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad (4)$$

Trong đó:

$k_c$  là lực cắt đơn vị (N/mm<sup>2</sup>)

$t$  là chiều sâu cắt (mm)

$f$  là bước tiến dao (mm/vòng)

$k_{c1}$  là hệ số lực cắt của vật liệu (N/mm<sup>2</sup>)

$h_m$  là kích thước phôi cắt (mm)

$\gamma_0$  là góc trước dao

### 2.3 Yếu tố ảnh hưởng đến lực cắt

Lực cắt trong quá trình gia công nói chung và quá trình tiện nói riêng đều chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố khác nhau như: chế độ cắt, vật liệu gia công, vận tốc cắt [3], [4].

*Vật liệu:* lực cắt chịu ảnh hưởng lớn đối với tính chất vật lý và hóa học của vật liệu làm phôi. Lực tiếp tuyến  $P_z$  có thể được xác định dựa vào tiết diện phoi cắt đi và lực cắt đơn vị  $k_c$ . Lực cắt đơn vị  $k_c$  tỉ lệ nghịch với độ dày phoi cắt và tỉ lệ thuận với ứng suất và độ cứng của phôi liệu.

*Vận tốc cắt:* lực tiếp tuyến (lực cắt chính)  $P_z$  thay đổi khi tăng tốc độ của máy. Ban đầu, lực  $P_z$  tăng khi ta tăng vận tốc cắt cho đến khi vận tốc đạt giá trị cực đại, lực tiếp tuyến sẽ bắt đầu giảm và ổn định tại thời điểm mà vận tốc đạt cực đại.

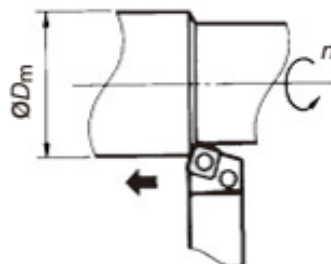
Vận tốc cắt tính toán theo công thức sau:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \left( \frac{m}{\text{phút}} \right) \quad (5)$$

Trong đó:

$D$  là đường kính phôi (mm)

$n$  là tốc độ trục chính (vòng/phút)

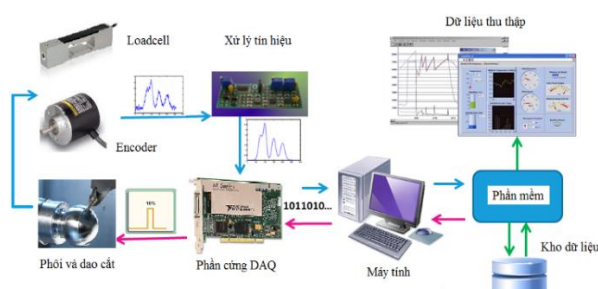


Hình 2. Tiện mặt trụ ngoài

*Chiều sâu cắt:* thành phần tiếp tuyến của lực cắt chịu ảnh hưởng lớn bởi tốc độ ăn dao. Lực cắt thay đổi tuyến tính với độ ăn dao khi ở tốc độ cao nhưng ở tốc độ thấp lực cắt lại thay đổi phi tuyến.

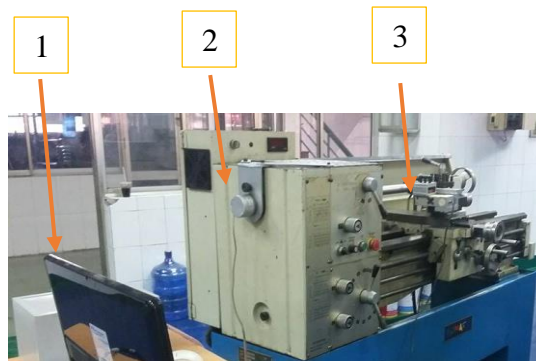
## 3. XÂY DỰNG HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM

### 3.1 Hệ thống thí nghiệm



Hình 3. Sơ đồ khối chung hệ thống

Hệ thống thí nghiệm gồm hai thiết bị đo vận tốc encoder, đo lực cắt loadcell. Trong quá trình thí nghiệm tín hiệu vật lý thu được từ encoder, loadcell chuyển thành tín hiệu điện và được hiệu chỉnh qua mạch xử lý tín hiệu. Tín hiệu sau khi xử lý chuyển qua card thu thập dữ liệu (DAQ) [6] đã gắn vào máy tính. Dữ liệu hiển thị trên máy tính thu được qua ngôn ngữ lập trình LabView [7] có thể lưu trữ, xử lý, phân tích dữ liệu.



