

MỘT PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH QUY LUẬT MÒN ĐÁ THÔNG QUA ĐÁNH GIÁ CÁC ĐẠI LƯỢNG LIÊN QUAN ĐẾN MÒN ĐÁ KHI MÀI HỢP KIM TITAN Ti6Al4V

A METHOD FOR DETERMINING THE RULE OF WHEEL WEAR THROUGH EVALUATION OF QUANTITIES RELATED TO WHEEL WEAR WHEN GRINDING TITANIUM ALLOY Ti6Al4V

Phạm Vũ Dũng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 08/3/2019, chấp nhận đăng ngày 16/4/2019

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu phương pháp xác định quy luật mòn đá khi mài phẳng hợp kim titan Ti6Al4V. Thông qua kết quả thực nghiệm nhằm xác định quy luật biến đổi của một số thông số đầu ra vốn được xem là đại diện cho mòn đá. Kết quả nghiên cứu cho thấy các phương trình và đồ thị thể hiện đúng quy luật và khá tương đồng với các nghiên cứu trước đây. Mòn đá ảnh hưởng rõ nét và thống nhất đến tỷ số mài (G), lực cắt (F) và độ nhám bề mặt (R_a). Vì vậy, quan sát bất cứ thông số nào nói trên ta cũng có thể dự báo thời điểm phải sửa đá.

Từ khóa: Mài, lực mài, mòn đá mài...

Abstract: The paper introduces experimental methods to determine the rule of *wheel wear* in surface grinding of Titanium alloy Ti6Al4V. Through experimental results to determine the transformation rules of some output parameters that are considered to represent *wheel wear*. The research results show that the equations and graphs show the rules and are quite similar to previous studies. Grinding *wheel wear* clearly and uniformly affects the grinding ratio (G), cutting force (F) and surface roughness (R_a). Therefore, observing any of the above parameters can also predict the time to fix the *wheel*.

Keywords: Grinding, grinding Force, grinding wheel wear ...

1. GIỚI THIỆU

Để bảo đảm độ tin cậy và hiệu quả của quá trình gia công cắt gọt nói chung, không thể thiếu các thông tin về trạng thái dao, cũng như trạng thái của cả quá trình cắt, trước hết là đánh giá cường độ mòn dao. Do không thể trực tiếp quan sát miền cắt (miền tiếp xúc giữa dao và phôi), nên thông thường cần phải xây dựng các mô hình, hoặc đo một vài thông số nào đó của quá trình cắt, như lực cắt, công suất cắt, nhiệt độ, các tín hiệu khí, rung động, tín hiệu điện... Thông qua việc đánh giá các đặc tính của các tín hiệu này chúng ta có thể đánh giá trạng thái của dao

cắt, sự thay đổi các thông số chất lượng hình học của chi tiết.

Mài là một trong những phương pháp gia công cơ xuất hiện sớm nhất. Trong hàng thế kỷ phát triển của mình, công nghệ mài đã có những bước phát triển vượt bậc. Nhưng không thể phủ nhận rằng ở đó vẫn tồn tại những vấn đề khó giải quyết, một trong số đó là mòn đá.

Mòn đá khi mài cần được hiểu theo nghĩa rộng là sự giảm khả năng cắt của đá, mòn đá không chỉ thể hiện bằng hình học (thể tích, đường kính), mà còn có thể được đánh giá

một cách định lượng qua tín hiệu lực cắt, độ nhám bề mặt, tỷ lệ mài... Quan niệm mòn đá này vừa có ý nghĩa thực tiễn, vừa tạo ra tiền đề khoa học cho giám sát on-line.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mòn đá là yếu tố tích lũy nên giá trị của nó thay đổi liên tục trong quá trình mài. Quy luật mòn đá là quy luật thay đổi của mức độ mòn theo thời gian thực mài, thường được tính bằng thể tích vật liệu phôi bị mài (V). Mòn đá khiến các thông số đầu ra, như lực cắt, rung động, nhám bề mặt... cũng thay đổi theo ngay cả khi chế độ mài không đổi. Điều này mở ra khả năng GSTT mòn đá (không đo được trực tiếp trong quá trình) thông qua các đại lượng đo được.

