

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG LƯỢNG TIẾN DAO ĐẾN LỰC CẮT KHI TIỆN THÉP C45 DÙNG MẢNH DAO HỢP KIM CACBIT VONFRAM TRÊN MÁY CNC EMCO CONCEPT TURN 250

A STUDY ON DETERMINING THE FEEDRATE INFLUENCE ON CUTTING FORCE ON TURNING C45 STEEL USING CACBIT VONFRAM CUTTER PIECE ON CNC EMCO CONCEPT TURN 250

Phạm Nguyễn Quốc Huy¹, Lê Minh Sơn², Trần Xuân Tuy¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; pnquochuy24@gmail.com, tranxuantuy@yahoo.fr

²Trường Cao đẳng Giao thông vận tải II; sonminh16@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo giới thiệu phương pháp xác định ảnh hưởng của lượng tiến dao đến các lực cắt thành phần khi gia công tiện thép C45 trên máy tiện CNC Emco Concept Turn 250 bằng dụng cụ đo lực cắt DKM 2010 –TeLC. Tín hiệu đo sự thay đổi của các lực cắt thành phần được chuyển đổi thành tín hiệu số và xuất ra kết quả dưới dạng đồ thị bằng phần mềm XKM. Sử dụng phương pháp qui hoạch thực nghiệm dựa trên tiêu chuẩn Cochran và công cụ Fitting Curve của phần mềm Matlab 2014a để xây dựng công thức thực nghiệm đối với lực cắt chính (P_z) theo lượng tiến dao dọc (s). Từ công thức thực nghiệm vẽ đồ thị ảnh hưởng của lượng tiến dao s đến lực cắt chính khi tiện thép C45 dùng mảnh dao Cacbit Vonfram và kiểm nghiệm độ tin cậy của giá trị lực cắt chính.

Từ khóa - tiện; phương trình lực cắt; lực cắt; lượng tiến dao; máy CNC

Abstract - The article describes the method of determining the feedrate influence on cutting force on using turning material on CNC Emco Concept Turn 250 by cutting force measurement equipment named DKM 2010-TeLC. Measurement signal of changing part cutting forces will be transmitted to digital signals, and export result under graph by XKM software, thereby appreciating the changing part cutting forces. Use the experimental planning method relying on Cochran standard and the Fitting curve toolbox of Matlab 2014 a software to establish experimental formula for the main cutting force (P_z) upon the axial feedrate (s) parameter. From experimental formula, draw graph of the influence of axial feedrate on the main cutting force on turning C45 steel by Cacbit Vonfram cutter piece, and test the reliability of the main cutting force value.

Key words - turning process; cutting force equation; cutting force; CNC machine

1. Đặt vấn đề

Ảnh hưởng của chế độ cắt đến lực cắt đã được nhiều tác giả nghiên cứu bằng nhiều phương pháp khác nhau: phương pháp lý thuyết, phương pháp đo trực tiếp, phương pháp toán thống kê xác suất [1].

Các phương pháp nghiên cứu trên đã đạt được kết quả đáng ghi nhận: Lực cắt có giá trị nhỏ nhất khi tiện thép có độ cứng khoảng 50 HRC, giá trị lực cắt khi tiện thép X12M lớn hơn nhiều so với tiện thép 9XC ở cùng điều kiện gia công và việc tối ưu chế độ cắt khi tiện thép 9XC bằng dụng cụ cắt dùng vật liệu lập phương đa tinh thể (PCBN) phụ thuộc nhiều vào vận tốc cắt ở giá trị khoảng 100m/phút, đồng thời nghiên cứu đã xác định được mô hình hồi qui biểu diễn giá trị lực cắt theo vận tốc cắt “ v ” và lượng tiến dao “ s ” như sau [2]:

$$P_z = 3,719 \cdot 10^{-4} v^{3,30903} s^{1,4971nv-6,6020} \quad (1)$$

$$P_x = 0,0837 v^{2,1426lnv-3,6504} \quad (2)$$

Trong một kết quả nghiên cứu khác khi tiện thép Cacbon thấp dùng mảnh dao TiC loại CNMG 12 04 08 TiN bằng thuật toán Taguchi và mô hình dự đoán Logic mờ có sử dụng thiết bị đo lực kế đã xác định được công thức tính lực cắt (3) và so sánh được sự khác nhau giữa các phương pháp xác định lực cắt (Hình 1) [8]:

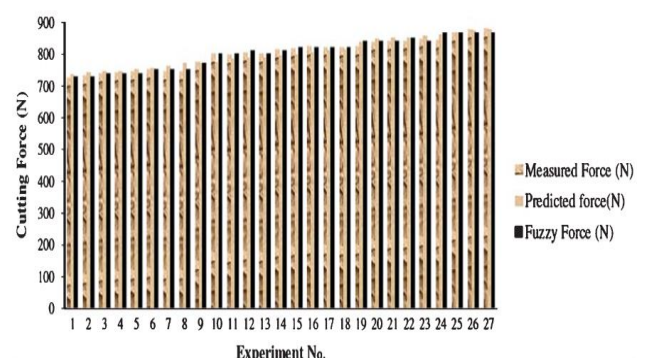
$$R = 707 + 0,23v + 112s + 13,4t \quad (3)$$

Trong đó, tốc độ cắt và lượng tiến dao ảnh hưởng đến 95% lực cắt.

Xác định sự thay đổi lực cắt khi gia công thực tế khá khó khăn do điều kiện thiết bị đo, phụ thuộc vào từng loại vật liệu, phương án chạy dao, vật liệu làm dao, thông số hình

học dao, độ cứng vững của thiết bị, đồ gá, ... cùng một chế độ cắt. Bằng phương pháp đo thực nghiệm và phương pháp toán thống kê, bài báo tập trung nghiên cứu xác định sự thay đổi lực cắt dựa trên sự thay đổi lượng tiến dao khi tiện thép C45 bằng mảnh dao hợp kim Cacbit Vonfram WC. Các thí nghiệm được thực hiện trên máy CNC vì nó cho phép thay đổi vô cấp các thông số chế độ cắt một cách chính xác trong phạm vi rộng. Từ đó xây dựng công thức thực nghiệm để xác định giá trị lực cắt theo lượng chạy doa trong cùng một điều kiện cắt với các chi tiết khác nhau làm bằng vật liệu thép C45, công thức này có thể được áp dụng khi gia công trên máy CNC và các loại máy tiện thông thường.

Các thí nghiệm được thực hiện trên máy tiện CNC 3 trục Emco Concept Turn 250 và dụng cụ đo lực cắt DKM 2010 –TeLC tại Viện Công nghệ Cơ khí và Tự động hóa, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng.



Hình 1. Biểu đồ so sánh giữa kết quả thực nghiệm và dự đoán

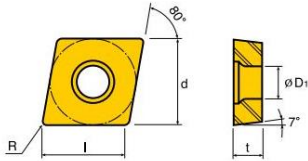
2. Xác định ảnh hưởng của lượng tiến dao “s” đến lực cắt chính P_z

Xây dựng công thức thực nghiệm lực cắt dựa trên sự thay đổi lượng tiến dao (s) khi tiện thép C45 và sử dụng dao tiện mảnh hợp kim Atorn CCMT 09T304-WP HC6620.

2.1. Thông số hình học và vật liệu mảnh dao tiện

Thông số hình học của dụng cụ cắt tạo nên bởi mảnh dao và thân dao như sau:

- Góc trước $\gamma = 0^\circ$, góc sau $\alpha = 7^\circ$;
- Góc nghiêng chính (góc tiến dao) $\varphi = 90^\circ$;
- Góc đỉnh dao: 80° ; Bán kính mũi dao $R = 0,4 \text{ mm}$;
- Chiều dài cạnh cắt: $l = 9,52 \text{ mm}$; chiều dày $t = 3,97 \text{ mm}$.