Hình 4. Thiết bị tiến hành thí nghiệm

1. Máy tính và tủ điện    2. Bộ gá Encoder    3. Bộ gá Loadcell

Thí nghiệm được tiến hành tại xưởng thực hành tiện thuộc khoa Cơ Khí – ĐH Công Nghiệp TP.HCM với các thông số máy và thiết bị đo như sau:

Bảng 1. Máy tiện BMT 1440VE

Độ chính xác	0,01 mm
Cấp tốc độ của máy	40 ÷ 2200 vòng/phút
Tốc độ dao dọc	0.068 ÷ 0.936 mm/vòng
Tốc độ dao ngang	0.034 ÷ 0.468 mm/vòng
Động cơ	3,7 kW

Bảng 2. Thông số của Loadcell YZC-1B(665)

Tải trọng (Kg)	200
Điện áp biến đổi (mV/V)	2 ± 0.2
Độ trễ (%RO)	≤ ±0.02
Quá tải (%RO/30 phút)	0.02
Cân bằng “0” %RO	±1.0
An toàn quá tải %RO	150

Bảng 3. Thông số cơ bản của Encoder

Độ phân giải	1024 xung/vòng
Nguồn cấp	+5VDC
Tần số hồi đáp cực đại	125kHz
Tốc độ quay cực đại	7200 vòng/phút
Nhiệt độ hoạt động	-10 ~ +70 °C

Bảng 4. Thông số của PCI 6225

Tần số	20 MHz
Ngõ vào/ ra Analog	16 bit
Phạm vi biên độ	± 5 V; ± 10 V
Thời gian lấy mẫu	250 kS/s
Ngõ vào/ ra số	24-bit
Độ phân giải A/D	16 bit
Truyền thông	bus PCI 32-bit

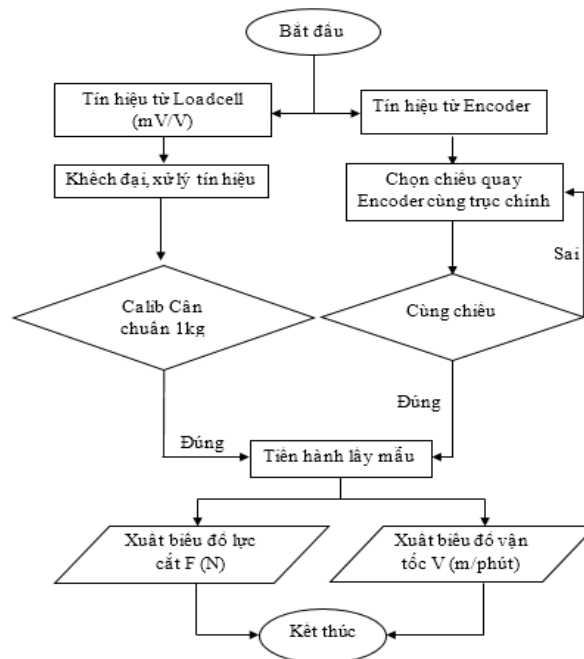
Bảng 5. Thành phần hóa học, cơ – tính thép C45

Thành phần	Giá trị (%)
C	0,45%
Si	0,17 ~ 0,37
Mn	0,50 ~ 0,80
P	0,035 (max)
S	0,04 (max)
Cr	0,25 (min)
Ni	0,25 (min)
Cu	0,25 (min)
Giới hạn bền $\sigma_b$ (MPa)	598
Giới hạn chảy $\sigma_c$ (MPa)	353
Độ cứng HB	197
$K_C$ (N/mm <sup>2</sup> )	1820