Việc nghiên cứu phương pháp xác định quy luật mòn đá khi mài nhằm khảo sát quy luật ảnh hưởng của thời gian mài (đại diện bởi lượng bóc vật liệu V) đến các thông số đại diện cho mòn đá: tỷ số mài (G), lực cắt (F_n, F_t), độ nhám bề mặt (R_a, R_{ad}), qua đó thể hiện quy luật mòn đá, đặc biệt khi mài hợp kim Ti6Al4V, là một loại vật liệu khó mài nhưng được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp. Các quy luật này có dạng:

$$G=G(t); F=F(t); R_a=R(t) \dots \quad (1)$$

Với thời gian mài (t) sẽ được thay bằng số hành trình mài (p), hoặc thể tích vật liệu bị mài (V),... Nếu các quy luật này phù hợp thì các đại lượng G, F, R_a sẽ được dùng để đánh giá khả năng cắt, hay mòn đá. Từ đây, có thể xác định được các giá trị giới hạn, tương ứng tuổi bền của đá. Kết quả tìm được sẽ là các phương trình, các đồ thị thể hiện quy luật mòn đá.

3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

3.1. Trang thiết bị thí nghiệm

- Máy mài: máy mài phẳng kiểu ESG-4080AH.
- Đá mài: Sx-S-TB2-G-V1-ds×40×127.

- Vật liệu mài: Hợp kim titan Ti6Al4V
- Hệ thống đo, ghi lực cắt 3 thành phần: hệ thống đo lực cắt 3 thành phần 9257BA, bộ DAQ kiểu NI USB-6008.
- Thiết bị đo độ nhám bề mặt kiểu SJ-201, Hãng Mitutoyo (Nhật),

3.2. Chế độ công nghệ

Thí nghiệm được tiến hành với 1 cấp độ hạt của đá ($S = 60$), 1 bộ chế độ mài: $v_s = 30$ m/s; $v_w = 0,2$ m/s (12 m/ph); $a = 10$ μ m và mài khô.

Chế độ sửa đá: mũi kim cương C9, $a_d = 0,02$ mm/ht; $s = 0,5$ m/ph.

3.3. Các bước thí nghiệm như sau

1. Gá phôi lên lực kế, đặt lên bàn máy sao cho chiều dài của phôi song song với phương chạy dao dọc (phương v_w) và phôi nằm cân giữa 2 mặt phẳng của đá. Gá đồng hồ so ở vị trí đo chiều cao phôi như hình 1.
2. Kiểm tra, đảm bảo các thông số công nghệ được đặt đúng.
3. Sửa đá theo chế độ quy định.
4. Mài sơ bộ để khử sai số ban đầu (đến khi đá ăn đều), au đó mài tia lửa (không ăn dao thẳng đứng) 5 hành trình để loại ảnh hưởng của biến dạng đàn hồi. Đo chiều cao mặt phôi bằng đồng hồ so.
5. Mài 10 lần tiến đá ($p=10$), đo ghi F_n, F_t . Dừng máy đo R_a , ghi vào các cột tương ứng của bảng 1.
6. Mài tia lửa 5 hành trình, dừng máy, đo R_{ad}, H và tính A , ghi kết quả vào các cột tương ứng của bảng 1. Phương pháp đo A, H và tính tỷ số mài G sẽ được trình bày chi tiết trong mục 3.4.
7. Lặp lại các bước 5, 6 mài cho đến khi thấy dấu hiệu giới hạn tuổi bền (khi đó máy có tiếng gằn, rít lên). Toàn bộ kết quả đo được ghi trong bảng 1.

Trong thí nghiệm này, tất cả các đại lượng đều được đo trực tiếp, riêng lượng mòn thể

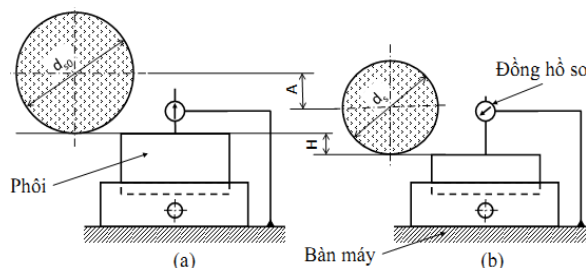
tích của đá V'_s và tỷ lệ mài G được đo gián tiếp nhưng bằng một phương pháp tin cậy hình 1.