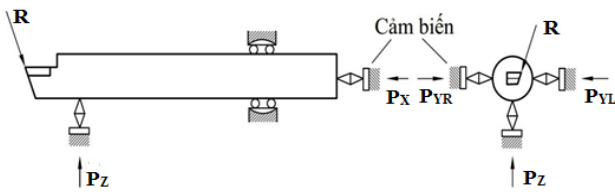


Hình 2. Mũi dao Atorn CCMT 09T304-WP HC6620

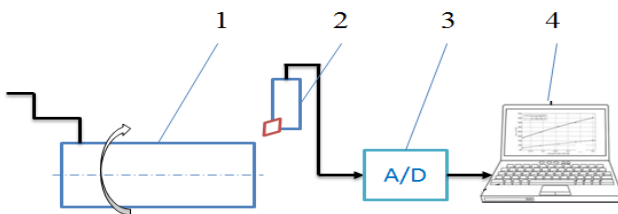
Vật liệu làm mảnh dao gồm hợp kim cứng Vonfram và Coban, có thêm TiC và TaC để tăng thêm độ bền nhiệt và chống mài mòn.

2.2. Lắp đặt thiết bị đo DKM 1010 –TeLC trên máy tiện CNC Emco Concept Turn 250

Xác định lực cắt bằng thiết bị đo DKM 1010 –TeLC (Hình 3) với 5 thành phần: Lực cắt chính – P_z ; Lực chạy dao hướng kính phải/ trái – $P_{YR/L}$; Lực tiếp tuyến – $P_{X+/-}$ (hướng vào/ ra mâm cặp). Lực cắt tối đa 2000N (độ phân giải 1N).



Hình 3. Nguyên lý đo lực cắt của dụng cụ đo DKM 1010 –TeLC



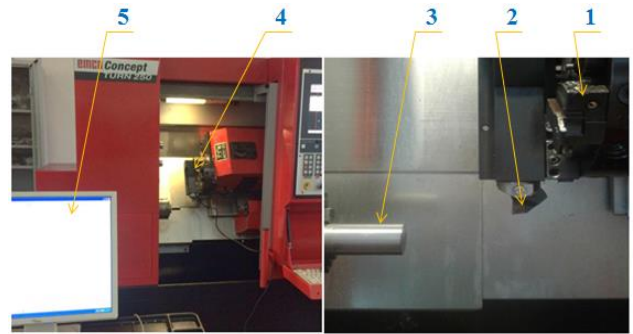
Hình 4. Sơ đồ kết nối dụng cụ đo và xử lý số liệu đo

1: Phôi thép C45; 2: Thiết bị đo DKM 1010 có gá đặt dụng cụ cắt; 3: Bộ chuyển đổi tương tự/số (A/D); 4: Máy tính

Thiết bị đo DKM 1010–TeLC sử dụng cảm biến điện trở (Hình 3) thay đổi theo biến dạng của kết cấu chịu lực gắn trong thiết bị đo do lực cắt gây ra, tín hiệu đo của cảm biến được chuyển thành tín hiệu số thông qua bộ chuyển đổi A/D. Tín hiệu số sau đó được chuyển qua máy tính qua cổng COM và được xử lý bằng phần mềm XKM để xuất ra kết quả dưới dạng đồ thị hoặc bảng (Hình 4).

Khi tiện trên máy CNC Emco Concept Turn 250, thiết

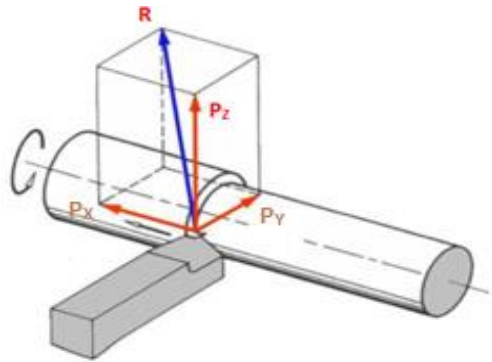
bị đo DKM 1010 –TeLC được gắn cố định vào ụ gá dao tiện và dao tiện được gắn cố định với thiết bị đo (Hình 5). Giữa thiết bị đo và máy tính được kết nối bằng cáp tín hiệu sử dụng cổng COM. Thiết bị đo tác động độc lập không ảnh hưởng đến hệ điều khiển máy CNC.