Bảng 6. Điều kiện thí nghiệm

Vật liệu	thép C45, 197 HB
Tươi nguội	không
Nhiệt độ môi trường	35 - 37°C.
Tốc độ lấy mẫu	500 mẫu/giây
Góc trước chính dao	15°
Dụng cụ cắt	Dao hợp kim

### 3.2 Phương pháp đo



Hình 5. Lưu đồ quá trình thí nghiệm

**Quá trình thực nghiệm gồm các bước:**

**Bước 1:** Chuẩn bị mẫu và thiết bị cảm biến lên máy tiện.

**Bước 2:** Kết nối dây dẫn từ thiết bị đến card PCI-6225.

**Bước 3:** Thiết lập các thông số cho Loadcell và Encoder.

**Bước 4:** Hiệu chỉnh tín hiệu Loadcell và Encoder.

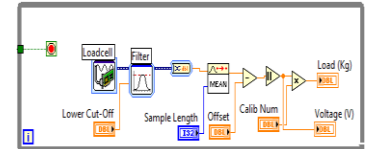
- Calib loadcell với cân chuẩn 1 kg.

- Xác định chiều quay Encoder

**Bước 5:** Tiến hành thực nghiệm và lấy mẫu.

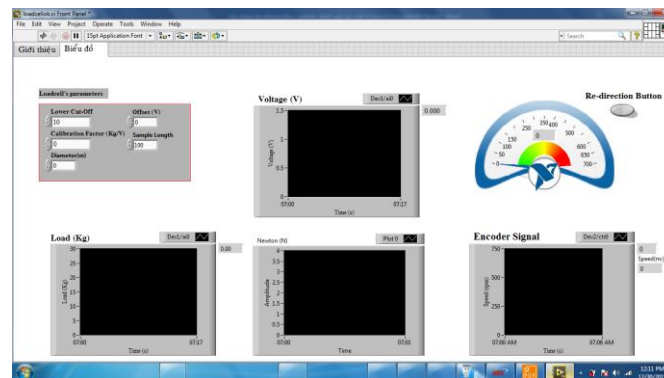
**Bước 6:** Xuất dữ liệu, xử lý số liệu.

**Bước 7:** Đánh giá, phân tích số liệu và nhận xét



Hình 6. Lắp đặt đồ gá encoder, loadcell

Hình 7. Mạch xử lý và lập trình LabView



Hình 8. Giao diện thu thập dữ liệu

## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Thí nghiệm thực hiện đánh giá sự ảnh hưởng của  $t$ ,  $f$ ,  $v$  đối với lực cắt tiếp tuyến  $P_z$  ở điều kiện không tưới nguội.

Vật liệu thí nghiệm được sử dụng thép cacbon C45 là loại thép kết cấu [8] vì loại thép này có độ cứng, độ bền cao được sử dụng nhiều để chế tạo các chi tiết máy như bánh răng, trục... Dụng cụ cắt sử dụng dao hợp kim vì vật liệu C45 có độ cứng cao.

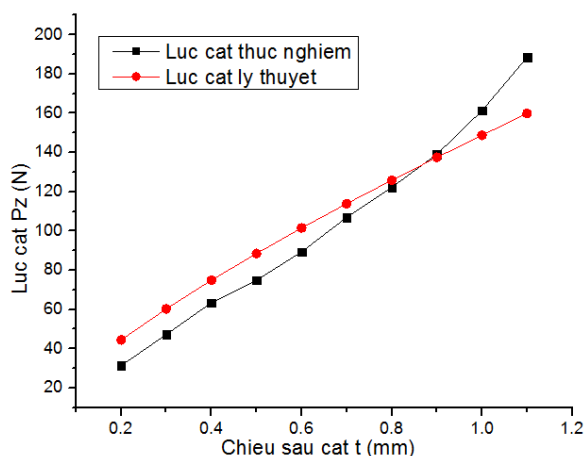
### 4.1 Ảnh hưởng chiều sâu cắt tới lực cắt

Thí nghiệm được thực hiện khi thay đổi chiều sâu cắt  $t$  để khảo sát sự biến thiên lực cắt  $P_z$ .

Dựa vào công thức (2), (4), (5), bảng 7, [9] cho tính toán lực cắt lý thuyết kết quả thể hiện và so sánh lực cắt thực nghiệm  $P_z$  ở hình 11.

