

MỘT PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM NHẪM DỰ BÁO ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ MÀI ĐẾN ĐỘ NHÁM BỀ MẶT MÀI VÀ MÒN ĐÁ KHI MÀI PHẪNG HỢP KIM TITAN Ti6Al4V

AN EXPERIMENTAL METHOD FOR FORECASTING THE EFFECTS OF GRINDING PARAMETERS ON SURFACE ROUGHNESS AND GRINDSTONE ABRASION WHEN FLAT GRINDING Ti6Al4V TITANIUM ALLOY

Phạm Vũ Dũng

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

Đến Tòa soạn ngày 28/02/2020, chấp nhận đăng ngày 12/05/2020

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu phương pháp thực nghiệm nhằm dự báo quy luật ảnh hưởng của chế độ mài đến độ nhám bề mặt và mòn đá khi mài phẳng hợp kim Titan Ti6Al4V - một vật liệu khó mài do có tính dính bám cao. Kết quả tính toán được đối chiếu với các kết quả nghiên cứu của các công trình đã công bố, qua đó đánh giá độ tin cậy của mô hình thực nghiệm.

Từ khóa: mài, đồ thị mài...

Abstract: The article introduces an experimental method to predict the effect of grinding mode on surface roughness and grindstone abrasion when flat grinding Ti6Al4V titanium alloy – a difficult to grind material due to its high adhesion. The calculation results are compared with the research results of published works, thereby the reliability of the experimental model is assessed.

Keywords: grinding, grinding chart...

1. GIỚI THIỆU

Mài là quá trình gia công phức tạp nhất trong các phương pháp gia công cơ, dụng cụ mài có những đặc điểm riêng là có vô số hạt mài trên bề mặt làm việc của đá mài, các hạt mài rất nhỏ, có kích thước, hình dáng, vị trí khác nhau và do đó điều kiện làm việc hoàn toàn khác nhau. Điều đó làm cho quá trình cắt của các hạt mài mang tính vi mô và ngẫu nhiên. Tính ngẫu nhiên càng rõ hơn do sự bong tróc của các hạt mài ra khỏi bề mặt làm việc của đá mài trong quá trình gia công. Vì vậy trong nhiều công trình, nhất là các công trình nghiên cứu của Hiệp hội các nhà công nghệ thế giới (CIRP), người ta coi mài là quá trình chà sát lẫn nhau giữa 2 bề mặt: đá mài và phôi. Do tương tác động: cơ, lý, hóa giữa chúng, cả đá và phôi đều bị hao mòn, biến

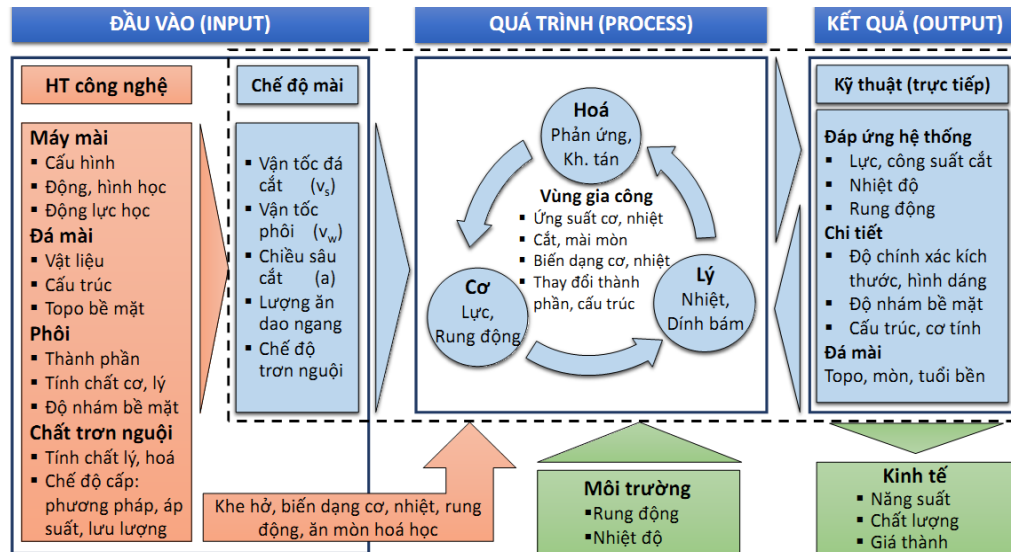
dạng và tính chất cơ, lý, hóa lớp bề mặt của chúng cũng bị thay đổi... Hướng tiếp cận này tuy xuất hiện sau nhưng đã có các công trình nghiên cứu có hệ thống, như của L. Marinescu. Thực ra, ý tưởng ứng dụng nguyên lý tribology trong mài đã xuất hiện ngay trong lòng lý thuyết mài truyền thống. Chính S. Malkin [2] hay nhóm CIRP đã từng dùng hình ảnh chà sát, thậm chí cắt nhau giữa đá và phôi để mô tả quá trình mài. Đại lượng bề dày phoi tương đương h_{eq} theo định nghĩa trong (1) thể hiện rõ quan điểm đó. So với chiều dày phoi tính theo lý thuyết cắt gọt truyền thống, chiều dày phoi tương đương (h_{eq}) không phụ thuộc cấu trúc vi mô của đá, mà chỉ phụ thuộc vào chế độ cắt [7].