Các quan hệ thực nghiệm được biểu diễn dưới dạng hàm mũ $y = a.x^b$; với $x = V'$, là phù hợp.

Với hàm mũ, xử lý tính nên lấy logarit hai vế rồi áp dụng phương pháp hồi quy tuyến tính, thực hiện các nhiệm vụ: đọc dữ liệu, xác định các hệ số và số mũ của hàm hồi quy, vẽ đồ thị các hàm. Các hệ số a , số mũ b tính toán được, được ghi trong bảng 2.

3.4. Sơ đồ đo lượng mòn thể tích của đá và tính tỷ số mài G

Lượng mòn đá có thể được đo bằng nhiều phương pháp khác nhau. Các phương pháp đo tĩnh gồm: đo trực tiếp (đo kích thước, khối lượng của đá hay khối lượng vật liệu đá bị tách ra); đo gián tiếp (đo kích thước âm bản, như profile vết của đá in trên khối vật liệu mềm hoặc lưỡi dao cạo). Các phương pháp đo động gồm: đo tiếp xúc (dùng đầu dò cơ khí, đầu dò gắn với sensor AE) hoặc đo không tiếp xúc (khí nén, thủy động, quang học, sóng điện từ, chất phóng xạ...) [2], [3]. So với mòn dao phay, tiện, đo mòn đá khó hơn nhiều, vì vùng mòn khó tiếp cận, bề mặt đá không nhẵn và chuyển động tốc độ rất cao, tưới dung dịch áp suất và lưu lượng lớn... gây nhiễu. Vì vậy mỗi phương pháp có phạm vi ứng dụng riêng.



Hình 1. Sơ đồ đo lượng mòn thể tích của đá

Trong bài báo này trình bày cụ thể phương pháp đo lượng mòn thể tích của đá, từ đó tính tỷ số mài G cho trường hợp mài phẳng bằng mặt trụ của đá. Sơ đồ đo được thể hiện như hình 1. Giả sử sau lớp trước, phôi và đá

có vị trí như hình 1a và đồng hồ so đã được quy không. Sau khi mài p hành trình với chế độ cắt quy định, mài tia lửa để khử ảnh hưởng của biến dạng đàn hồi trong hệ thống công nghệ, trạng thái của hệ thống như Hình 1b với đường kính đá d_s . Sau mỗi lớp cắt, tâm đá đi xuống một lượng $A=pa$, chiều cao của phôi giảm một lượng H , bằng chiều dày lớp vật liệu bị hớt đi. Do đá bị mòn nên $H < A$.

Thể tích kim loại bị mài được tính:

$$V' = LH \text{ (mm}^3\text{/mm)}. \quad (2)$$

Với: L - diện tích bề mặt chi tiết mài.

Thể tích đá bị mòn được tính như sau:

$$\begin{aligned} V'_s &= \frac{\pi}{4} (d_{s0}^2 - d_s^2) = \frac{\pi}{4} [d_{s0}^2 - (d_{s0} - \Delta d)^2] \\ &= \frac{\pi}{4} [d_{s0}^2 - d_{s0}^2 + 2d_{s0}\Delta d - \Delta d^2] = \pi d_{s0}\Delta R - \pi \Delta R^2 \end{aligned} \quad (3)$$

trong đó, $\Delta d = d_{s0} - d_s$ là hiệu giữa đường kính đá trước và sau khi mài. Bỏ qua thành phần vô cùng bé bậc cao $\varepsilon = -\pi \Delta R^2$, nhận được:

$V'_s \approx \pi d_{s0}\Delta R$ với sai số ε . Sai số tương đối:

$$\varepsilon(\%) = 100 \frac{|\varepsilon|}{V'_s} \approx 100 \frac{\pi \Delta R^2}{\pi d_{s0}\Delta R} = 100 \frac{\Delta R}{d_{s0}} (\%) \quad (4)$$

sẽ rất nhỏ. Theo kết quả thí nghiệm, mòn tích lũy sau 60 hành trình $\Delta R = 0,036 \text{ mm}$, $d_{s0} \approx 400 \text{ mm}$ thì: $\varepsilon(\%) \approx 0,009\%$.