Hình 5. Gá lắp dụng cụ đo lực cắt DKM 1010 –TeLC trên máy tiện CNC Concept Turn 250

1. Ụ gá dao; 2. Mảnh dao; 3. Phôi thép C45; 4. Thiết bị đo; 5. Máy tính ghi nhận giá trị đo

2.3. Xây dựng công thức thực nghiệm đối với “ P_z ”



Hình 6. Các thành phần lực cắt khi tiện
 $P_z (F_c)$: Lực chạy dao; $P_Y (F_f)$: Lực hướng kính;
 $P_X (F_p)$: Lực tiếp tuyến

Công thức xác định lực cắt tổng quát khi tiện [1], [4]:

$$R = \sqrt{P_X^2 + P_Y^2 + P_Z^2} \quad (4)$$

Trong đó:

$$+ P_z = C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}} \cdot s^{y_{P_z}} \cdot v^{n_{P_z}} K_{P_z} \text{ [N]} \quad (5)$$

$$+ P_y = C_{P_y} \cdot t^{x_{P_y}} \cdot s^{y_{P_y}} \cdot v^{n_{P_y}} K_{P_y} \text{ [N]} \quad (6)$$

$$+ P_x = C_{P_x} \cdot t^{x_{P_x}} \cdot s^{y_{P_x}} \cdot v^{n_{P_x}} K_{P_x} \text{ [N]} \quad (7)$$

2.3.1. Chế độ cắt khi tiện

- Chiều sâu cắt: $t = 0,5 \div 1 \text{ mm}$;
- Vận tốc cắt: $v_c = 120 \div 240 \text{ m/ph}$;
- Lượng tiến dao: $s = 0,12 \div 0,4 \text{ mm/vòng}$;
- Tiện dọc theo phương Z một khoảng 15 mm;
- Điều kiện cắt khô, không bôi trơn làm nguội.

2.3.2. Xác định lực cắt bằng thực nghiệm

Để đảm bảo độ tin cậy số liệu đo thực nghiệm, ta tiến hành 5 lần đo lặp lại khi thay đổi lượng tiến dao s.

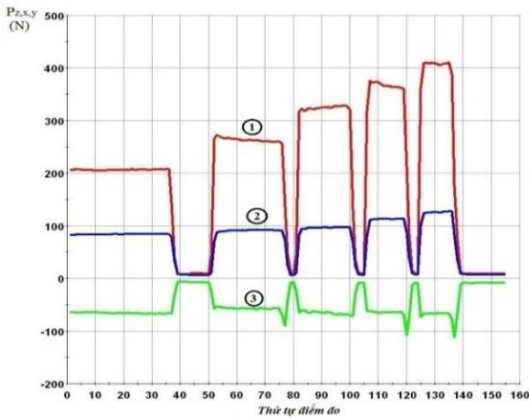
Kết quả đo được ghi nhận và hiển thị dưới dạng đồ thị, với trục đứng thể hiện độ lớn của giá trị lực cắt thành phần P_z , P_y , P_x và trục ngang thể hiện số điểm thu nhận giá trị đo.

Trong lần thực nghiệm này, ta chọn tần số lấy mẫu là 10Hz, tức là trong 1 giây, thiết bị sẽ đo được 10 giá trị.

Thiết lập bộ lọc Filter, khi giá trị lực lớn hơn 30N, thì phần mềm mới thu nhận giá trị đo.

Ta tiến hành đo liên tục với 5 giá trị lượng tiến dao s: 0,12; 0,19, 0,26; 0,33; 0,4 mm/vg trên 5 phôi thép C45 trong 1 lần đo thực nghiệm, lặp lại 5 lần. Kết quả là đồ thị thể hiện 5 đường giá trị lực cắt ứng với 5 giá trị lượng tiến dao tạo thành một chuỗi liên tục. Kết quả đo và xử lý số liệu lực cắt thực nghiệm như sau:

- Khi lượng tiến dao “s” thay đổi, cố định $v_c = 170$ m/ph, $t = 0,5$ mm



Hình 7: Đồ thị kết quả đo lực cắt

1: Đồ thị P_z ; 2: Đồ thị P_y ; 3: Đồ thị P_x

Điểm 1 đến 37: $s = 0,12$ mm/vg;