$$h_{eq} = \frac{v_w a}{60 v_s} = \frac{Z'_w}{60 v_s} \text{ (mm)} \quad (1)$$

trong đó: v_w được tính bằng m/ph, v_s (m/s), a (mm); Z'_w là năng suất cắt, tính cho 1 đơn vị bề dày cắt ($\text{mm}^3/\text{mm.s}$).

Quá trình mài là quá trình tương tác cơ, lý, hóa giữa các yếu tố trong hệ thống công nghệ (HTCN), thông qua tương tác trực tiếp giữa đá, phôi và chất trơn nguội, được quy định bởi chế độ công nghệ; đồng thời chịu tác động trực tiếp từ HTCN (không thông

qua chế độ đặt) và tác động trở lại (phản hồi) của các thông số ra và của môi trường. Quá trình công nghệ gồm nhiều quá trình phức tạp, lại tương tác qua lại chằng chịt lẫn nhau nên hiểu cặn kẽ về nó là điều không thể và mô tả chi tiết về tất cả các khía cạnh của nó là không nhất thiết. Bù vào đó, các thông số kỹ thuật đầu ra lại phản ánh trung thực diễn tiến của quá trình, là các đại lượng đo được.



Hình 1. Mô hình tổng quát của quá trình mài

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 online.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô hình giám sát mòn đá có dạng tổng quát như:

$$\Delta V' = \Delta V'(v_s, v_w, a, F_n) \quad (2)$$

$$R_a = R_a(v_s, v_w, a, F_n)$$

Cho phép dự báo tuổi bền của đá hoặc độ nhám bề mặt theo các dữ liệu đầu vào (thông số công nghệ) và một số thông số đầu ra đo được (lực cắt, rung động,...). Trong bài báo

này tác giả giới thiệu phương pháp thực nghiệm nhằm dự báo ảnh hưởng của chế độ mài đến chất lượng bề mặt mài và các yếu tố có liên quan đến mòn đá.

Quy luật ảnh hưởng của chế độ mài (v_s, v_w, a) đến độ nhám bề mặt (R_a, R_{ad}), mòn đá ΔV cũng như các thông số có liên quan đến mòn đá như: F_n, F_t, G, \dots , có dạng:

$$F_n = F_n(v_s, v_w, a) \quad \text{hay} \quad F_n = F_n(h_{eq}) \quad (3)$$

$$F_t = F_t(v_s, v_w, a) \quad \text{hay} \quad F_t = F_t(h_{eq}) \quad (4)$$

$$R_a = R(v_s, v_w, a) \quad \text{hay} \quad R_a = R(h_{eq}) \quad (5)$$

$$R_{ad} = R(v_s, v_w, a) \quad \text{hay} \quad R_{ad} = R(h_{eq}) \quad (6)$$

$$G = G(v_s, v_w, a) \quad \text{hay} \quad G = G(h_{eq}) \quad (7)$$

$$\Delta V = \Delta V(v_s, v_w, a) \quad \text{hay} \quad \Delta V = \Delta V(h_{eq}) \quad (8)$$

Các quan hệ trên là cơ sở được dùng để dự báo mòn đá. Ngoài ra, nhờ chúng có thể vẽ

đồ thị mài hoặc tối ưu hóa chế độ công nghệ theo các tiêu chí khác nhau.

Kết quả tính toán sẽ được đối chiếu với các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm, qua đó đánh giá độ chính xác, tin cậy của mô hình thực nghiệm nhằm dự báo ảnh hưởng của chế độ mài đến nhám bề mặt và mòn đá.