Từ đây, tính được tỷ số mài G :

$$G = \frac{V'}{V'_s} = \frac{LH}{\pi d_{s0}\Delta R} = \frac{LH}{\pi d_{s0}(A-H)} \quad (5)$$

hay:

$$G = \frac{L}{\pi d_{s0} \left(\frac{A}{H} - 1 \right)} = K \frac{1}{\frac{A}{H} - 1} \quad (6)$$

trong đó: $K = L/\pi d_{s0}$, với một thí nghiệm cụ thể là hằng số. Trị số $A=pa$, tính được; còn H đo được nhờ đồng hồ so hay panme đo độ sâu.

Như thấy ở trên, sai số phương pháp đo $\varepsilon(\%)$ vô cùng nhỏ. Sai số phép đo kích thước H

bằng đồng hồ so hoặc panme hiện số, đo tính sau khi mài tia lửa và phôi trong trạng thái nguội sẽ không quá 1%. Nếu biết p_{Σ} là số hành trình mài từ đầu đến hết tuổi bền thì có thể tính được tuổi bền của đá:

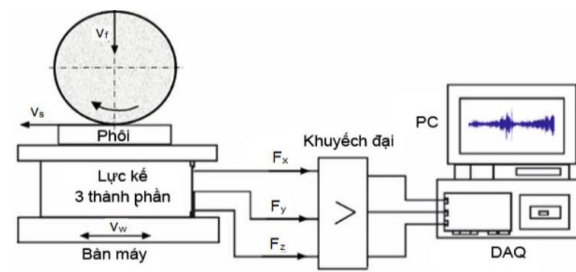
$$\Delta V' = LH_{\Sigma} \approx LA_{\Sigma} = Lp_{\Sigma}a \quad (7)$$

trong đó: chỉ số Σ chỉ giá trị các đại lượng tại thời điểm hết tuổi bền.

Nếu phép đo được thực hiện trong thời gian ngắn thì G được xem là tỷ số giữa tốc độ giảm thể tích phôi và tốc độ mòn thể tích của đá.

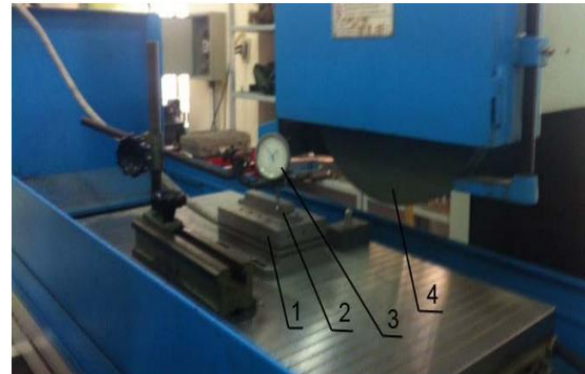
$$G = \frac{Z'_w}{Z'_s} = \frac{Z_w}{Z_s} \quad (8)$$

3.5. Sơ đồ thực nghiệm



Hình 2. Sơ đồ nối ghép hệ thống

Trong hình 3 là ảnh vùng gia công trên máy, có lắp sensor lực 3 thành phần 1, phôi 2, đồng hồ so 3 và đá mài 4.



Hình 3. Hình ảnh máy mài có lắp thiết bị đo

3.6. Kết quả thí nghiệm

Khi mài đến những hành trình ở hàng cuối cùng có hiện tượng máy mài có tiếng gằn, rít lên, gây ra rung động. trên màn hình đo lực, ta thấy các giá trị lực cắt F_n , F_t thay đổi đột biến, giá trị ghi như bảng kết quả số liệu thí nghiệm đo mòn đá ghi trong bảng 1. Vì vậy số liệu ở hàng cuối sẽ được bỏ qua khi xây dựng các quan hệ thực nghiệm.