Điểm 52 đến 76: $s = 0,19$ mm/vg;

Điểm 82 đến 100: $s = 0,26$ mm/vg;

Điểm 106 đến 119: $s = 0,33$ mm/vg;

Điểm 125 đến 136: $s = 0,4$ mm/vg;

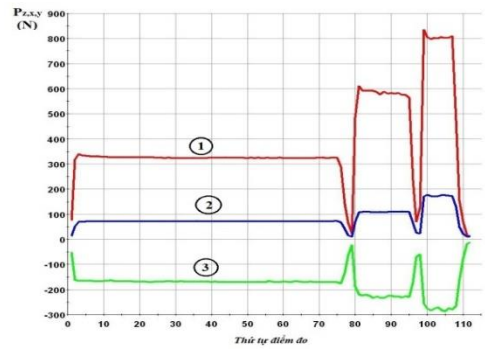
Trong lần đo thứ 1, khi lượng tiến dao thay đổi từ 0,12 – 0,4 mm/vòng thì giá trị lực cắt chính P_z thay đổi từ 207 – 407 N. Đồ thị kết quả ở Hình 7 cho thấy giá trị lực cắt đo được hầu như ổn định trên suốt chiều dài đường cắt ứng với mỗi lượng tiến dao, và thời gian thu nhận dữ liệu đo giảm khi lượng tiến dao tăng, dẫn đến số điểm đo được cũng giảm dần.

Sau khi thực hiện 5 lần đo, lấy trung bình của các giá trị đo được, ta có bảng kết quả sau:

Bảng 1. Kết quả đo khi $s = 0,12 \div 0,4$ mm/vg;
 $v_c = 170$ m/ph; $t = 0,5$ mm

$t = 0,5$ mm; $v_c = 170$ m/ph										
S	Lần 1		Lần 2		Lần 3		Lần 4		Lần 5	
	P_z	P_y	P_z	P_y	P_z	P_y	P_z	P_y	P_z	P_y
0,12	207	84	214	99	159	61	172	64	163	61
0,19	263	90	266	107	226	92	236	92	226	88
0,26	324	96	341	126	309	108	292	118	281	112
0,33	368	113	367	139	337	156	345	142	331	135
0,4	407	126	467	179	377	153	394	165	378	157

- Khi lượng tiến dao “s” thay đổi, $v_c = 170$ m/ph, $t = 1$ mm



Hình 8. Kết quả đo

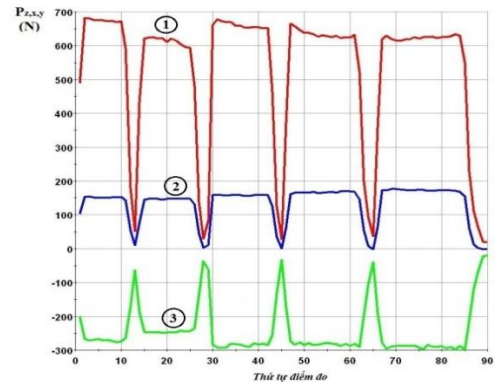
Điểm 2 – 75: $s = 0,12$; Điểm 80 – 95: $s = 0,26$;

Điểm 99 – 107: $s = 0,4$

Bảng 2. Kết quả đo khi thay đổi $s = 0,12 \div 0,4$ mm/vg;
 $v_c = 170$ m/ph; $t = 1,0$ mm

$t = 1$ mm; $v_c = 170$ mm/vg			
s (mm/vg)	0,12	0,26	0,4
P_z (N)	325	585	807
P_x (N)	169	227	276
P_y (N)	71	109	174

- Khi thay đổi vận tốc cắt “ v_c ”:



Hình 9. Kết quả đo lực cắt khi thay đổi v_c (m/ph)

Điểm 2 – 10: $v_c = 240$; Điểm 15 – 25: $v_c = 210$;

Điểm 30 – 42: $v_c = 180$; Điểm 47 – 61: $v_c = 150$;