Nếu các quy luật được chứng minh là tin cậy thì chúng sẽ là cơ sở để khẳng định tính đúng đắn của mô hình. Các quan hệ (3) đến (8) vừa có tác dụng kiểm nghiệm hệ thống, vừa có tác dụng thực tế trong dự báo nhám bề mặt và mòn đá, cũng như các yếu tố có liên quan đến mòn đá, đó là cơ sở tiến tới xây dựng bài toán giám sát quá trình mài.

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: 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

Mô hình giám sát mòn đá có dạng tổng quát như (2) cho phép dự báo tuổi bền của đá hoặc độ nhám bề mặt theo các dữ liệu đầu vào (thông số công nghệ) và một số thông số đầu ra đo được. Các quy luật ảnh hưởng của chế độ mài đến các thông số đầu ra, dạng (3)-(8). Thực nghiệm được tiến hành với một cấp độ hạt của đá ($S = 60$) và một bộ chế độ mài. Hợp kim Ti rất nhạy cảm với tốc độ của đá, nên rất cần thực nghiệm với các tốc độ khác nhau. Máy mài ESG-4080AH có tốc độ trục đá cố định ($n=1450$ v/ph), đường kính của đá theo tiêu chuẩn của nhà sản xuất, chọn 3 loại: $d_s=[300, 350, 400]$ sẽ nhận được

3 tốc độ cắt $v_s = [22, 26, 30]$ m/s. Vậy tốc độ cắt tính theo công thức $v_s = \pi \times d_s \times n / 1000 / 60$. Chiều sâu cắt $a = [10; 25; 40]$ μm và tốc độ chuyển động dọc của bàn máy $v_w = [6; 15; 24]$ m/ph bao khoảng gia công thông thường của hợp kim Ti (tham khảo [3]), đồng thời nằm trong phạm vi cho phép của máy mài ($v_s < 25$ m/ph).

Với 3 yếu tố và 3 mức, theo lý thuyết quy hoạch thực nghiệm thì mảng trực giao L9, với 9 thí nghiệm là đủ. Tuy nhiên, để tăng tính khách quan trong đánh giá kết quả tính, số thí nghiệm sẽ tiến hành là 27, phân bố theo quy hoạch L27.

Những thí nghiệm không thuộc L9 (18 thí nghiệm) sẽ không được dùng làm dữ liệu đầu vào để tính toán, mà để kiểm nghiệm kết quả.

Bảng BL3 phần phụ lục thể hiện cấu trúc quy hoạch thực nghiệm. Phần đầu mô tả cấu trúc với các yếu tố được mã hóa theo 3 mức 1, 2, 3. Tiếp theo là giá trị thực của các đại lượng vào (v_s, v_w, a). Cột h_{eq} ghi giá trị chiều dày phoi tương đương h_{eq} , sẽ được dùng để vẽ đồ thị mài. Cuối cùng là số liệu đo các đại lượng đầu ra. Các đại lượng $F'_n, F'_t, \Delta V$ đã được tính cho 1mm chiều rộng mài, nghĩa là bằng giá trị đo chia cho b . Vì vậy đơn vị đo của chúng là N/mm và mm^3/mm .

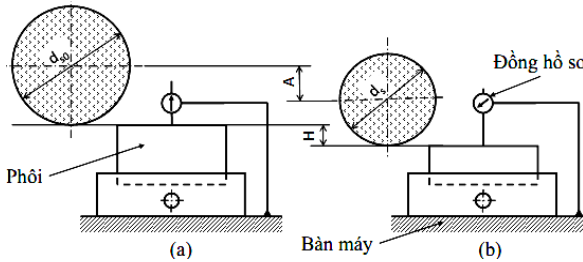
3.3. Các bước thí nghiệm như sau:

- Kiểm tra, đảm bảo các thông số công nghệ được đặt đúng.
- Sửa đá theo chế độ quy định.
- Mài sơ bộ để khử sai số ban đầu (đến khi đá ăn đều), sau 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 phoi bằng đồng hồ so.
- Mài liên tục cho đến khi có dấu hiệu rung động (theo lực cắt, âm thanh). Trong quá trình

mài, đo ghi F'_n, F'_t , đếm số hành trình (p).

- Dùng máy, đo R_a .
- Màit tia lửa 5 hành trình, dùng máy, đo R_{ad} , H và tính A , từ đó tính được tỷ số mài G và tuổi bền $\Delta V' = LH \approx LA = pLa$. Lặp lại các bước trên cho toàn bộ 27 thí nghiệm, ghi số liệu đo vào bảng BP 3.