Bảng 1. Số liệu thí nghiệm đo mòn đá

p (ht)	A (μm)	H (μm)	V' (mm^3/mm)	F_n (N)	F_t (N)	R_a (μm)	R_{ad} (μm)	G
10	100	97	9,70	11,21	6,06	1,75	0,81	2,57
20	100	95	19,00	31,53	9,30	1,85	0,85	1,51
30	100	94	28,20	49,45	16,22	2,05	0,98	1,25
40	100	94	37,60	69,21	25,86	2,20	1,12	1,25
50	100	93	46,50	87,53	47,42	2,55	1,25	1,06
60	100	91	54,60	135,69	75,42	3,15	1,65	0,80
70	100	86	60,20	467,69	205,98	2,45	2,45	0,49

4. XỬ LÝ SỐ LIỆU

Nhiệm vụ của xử lý số liệu thí nghiệm là xác định các quan hệ (1), trong đó thời gian mài

được tính bằng thể tích vật liệu được mài:

$$G = G(V) \quad (9)$$

$$F_n = F_n(V); F_t = F_t(V)$$

$$R_a = R_a(V'); R_{ad} = R_{ad}(V')$$

Các quan hệ thực nghiệm trên thường được biểu diễn dưới dạng hàm mũ. Cho thấy dạng hàm mũ ($y = a.x^b$), là phù hợp. Với hàm mũ, xử lý tính nên lấy logarit 2 vế rồi áp dụng phương pháp hồi quy tuyến tính trong Matlab (chương trình 1) thực hiện các nhiệm vụ: đọc dữ liệu,

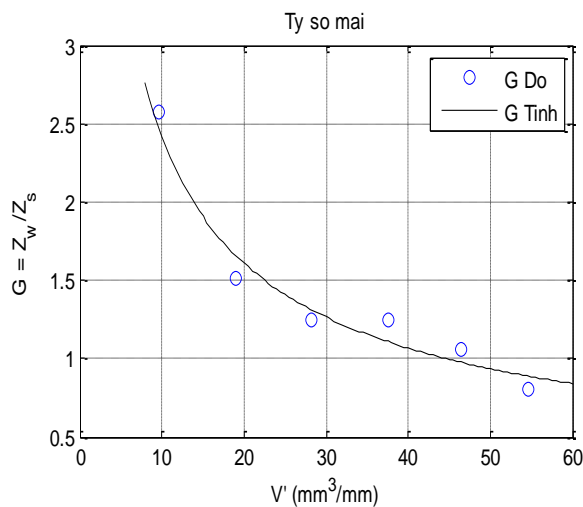
xác định các hệ số và số mũ của hàm hồi quy, vẽ đồ thị các hàm, sẽ nhận được các phương trình và đồ thị:

- Đồ thị hình 4 biểu diễn phương trình (10)

$$G = 9.449(V')^{-0.591} \quad (10)$$

Khi đá bị mòn khả năng cắt của nó giảm dần theo thời gian mài, được thể hiện bằng phương trình (10), đồ thị mòn đá như hình 4. trong đó:

G Data - số liệu đo, G Model - kết quả tính.



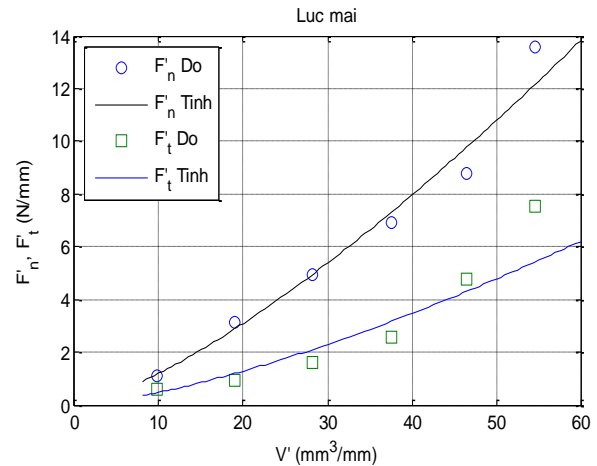
Hình 4. Mòn đá trong quá trình mài

- Đồ thị hình 5 biểu diễn phương trình (11)