Bảng 7. Điều kiện thí nghiệm

Bước tiến	0,103 mm/vòng
Tốc độ trục chính	56,52 m/phút
Chiều sâu cắt	0,2 – 1,1 mm
Đường kính phôi	30 mm
Chiều dài lấy mẫu	100 mm



Hình 9. Chiều sâu cắt  $t$  và lực cắt  $P_z$

Kết quả trên hình 9 cho thấy khi tăng chiều sâu cắt thì kích thước phoi thoát ra lớn nên đòi hỏi lực cắt chính tăng để tách phoi ra khỏi chi tiết. Giữa lý thuyết tính toán và thực nghiệm sai số 5% còn lớn do độ chính xác thiết bị chưa đảm bảo, rung động trong quá trình thực nghiệm.

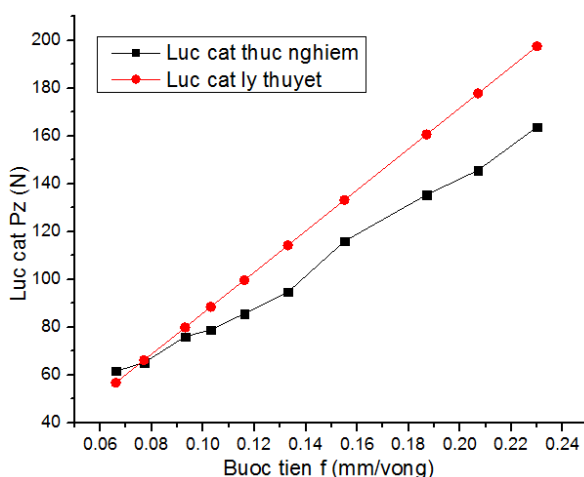
#### 4.2 Ảnh hưởng bước tiến dao cắt tới lực cắt

Thí nghiệm được thực hiện khi thay đổi biến thiên bước tiến dao cắt  $f$  để khảo sát sự biến thiên lực cắt  $P_z$ .

Dựa vào công thức (2), (4), (5), bảng 8, [9] cho tính toán lực cắt lý thuyết kết quả thể hiện và so sánh lực cắt thực nghiệm  $P_z$  ở hình 12.

Bảng 8. Điều kiện thí nghiệm

Chiều sâu cắt	0,5 mm
Bước tiến	0,066 - 0,23 mm/vòng
Tốc độ trục chính	56,52 m/phút
Đường kính phôi	30 mm
Chiều dài lấy mẫu	100 mm



Hình 10. Bước tiến  $f$  và lực cắt  $P_z$

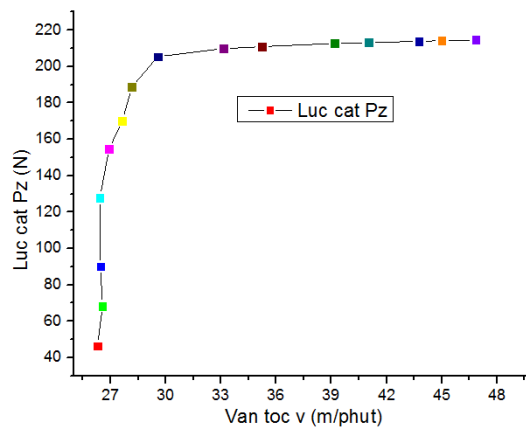
Kết quả trên hình 10 cho thấy khi bước tiến tăng biến thiên thì lực cắt cũng tăng để chống lại liên kết kim loại để tách phoi ra khỏi chi tiết. Giữa lý thuyết tính toán và thực nghiệm sai số 9% còn lớn do độ chính xác thiết bị đo giá loadcell chưa cứng vững.

#### 4.3 Ảnh hưởng vận tốc cắt tới lực cắt

Thí nghiệm được thực hiện khi thay đổi vận tốc cắt  $v$  để khảo sát sự biến thiên lực cắt  $P_z$ . Dựa vào công thức (3), (4), (5), bảng 9, [9] khảo sát được kết quả lực cắt thực nghiệm  $P_z$ .