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



Hình 1. Sơ đồ đo lượng mòn thể tích của đá [5]

Sơ đồ đo được thể hiện trong 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 HTCN, 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 hót đi. Do đá bị mòn nên $H < A$. Lượng kim loại bị mài: $V' = LH$ (mm^3/mm). Lượng mòn của đá được tính như sau:

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

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:

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

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

$$G = \frac{V'}{V_s} = \frac{LH}{\pi d_{s0}\Delta R} = \frac{LH}{\pi d_{s0}(A-H)} \quad \text{hay:} \\ G = \frac{L}{\pi d_{s0}(\frac{A}{H}-1)} = K \frac{1}{\frac{A}{H}-1} \quad (9)$$

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 số hành trình mài từ đầu đến hết tuổi bền p_Σ thì tính được tuổi bền của đá:

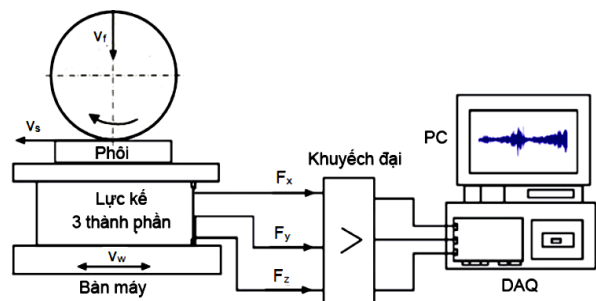
$$\Delta V' = LH_\Sigma \approx LA_\Sigma = Lp_\Sigma a \quad (10)$$

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.

$$G = \frac{Z'_w}{Z'_s} = \frac{Z_w}{Z_s} \quad (11)$$

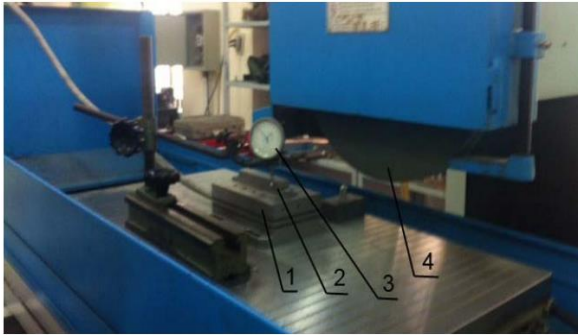
3.5. Sơ đồ thực nghiệm



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

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm rút gọn

| Cấu trúc thí nghiệm | | | | Chế độ mài | | | | | | | | | | Số liệu đo các thông số đầu ra | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-----|------------|-------|-----|----------|-------|-------|-------|----------|------|-------------|--------------------------------|-------|-------|----------|-----|-------------|
| TN | v_s | v_w | a | v_s | v_w | a | i_{eq} | F_n | F_t | R_a | R_{sd} | G | $\Delta V'$ | F_n | F_t | R_a | R_{sd} | G | $\Delta V'$ |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 22 | 0,10 | 10 | 0,05 | 4,26 | 4,25 | 1,42 | 1,01 | 2,84 | 34,22 | | | | | | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 22 | 0,25 | 25 | 0,28 | 14,14 | 10,07 | 3,76 | 2,82 | 1,97 | 21,17 | | | | | | |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 22 | 0,40 | 40 | 0,73 | 17,75 | 12,73 | 6,21 | 3,84 | 1,63 | 16,92 | | | | | | |
| 4 | 2 | 1 | 3 | 26 | 0,10 | 40 | 0,15 | 9,65 | 6,52 | 3,30 | 2,29 | 2,02 | 24,14 | | | | | | |
| 5 | 2 | 2 | 1 | 26 | 0,25 | 10 | 0,10 | 10,35 | 6,70 | 3,01 | 1,96 | 2,22 | 25,03 | | | | | | |
| 6 | 2 | 3 | 2 | 26 | 0,40 | 25 | 0,38 | 20,67 | 14,10 | 6,12 | 3,63 | 1,68 | 17,63 | | | | | | |
| 7 | 3 | 1 | 2 | 30 | 0,10 | 25 | 0,08 | 11,89 | 7,16 | 3,15 | 2,17 | 2,06 | 24,72 | | | | | | |
| 8 | 3 | 2 | 3 | 30 | 0,25 | 40 | 0,33 | 20,24 | 13,64 | 6,81 | 4,00 | 1,56 | 17,36 | | | | | | |
| 9 | 3 | 3 | 1 | 30 | 0,40 | 10 | 0,13 | 16,89 | 11,98 | 4,76 | 2,53 | 1,87 | 20,49 | | | | | | |