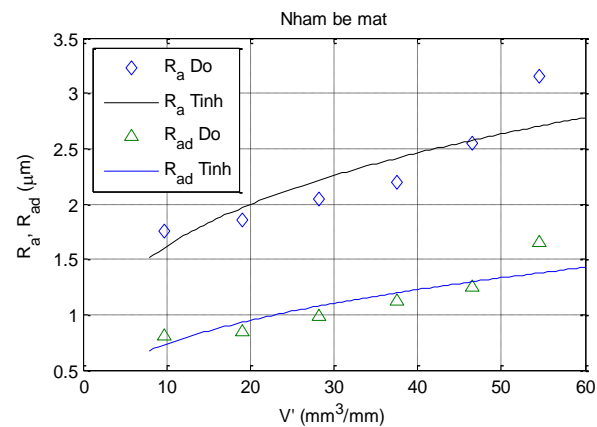
$$\begin{aligned} F'_n &= 0.052(V')^{1.362} \\ F'_t &= 0.018(V')^{1.434} \end{aligned} \quad (11)$$

Trên hình 5 là đồ thị biểu diễn sự biến thiên

của lực cắt theo thời gian mài. Do mòn đá, lực cắt thay đổi theo thời gian như phương trình (11), trên sơ đồ càng về sau dữ liệu càng tản mát và tăng nhanh.



Hình 5. Biến thiên của lực cắt trong quá trình mài



Hình 6. Biến thiên của độ nhám trong quá trình mài

- Hình 6 là đồ thị biểu diễn phương trình (12) Các phương trình độ nhám bề mặt, trước và sau khi mài tia lửa tính được:

$$\begin{aligned} R_a &= 0,807(V')^{0.302} \\ R_{ad} &= 0,313(V')^{0.371} \end{aligned} \quad (12)$$

Quan sát đồ thị trên hình 6, ta thấy R_a và R_{ad} tăng với tốc độ giảm dần theo thời gian mài.

Kết quả tính toán thể hiện rõ các quy luật biến thiên của lực cắt, nhám bề mặt, và mòn đá theo thời gian mài và khá tương đồng với các nghiên cứu trước đây [5].

Bảng 2. Tổng hợp kết quả khảo sát mòn đá

Hệ số và số mũ			Đầu vào	Đầu ra ($y = ax^b$)				
	a	b	$x=V'$	F'_n	F'_t	R_a	R_{ad}	G
F'_n	0,052	1,362	10	1,158	0,455	1,604	0,725	2,467
F'_t	0,018	1,434	20	2,893	1,194	1,966	0,931	1,657
R_a	0,807	0,302	30	4,943	2,101	2,214	1,078	1,312
R_{ad}	0,313	0,371	40	7,228	3,136	2,410	1,195	1,112
G	9,449	- - 0,591	50	9,707	4,280	2,573	1,296	0,979
			60	12,35	5,517	2,714	1,584	0,881

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bài báo đã trình bày khái quát cơ sở lý thuyết về mòn đá phương pháp xác định quy luật mòn đá khi mài hợp kim titan Ti6Al4V. Từ kết quả thu được có thể rút ra các nhận xét:

- Đã xây dựng phương pháp đo lường mòn thể tích của đá V'_s và tính tỷ lệ mài G như sơ đồ hình 1 tuy được đo gián tiếp nhưng đảm bảo độ chính xác cao. Sơ đồ này có thể được sử dụng rất thuận tiện cho giảng dạy và nghiên cứu khoa học.
- Bằng cách xây dựng các quan hệ giữa mòn đá với các yếu tố có liên quan đến mòn đá trong quá trình mài phẳng, qua thực nghiệm tác giả đã xây dựng được các phương trình và đồ thị thể hiện đúng quy luật: Theo thời gian mài được thay bằng số hành trình mài (p) hoặc thể tích vật liệu bị mài (V), đá mòn làm tăng lực cắt, độ nhám bề mặt, giảm tỷ số mài (i). Giữa 2 thành phần lực cắt, $F'_n > F'_t$ nhưng F'_t tăng nhanh hơn. Tương tự, $R_a > R_{ad}$ nhưng R_{ad} tăng nhanh hơn, chứng tỏ khả năng cắt của đá giảm dần theo thời gian cắt;
- Các phương trình và đồ thị xây dựng được, thể hiện đúng quy luật và khá tương đồng với các nghiên cứu trước đây [4], [5]. Mòn

đá ảnh hưởng rõ nét và thống nhất đến tỷ số mài (G), lực cắt (F) và độ nhám bề mặt (R_a). Vì vậy, quan sát bất cứ thông số nào ở trên ta cũng có thể dự báo thời điểm phải sửa đá. Từ đây, có thể xác định các giá trị giới hạn tương ứng tuổi bền của đá.