Điểm 67 – 84: $v_c = 120$

Bảng 3. Kết quả đo khi thay đổi $v_c = 120 \div 240$ m/ph và
 $s = 0,3$ mm/vg; $t = 1$ mm

$t = 1$ mm; $s = 0,3$ mm/vg					
v_c	240	210	180	150	120
P_z	675	614	661	635	624
P_x	271	246	286	282	289
P_y	152	147	158	166	173

Kết quả đo thực nghiệm tại Bảng 1, 2 và 3 cho thấy sự thay đổi của thành phần lực cắt chính P_z là lớn nhất và lực cắt phụ thuộc lượng tiến dao, vận tốc cắt, chiều sâu cắt. Ngoài ra, từ biểu đồ lực cắt khoảng thời gian thay đổi đột ngột lực cắt là rất ngắn, nên dù giá trị lực cắt có thể chưa đủ lớn nhưng lực động do lực cắt gây ra đến kết cấu thân dao, mũi dao và chi tiết là đáng phải quan tâm.

Bảng số liệu đo lực cắt cho thấy, giá trị lực cắt chính P_z

chênh lệch lớn so với lực cắt hướng kính P_Y và P_X . Việc xác định sự thay đổi lực cắt chính dựa vào 3 tham số: s , t và v là rất khó khăn. Vì vậy, bài báo tập trung vào việc xác định sự thay đổi của lực cắt chính P_Z khi thay đổi lượng tiến dao dọc trục s thông qua Bảng 1 và xây dựng công thức thực nghiệm lực cắt chính P_Z .

2.3.3. Xác định phương trình lực cắt chính P_Z [1] và [4]

Bảng 4. Bảng tính phương sai giá trị lực cắt chính P_Z

s	P_Z					$\overline{P_Z}$	$\Sigma(P_{Zi}-\overline{P_Z})^2$	σ_i^2
0,12	207	214	159	172	163	183,00	2634,00	658,50
0,19	263	266	226	236	226	243,40	1555,20	388,80
0,26	324	341	309	292	281	309,40	2321,20	580,30
0,33	368	367	337	345	331	349,60	1167,20	291,80
0,4	407	467	377	394	378	404,60	5481,20	1370,30
Tổng								3289,70

Kiểm tra các giá trị lực cắt thực nghiệm bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm theo tiêu chuẩn Cochran [3]:

+ Kiểm tra tính đồng nhất của phương sai, hay tính ổn định giữa các lần thí nghiệm, với công thức tính phương sai:

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(P_{Zi} - \overline{P_Z})^2}{r-1} \quad (r \text{ là số lần lặp lại: } 5) \quad (8)$$

+ Tính hệ số phân phối xác suất G_{tt} theo tiêu chuẩn Cochran:

$$G_{tt} = \frac{\sigma_{max}^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} = \frac{1370,30}{3289,70} = 0,4165 \quad (9)$$

+ Kiểm định hệ số theo tiêu chuẩn Cochran:

Tra bảng phân phối Cochran:

$$G_b(n, f, p) = G_b(5, 4, 0.05) = 0,5441$$

+ So sánh, ta có: $G_{tt} < G_b$

+ Kết luận: tính đồng nhất của phương sai được chấp nhận.

Từ phương trình lực cắt tổng quát và thành phần (4, 5, 6, 7). Và dựa trên việc thực nghiệm chọn chế độ cắt chỉ có một yếu tố thay đổi là lượng chạy dao s , nên phương trình tổng quát lực cắt chính có thể viết là:

$$P_Z = a * s^b \quad (10)$$

Xác định hàm hồi quy cho lực cắt chính P_Z bằng phương pháp bình phương bé nhất thông qua thuật toán “least square curve fitting” của phần mềm Matlab 2014a, với dạng hàm mũ (Power) bậc 1:

Thuật toán “least square curve fitting”

clc

close all

clear all

Value_sheet_1 = xlsread('file_excel.xlsx');

% doc so lieu tu file excel

S = Value_sheet_1(:,1)

$P_Z = (\text{Value_sheet_1}(:,2) + \text{Value_sheet_1}(:,4) + \text{Value_sheet_1}(:,6) +$