4. XỬ LÝ SỐ LIỆU VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

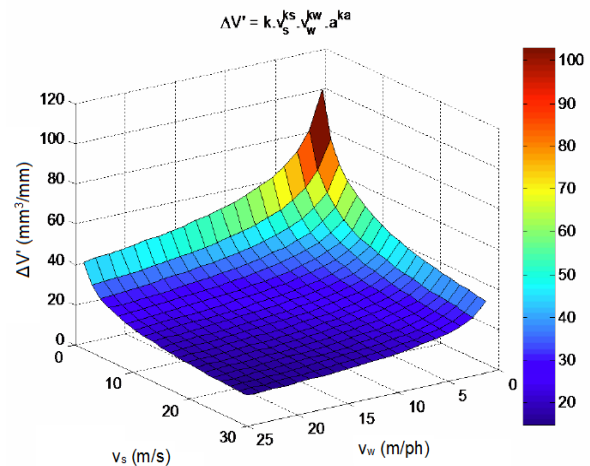
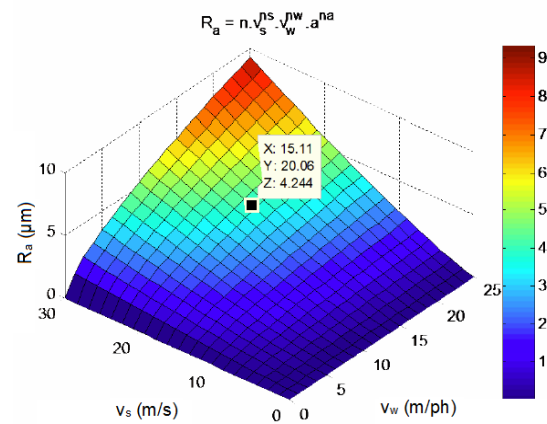
Tính toán được thực hiện dựa trên mảng trực giao L9 trong bảng 1, được trích từ bảng PL3 phần phụ lục. Từ đây, nhận được các quan hệ, mô tả ảnh hưởng của chế độ mài đến các thông số đầu ra theo dạng:

$$y = y_0 v_s^{x_s} v_w^{x_w} a^{x_a} (a)$$

$$\text{hoặc: } y = y_1 h_{eq}^{h_{eq}} (b) \quad (12)$$

Dạng mô hình toán học (12a) là dạng hàm mũ, được dùng phổ biến trong công nghệ cắt gọt kim loại. Trên thực tế dạng này tỏ ra tin cậy và có ưu thế là sau khi lấy logarit thì có dạng tuyến tính, thuận lợi cho tính toán. Dạng (12b) là dạng khác của (12a) sau khi đổi biến theo quan hệ (1), dễ dàng xây dựng và sử dụng đồ thị mài (hình 5) [5]. Chi tiết về quá trình tính toán được thể hiện trong bảng PL.1 và bảng PL.2 ở phần phụ lục.

Tổng hợp giá trị của các hệ số, số mũ đã tính được và sai số trung bình của giá trị tính so với giá trị đo trong bảng 2.



Hình 4. Ảnh hưởng của v_s và v_w đến R_a và $\Delta V'$ ($a=40 \mu m$)