- Các kết quả đo, ghi được hiển thị rõ ràng, chứng tỏ hệ thống làm việc ổn định và tin cậy.

Chương trình 1. Xử lý và vẽ đồ thị mòn đá

```
% ==== Wheel Wear Curves
% File name: MaiTi_Wear.m
clc;clear;
% ==== Experimental Data
Data=xlsread('Mai_Ti','T_nghiem1',
'A7:H12');% Read Data from Excel
L=100; a=10;b=10; % Grinding
dimensions
p=Data(:,1); V=p*L*a/1000; % mm3/mm
Fn=Data(:,2); Ft=Data(:,3);
Fn=Fn/b; Ft=Ft/b; %N/mm
Ra=Data(:,4); Rad=Data(:,5);
G=Data(:,8);
% ==== Regression
X=[ones(size(V)) log(V)];
Y=[log(Fn) log(Ft) log(Ra) log(Rad)
log(G)];
B=X\Y;
aFn=exp(B(1,1)); bFn=B(2,1);
aFt=exp(B(1,2)); bFt=B(2,2);
aRa=exp(B(1,3)); bRa=B(2,3);
aRad=exp(B(1,4)); bRad=B(2,4);
```

```

aG=exp(B(1,5));bG=B(2,5);
% ==== Recalculation
Vx1=10:10:60;
Vx=10:0.5:60;
Fn_hat=aFn*Vx.^bFn;
Ft_hat=aFt*Vx.^bFt;

Ra_hat=aRa*Vx.^bRa;
Rad_hat=aRad*Vx.^bRad;
G_hat=aG*Vx.^bG;
out=[Fn_hat' Ft_hat' Ra_hat'
Rad_hat' G_hat'];
% ==== Plot
figure(1) % Grinding Forces
plot(Vx1,Fn','o',Vx,Fn_hat,'k',V
x1,Ft','s',Vx,Ft_hat,'b');grid
title('Grinding Forces');
ylabel('F''_n, F''_t (N/mm)');
xlabel('V'' (mm^3/mm)');
legend('F''_n Data','F''_n

Model','F''_t Data','F''_t
Model','Location','NorthWest');
figure(2) % Surface Roughness
plot(Vx1,Ra','d',Vx,Ra_hat,'k',Vx
1,Rad','^',Vx,Rad_hat,'b');
title('Surface Roughness');
ylabel('R_a, R_a_d (¥mum)');
xlabel('V'' (mm^3/mm)');
legend('R_a Data','R_a
Model','R_a_d Data','R_a_d
Model','Location','NorthWest');
figure(3) % Grinding Ratio
plot(Vx1,G','o',Vx,G_hat,'k');gri
d
title('Grinding Ratio');
ylabel('G = Z_w/Z_s');
xlabel('V'' (mm^3/mm)');
%=====

```

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Boswell, B., Islam, M., Pramanik, A. (2013). Sustainable Machining of Aerospace Material, Vol. 3. *World Congress on Engineering (WCE 2013)*. London,
- [2] Darafon, A. (2013). Measuring and Modeling of Grinding Wheel Topography. PhD Thesis, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
- [3] Furutani, K., Katoh, T., Mohri, N. (1999). In-process measurement of wear of grinding wheel by hydrodynamic pressure. Proc. 14th Ann. Meet. Am. Soc. Precis. Eng. Monterey, CA, USA, pp.610-613.
- [4] Yossifon, S: The Grinding of Workpieces Exhibiting High Adhesion. Trans. ASME. 5, 1991.
- [5] Ošťádal, B., Hiep, Dao Van (1989). Optimalizace řezných podmínek při broušení podle kritéria nejmenších kladů. *Sborních VAAZ*, Brno.

Thông tin liên hệ: **Phạm Vũ Dũng**

Điện thoại: 0912703855 - Email: pvdung@uneti.edu.vn

Phòng Đào tạo, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật công nghiệp