$\text{Value_sheet_1}(:,8) + \text{Value_sheet_1}(:,10))/5$

figure(2);

plot(S,Pz,'r')

% Ve do thi quan he Pz va S

[aa,bb,xData_1,yData_1] = Fitting(S,Pz);

disp('Value of sheet 1')

disp(['Value of R^2 = ',num2str(bb.rsquare)])

disp(['General model Power1: y(x) = ',num2str(aa.a), '*x^',num2str(aa.b)]);

% Tim phuong trinh quan he bang ham Fitting Curve

figure(3)

plot(aa,'b'),hold all

plot(cc,'r')

plot(xData_1,yData_1,'r')

plot(xData_2,yData_2,'r')

legend('Luc cat chinh Pz','Luc huong kinh Py')

grid on

xlim([0.115 0.41])

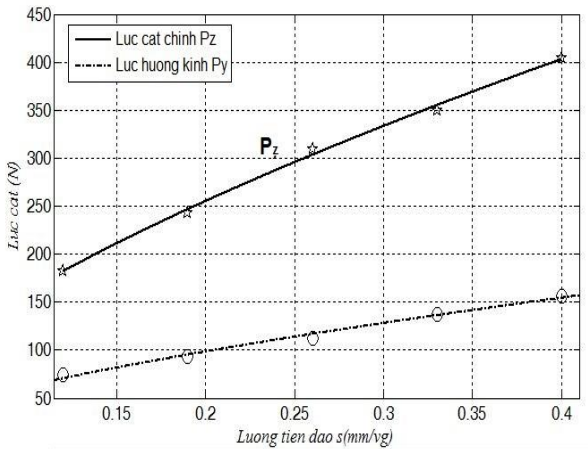
Kết quả tính toán xác định được hệ số a, b:

$$a = 736,2678; b = 0,65844$$

Hệ số hồi quy: $R^2 = 0,9974$

Vậy phương trình lực cắt thực nghiệm:

$$P_Z = 736,2678 * s^{0,65844} \quad (11)$$



Hình 10. Đồ thị hàm lực cắt $P_Z = 736,2678 * s^{0,65844}$

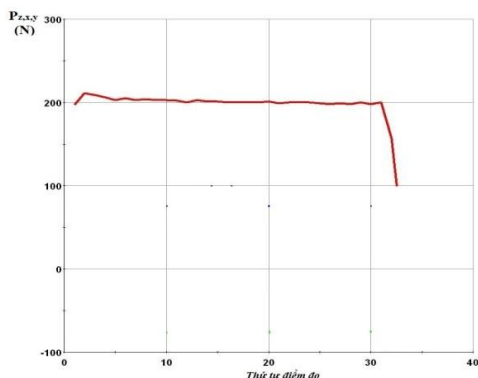
3. Đánh giá và bình luận

Ta nhận thấy lực cắt chính P_Z thay đổi lớn hơn nhiều so với các lực cắt thành phần P_X , P_Y khi thay đổi s . Từ đồ thị lực cắt chính thực nghiệm, ta thấy P_Z gần tuyến tính với tham số lượng tiến dao dọc trục s (Hình 10).

Kiểm nghiệm giá trị lực cắt tính bằng công thức thực nghiệm và đo bằng dụng cụ đo là gần bằng nhau và sai số nằm trong giới hạn cho phép ($\leq 5\%$): Bảng 5 và Hình 11

Bảng 5. So sánh kết quả đo lực cắt chính P_Z bằng thực nghiệm và công thức khi thay đổi s ngẫu nhiên trong khoảng 0,12 ÷ 0,4 mm/vòng

t = 0,5 mm; vc = 170 m/ph; s = 0,15 mm/vg	
Tính theo công thức	$P_Z = 736,2678 * s^{0,65844} = 211 \text{ (N)}$ (sai số 4,46%)
Đo thực nghiệm	$P_Z = 202 \text{ (N)}$



Hình 11. Kết quả đo thực nghiệm P_z khi $t = 0,5 \text{ mm}$; $v_c = 170 \text{ m/ph}$; $s = 0,15 \text{ mm/vg}$

Đối chiếu các công thức thực nghiệm (1), (2), (3) và giá trị đo thực nghiệm, ta nhận thấy lực cắt chính phụ thuộc nhiều vào lượng tiến dao s cho dù vật liệu gia công khác nhau. Với chế độ cắt được xác định ban đầu, ta nhận thấy giá trị lực cắt thay đổi nhưng đảm bảo trong giới hạn cho phép do lực cắt gây ra đối với dụng cụ cắt.