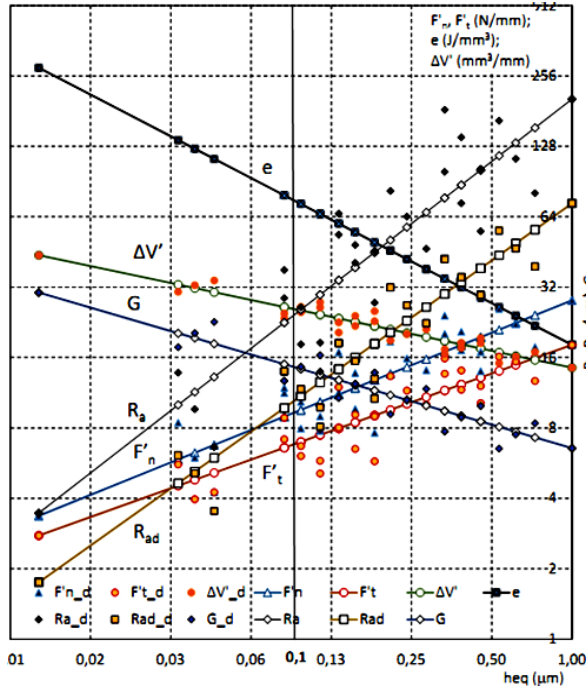
Bảng 2. Tổng hợp kết quả dự báo mòn đá

| Đại lượng | Quan hệ dạng (a) | | | | | Quan hệ dạng (b) | | |
|-------------|------------------|--------|-------|-------|------|------------------|--------|-------|
| | y_0 | x_s | x_w | x_a | SS% | y_1 | h | SS% |
| F_n | 0,093 | 1,432 | 0,617 | 0,396 | 7,07 | 28,123 | 0,461 | 21,87 |
| F_t | 0,626 | 0,804 | 0,571 | 0,303 | 6,46 | 18,136 | 0,408 | 18,71 |
| R_a | 0,047 | 1,209 | 0,602 | 0,463 | 8,33 | 9,593 | 0,492 | 20,76 |
| R_{sd} | 0,105 | 0,750 | 0,479 | 0,479 | 4,06 | 5,421 | 0,450 | 13,70 |
| G | 11,267 | -0,445 | -0,20 | -0,20 | 0,57 | 1,422 | -0,185 | 6,91 |
| $\Delta V'$ | 87,299 | -0,355 | -0,29 | -0,22 | 0,68 | 14,481 | -0,241 | 7,11 |

■ Ảnh hưởng của chế độ cắt đến các đại lượng ra có thể được biểu diễn bằng các đồ thị 3D. Các đồ thị trên hình 4 được vẽ làm ví dụ, các đồ thị khác có dạng tương tự. Ngoài cho phép hình dung một cách trực quan và tổng thể các quan hệ, các đồ thị dạng này còn cho phép tra nhanh thông số đầu ra theo chế độ cắt. Ví dụ, khi $v_s = 15,11$ m/s, $v_w = 20,06$ m/ph, $a = 40 \mu m$ thì $R_a = 4,244 \mu m$ (hình 4).

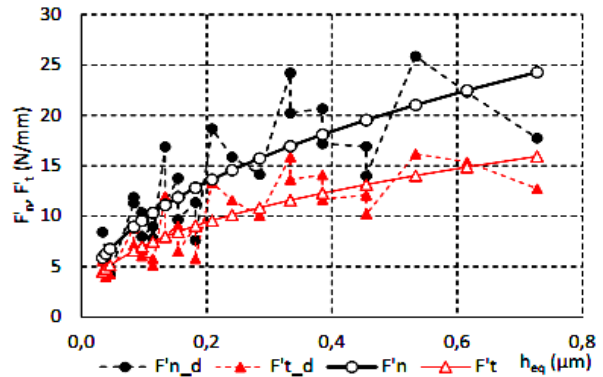
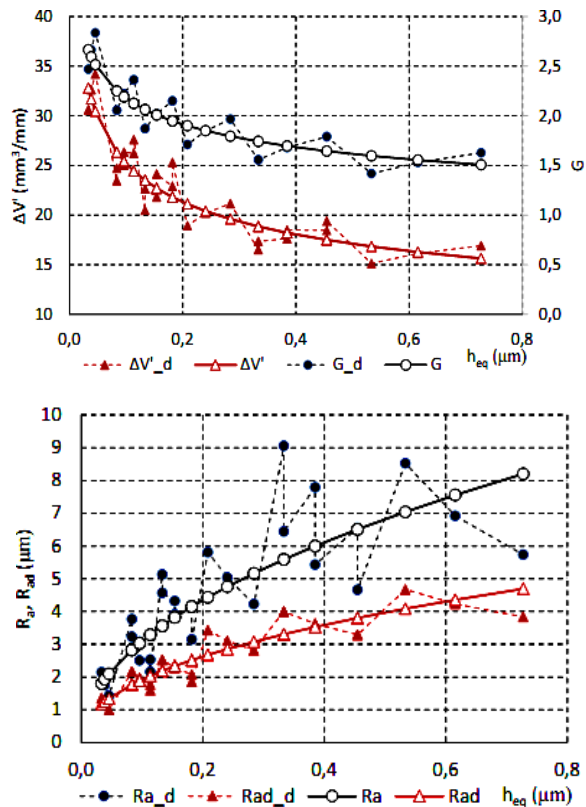
■ Ảnh hưởng của h_{eq} đến các đại lượng ra được thể hiện trên đồ thị mài hình 5 và các

đồ thị trong hình 6. Đồ thị mài thể hiện tổng hợp các mối quan hệ cơ bản của quá trình mài [6].



Hình 5. Đồ thị mài ứng với điều kiện thí nghiệm

Ngược lại, các đồ thị trong hệ tọa độ tự nhiên như trong hình 6 thể hiện rõ hơn quy luật biến.