Bảng 9. Điều kiện thí nghiệm

Thông số	Giá trị
Chiều sâu cắt	0,12 mm
Bước tiến	1 mm/vòng
Vận tốc cắt	26 - 47 m/phút
Đường kính phôi	21 mm
Chiều dài lấy mẫu	100 mm



Hình 11. Vận tốc cắt  $v$  và lực cắt  $P_z$

Hình 11 cho thấy với vận tốc  $v$  ban đầu nhỏ để tách phoi ra khỏi chi tiết thì chỉ cần lực cắt  $P_z$  rất nhỏ thắng lực liên kết kim loại. Khi lực liên kết kim loại đã bị phá vỡ phoi tách ra khỏi chi tiết thì vận tốc  $v$  tăng tỉ lệ với vận tốc trục chính  $n$  thì lực cắt chỉ thay đổi rất nhỏ, duy trì ổn định.

## 5. KẾT LUẬN

Kết quả đã xây dựng được hệ thống thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của chế độ cắt tới lực cắt tiếp tuyến  $P_z$  với dữ liệu thu thập, lưu trữ, phân tích bởi card DAQ PCI 6225 và phần mềm LabView có sự hỗ trợ máy tính cho kết quả nhanh, chính xác, sử dụng dễ dàng.

Quá trình thực nghiệm nhận thấy bước tiến  $f$ , chiều sâu cắt  $t$  thay đổi ảnh hưởng rất lớn đến lực cắt tiếp tuyến  $P_z$ . Vận tốc  $v$  ít ảnh hưởng tới lực cắt. Sai số giữa lý thuyết tính toán và thực nghiệm còn lớn 5% - 9% do quá trình thực nghiệm xảy ra rung động máy, ảnh hưởng momen xoắn  $M$  sinh ra. Khắc phục sai số có thể kết hợp bộ lọc nhiễu và điều chỉnh thiết bị có độ chính xác cao hơn.

Hướng phát triển khảo sát, đánh giá ảnh hưởng chế độ cắt tới lực tổng hợp  $R$ , kết hợp tham số khác như vật liệu dao, dung dịch tưới nguội, góc dao, diện tích phoi, nhám bề mặt  $R_z$ . Khảo sát trên nhiều vật liệu khác nhau đưa ra phương án tối ưu hóa cho quá trình gia công tiện giúp cải thiện năng suất, công suất cắt, chất lượng sản phẩm.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Radovanovicmiroslav, Dasicpredrag, Jankovicpredrag, *Experimental determination of cutting force by longitudinal turning of c60e steel*, page 113-119, MOCM 12 – volume 2 – Romanian Technical Sciences Academy – 2006.
- [2] Piotr Bilski, Wieslaw Winiecki, *Virtual Spectrum Analyzer Based on Data Acquisition Card*, *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, VOL. 51, NO. 1, FEBRUARY 2002.
- [3] Phạm Đình Tân, *Nguyên lý cắt và dụng cụ cắt* - Nhà xuất bản Hà Nội.
- [4] Dr R. R. Malagi, Rajesh. B. C., *Factors Influencing Cutting Forces in Turning and Development of Software to Estimate Cutting Forces in Turning*, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* Volume 2, Issue 1, July 2012.
- [5] Rodrigues L.L.R., Kantharaj A.N., Kantharaj B., Freitas W. R. C. and Murthy B.R.N *Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness and Cutting Force in Turning Mild Steel*, *Research Journal of Recent Sciences* Vol. 1(10), 19-26, October 2012.
- [6] N. PATRASCOIU, A. POANTA, A. TOMUS, B. SOCHIRCA, *Virtual instrumentation used for displacement and angular speed measurements*, *INTERNATIONAL JOURNAL OF CIRCUITS, SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING*, page 164-175, Issue 2, Volume 5, 2011.
- [7] National Instrument, *LabVIEW Data Acquisition Basics Manual*.
- [8] Phụ lục A TCVN 8301: 2009.
- [9] Metalcutting Technical Guide – SANDVIK - <http://www.sandvik.coromant.com/>.

Ngày nhận bài: 03/06/2016

Ngày chấp nhận đăng: 17/03/2017