4. Kết luận

Bằng phương pháp đo thực nghiệm, phương pháp kiểm tra tính đồng nhất của phương sai theo tiêu chuẩn Cochran và xử lý kết quả thông qua công cụ Fitting Curve của phần mềm Matlab 2014a, kết quả là đã xây dựng được công thức thực nghiệm quan hệ giữa lực cắt P_z và lượng tiến dao dọc s (11) khi tiện vật liệu thép C45 sử dụng mảnh dao hợp kim Vonfram – Coban (CCMT 09T304-WP HC6620), với chế độ cắt: vận tốc cắt $v = 170 \text{ m/ph}$, chiều sâu cắt $t = 0,5 \text{ mm}$ và lượng chạy dao $s = 0,12 \div 0,4 \text{ mm/vg}$, không bôi trơn làm nguội là:

$$P_z = 736,2678 * s^{0,65844}$$

Đồng thời, từ phương trình lực cắt chính P_z , xây dựng

được đồ thị thể hiện ảnh hưởng của lượng tiến dao s đến P_z khi tiện thép C45 bằng mảnh dao hợp kim Cacbit Volfram đối với các chi tiết trong cùng điều kiện gia công với độ tin cậy cao.

Kết quả trên làm cơ sở tính toán lực cắt để khai thác công suất máy nhằm nâng cao năng suất cắt, đảm bảo độ cứng vững của hệ thống, độ bền của cơ cấu chạy dao của máy CNC và độ bền của mảnh dao. Đồng thời, có thể tham khảo để xác định lực cắt dựa trên nhiều tham số khác nhau: lượng tiến dao và chiều sâu cắt hoặc vận tốc cắt và chiều sâu cắt,... Xác định mối liên hệ giữa lực cắt và nhiệt cắt bằng công thức thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Ngọc Đào, Trần thế San, Nguyễn Ngọc Bình, *Chế độ cắt gia công cơ khí*, NXB Đà Nẵng, 2002.
- [2] Nguyễn Thị Quốc Dung, Nghiên cứu quá trình tiện thép hợp kim qua tôi bằng dao PCBN, *Luận án tiến sĩ kỹ thuật*, Đại học Thái Nguyên, 2012.
- [3] Nguyễn Minh Tuyên (2005), *Quy hoạch thực nghiệm*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [4] Trần Sỹ Túy, Nguyễn Duy, Nguyễn Văn Tự, *Nguyên lý cắt kim loại*, NXB Đại học và trung học chuyên nghiệp, 1977.
- [5] Amit Kumar Malik and VK Gorana, Effects on Cutting Forces in Shaping Operation, *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2015, 2(6): 20-23, ISSN: 2394 - 658X.
- [6] Masood Atahar Khan, Jayant K. Kittur, Vishal. Dutt Kohir, Study and Analysis of Effect of Cutting Parameters on Cutting Forces and Surface Roughness, *Advanced Engineering and Applied Sciences: An International Journal* 2015; 5(3): 63-73, ISSN 2320–3927.
- [7] M.Tech Scholar, B.P. Nandwana Professor, M.A. Saloda, M.S. Khidiya, S. Jindal & S. Barvaliya Associate Professor, Assistant Professor, Professor, M.Tech Scholar, Experimental Analysis of the Cutting Forces in Dry Turning of EN8 Steel, *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, Vol-2, Issue-7, 2016, ISSN: 2454-1362.
- [8] S. Shankar, S.K. Thangarasu, T. Mohanraj and D.S. Pravien, Prediction of cutting force in turning process: An experimental and fuzzy approach, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 28 (2015) 1785–1793, Doi:10.3233/IFS-1.

(BBT nhận bài: 07/06/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 26/06/2017)