Hình 6. Các đồ thị theo phương trình (*) dạng (b)

5. TỪ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN CÓ THỂ RÚT RA CÁC NHẬN XÉT SAU

Ảnh hưởng của chế độ cắt đến các đại lượng ra như nhám bề mặt, mòn đá... có thể được biểu diễn bằng các đồ thị 3D. Các đồ thị trên hình 4 được vẽ làm ví dụ, các đồ thị khác có dạng tương tự. Ngoài cho phép hình dung một cách trực quan và tổng thể các quan hệ, các đồ thị dạng này còn cho phép tra nhanh thông số đầu ra theo chế độ cắt.

- Qua kết nghiên cứu ta thấy rằng, các quan hệ của chế độ mài với các thông số đầu ra đều thể hiện đúng quy luật: theo thời gian mài, đá mòn làm tăng lực cắt, độ nhám bề mặt và giảm tỷ số mài;
- Về dạng của các phương trình, các quan hệ dạng (12a) được xây dựng theo dạng hàm mũ là phù hợp với lý thuyết cắt gọt truyền thống, sai số chấp nhận được. Riêng quan hệ dạng (b) sai số lớn và dữ liệu đo (có chỉ số $_d$) tản mạn. Lý do là h_{eq} không được đo trực tiếp mà được tính từ v_s , v_w và a , nên sai số (tương đối) của nó bằng tổng sai số của 3 đại lượng trên.
- Để so sánh, làm rõ đặc điểm mài HKTi, ở trong bảng 3 có tổng hợp các thông số tính toán từ đồ thị mài tại $h_{eq} = 0,1 \mu m$ cho 3 trường hợp: (1) mài hợp kim Ti-6Al-4V của thí nghiệm; (2) mài hợp kim VT6 (tên khác của Ti-6Al-4V) tại Phòng thí nghiệm Học viện Quân sự (VAAZ, Tiệp Khắc) [4]; (3) mài thép 100Cr (1C-1,43Cr).

Bảng 3. So sánh các kết quả thực nghiệm ($h_{eq}=0,1$)

| Vật liệu | F'_n | F'_t | R_a | R_{ad} | G | $\Delta V'$ | e |
|--------------------------------|--------|--------|-------|----------|------|-------------|-------|
| Ti-6Al-4V(BP.2) ⁽¹⁾ | 9,56 | 6,98 | 3,03 | 1,89 | 2,19 | 25,44 | 72,62 |
| VT6 [3] ⁽²⁾ | 8,4 | 6,1 | 2,9 | 2,4 | 1,9 | 23 | 60 |
| 100Cr ⁽³⁾ | 13,3 | 4,7 | 1,04 | 0,83 | 18,9 | 479 | 46,5 |

⁽¹⁾ Dữ liệu của đề tài, điều kiện thí nghiệm được mô tả trong Bảng 1
⁽²⁾ Thực hiện tại PTN Học viện quân sự (VAAZ, Tiệp Khắc). Mài phẳng, đá C48 40J 9V, $v_s=30$, mài khô [5].
⁽³⁾ Dữ liệu của CIRP. Mài tròn ngoài, đá EK60L7VX, $v_s=30$, tuổi SB-C 3%.

Sự so sánh này là tương đối do điều kiện gia công trong 3 trường hợp là khác nhau, nhưng cũng đủ rút ra các nhận xét đáng tin cậy:

- Trường hợp (1) và (2) cùng mài hợp kim Ti-6Al-4V cho số liệu khá tương đồng. Sự sai khác chút ít là khó tránh vì điều kiện mài (thông số kỹ thuật, nguồn cung cấp đá và phôi, máy mài và thiết bị đo) khác nhau. Trong 3 yếu tố chế độ cắt, v_s ảnh hưởng nhiều nhất đến các thông số ra, tiếp sau là v_w rồi mới đến a . Với độ nhám bề mặt trước khi mài tia lửa (R_a), v_w ảnh hưởng mạnh hơn a , còn sau khi mài tia lửa, sự khác biệt giữa các yếu tố giảm đi là phù hợp với thực tế.
- Qua so sánh ở bảng 3 cho thấy có những khác biệt đáng kể giữa mài HKTi và mài thép. Khi mài thép, v_s càng lớn càng tốt, còn với HKTi thì v_s lớn có hại (trong bảng 2, số mũ của F'_n , F'_t và R_a đều dương, có trường hợp $s > 1$, còn của G và $\Delta V'$ có giá trị âm lớn). So sánh số liệu tính với số liệu mài thép 100Cr6 cho thấy khi mài HKTi, độ nhám bề mặt lớn hơn, đá mòn nhanh (tỷ số mài G nhỏ hơn gần 9 lần, tuổi bền $\Delta V'$ nhỏ hơn 19 lần), còn năng lượng riêng (e) cao gấp 1,6 lần.

Nguyên nhân của những khác biệt trên là tính dẻo, dính bám cao, độ dai lớn, độ bền nhiệt cao, nhiệt dung lớn và tính dẫn nhiệt kém của HKTi.

6. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày khái quát cơ sở lý thuyết để xây dựng ảnh hưởng của chế độ cắt đến chất lượng bề mặt mài và mòn đá khi mài phẳng hợp kim titan Ti6Al4V. Qua khảo sát quy luật ảnh hưởng của chế độ mài (v_s , v_w , a)

thông số điều khiển đến nhám bề mặt và các thông số đầu ra đại diện cho mòn đá như: tỷ số mài (G), lực cắt (F_n , F_t), độ nhám bề mặt (R_a , R_{ad}) dạng (12).

Từ kết quả thu được rút ra nhận xét sau:

- Mô hình hồi quy tuyến tính dạng (12) với các hệ số và số mũ được tổng hợp trong bảng 2 mô tả các quan hệ cơ bản của quá trình mài, cho phép dự báo các đại lượng ra theo chế độ mài. Các quy luật được biểu diễn trực quan qua các đồ thị. Các quan hệ dạng (12a) phạm sai số nhỏ hơn và dữ liệu đầu vào ít tản mạn hơn dạng (12b). Các đồ thị dạng này cho phép tra nhanh các thông số đầu ra theo chế độ cắt (hình 4). Vì vậy cho phép hình dung một cách trực quan và tổng thể các quan hệ của chế độ mài với nhám bề mặt và mòn đá.
- Kết quả nghiên cứu được tổng hợp trong bảng 2 và được biểu diễn bằng đồ thị mài (hình 5), đồ thị 2D (hình 6) và 3D (hình 4). So sánh với các công trình đã công bố về mài HKTi [4] cho thấy kết quả nhận được là tương đồng. So với gia công thép, có sự khác biệt đáng kể: v_s lớn có hại trong khi mài thép v_s lớn có lợi; với cùng điều kiện mài, độ nhám R_a lớn hơn, đá mòn nhanh (G nhỏ hơn 9 lần, $\Delta V'$ nhỏ hơn 19 lần), suất tiêu thụ năng lượng (e) cao gấp 1,6 lần.
- Phương pháp nghiên cứu nhằm xác định quy luật ảnh hưởng của chế độ mài đến chất lượng bề mặt và mòn đá khi mài nhằm khảo sát quy luật ảnh hưởng của chế độ cắt đến các đại lượng ra. Ngoài cho phép hình dung một cách trực quan và tổng thể các quan hệ của các thông số trong quá trình mài thông qua các đồ thị, còn cho phép tra nhanh thông số đầu ra theo chế độ cắt (hình 4).
- 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 tiến tới giám sát trực tuyến mòn đá (không đo được trực tiếp trong quá trình) thông qua các đại lượng đo được như ($F_n, F_t, R_a, R_{ad}, G, \Delta_v...$).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Arriandiaga, A., Portillo, E.,... (2014). Virtual Sensors for On-line Wheel Wear and Part Roughness Measurement in the Grinding Process. *Sensor*, 14, pp. 8756-8778.
- [2] Adibi, H., Rezaei, S., Sarhan, A. (2013). Analytical Modeling of Grinding Wheel Loading Phenomena. *Int J Adv Manuf Technol*, Vol. 68, p.373-385.
- [3] Dao Van Hiep (1989). *Optimalizace operace rovinného broušení slitiny VT6. Kandidátská disertační práce*, VAAZ, Brno.
- [4] Malkin, S. *Grinding technology theory and applications of machining with abrasives*. Ellis Horwood Limited, 2014.
- [5] Ošťádal, B. (1986). Využití dyagramů broušení pro stanovení obrobiteľnosti materiálu a řezivosti brousících kotočů. *Sborník 4. seminář. Pokroky ve strojírenské výrobě*, VAAZ.
- [6] Pal, D., Bangar, A., Sharma, R., & Yadav, A. (2012). Optimization of Grinding Parameters for Minimum Surface Roughness by Taguchi Parametric Optimization Technique. *Int. J. of Mechanical and Industrial Engineering (IJMIE)*, Vol. 1, 74-79.
- [7] Tonshoff, H.K., Friemuth, T., Becker, J.C., (2012). *Process Monitoring in Grinding*. Institute of Production Engineering and Machine Tools, University of Hannover, Germany.

Thông tin liên hệ: **Phạm Vũ Dũng**

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

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

