

# NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH LƯỢNG TIẾN DAO TỐI ƯU KHI MÀI PHẪNG HỢP KIM TITAN BẰNG ĐÁ MÀI cBN

DETERMINATION OF THE OPTIMUM FEED RATE IN THE SURFACE GRINDING  
OF TITANIUM ALLOY WITH cBN GRINDING WHEEL

Phí Trọng Hùng<sup>1,2,\*</sup>, Trương Hoàn Sơn<sup>1</sup>,  
Nguyễn Kiên Trung<sup>1</sup>, Hoàng Tiến Dũng<sup>3</sup>

## TÓM TẮT

Hợp kim Ti-6Al-4V (Ti64) là loại hợp kim titan được sử dụng phổ biến nhất trong công nghiệp. Tuy nhiên, hợp kim này bị coi là khó gia công do nó có tỉ số độ bền trên khối lượng riêng cao, dễ bị bám dính và phân tán nhiệt cắt kém. Trong khi đó, đá mài cBN hay được lựa chọn để gia công các kim loại khó cắt gọt do có năng suất cao, độ tin cậy cao, tuổi bền tốt và giảm được các khuyết tật do nhiệt. Nghiên cứu này đánh giá về tính gia công của hợp kim Ti64 khi mài phẳng bằng đá mài cBN kết dính nhựa độ hạt #120. Kết quả cho thấy khi tăng lượng tiến dao hoặc chiều sâu cắt (DOC) thì độ nhám bề mặt tăng và DOC có ảnh hưởng đến nhám nhiều hơn bước tiến dao. Nghiên cứu thực nghiệm cũng chỉ ra lượng tiến dao tối ưu ở khoảng 3000mm/ph sẽ cho độ nhám bề mặt có giá trị nhỏ nhất.

**Từ khóa:** Hợp kim titan, đá mài cBN liên kết nhựa, độ nhám bề mặt, chế độ cắt tối ưu, mài phẳng.

## ABSTRACT

Ti-6Al-4V (Ti64) alloy is the most popular Titanium alloy used in the industry. However, it is described as a difficult-to-process material because of its poor tribological performance, which leads to a higher friction coefficient, severe adhesion, and significantly low thermal dissipation. In grinding process, cubic boron nitride (cBN) grinding wheels are an industrially attractive and long-term stable tool selection for hard-to-machine metallic alloys, due to their high productivity, high cutting reliability, and low thermal damage. This research evaluates the machining characteristics of Ti64 through surface grinding experiments using a resinoid cBN grinding wheel with a grit size of #120. The effect of technology parameters including tangential feeding and depth of cut (DOC) to the surface roughness is presented. The results show that surface roughness is significantly affected by grinding parameters. The increase of feedrate or depth of cut both introduce higher surface roughness. The effect of DOC is more apparent than those of tangential feeding. The experimental results show that optimum feedrate of 3000mm/min would produce the minimum surface roughness.

**Keywords:** Titanium alloy, resinoid cBN grinding wheel, surface roughness, optimum cutting condition, surface grinding.

<sup>1</sup>Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>2</sup>Khoa Cơ khí & Động lực, Trường Đại học Điện Lực

<sup>3</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: hungpt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/3/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2021

## 1. GIỚI THIỆU

Hợp kim Ti-6Al-4V có nhiều đặc tính tốt như tỉ số độ bền trên trọng lượng cao, tính chống ăn mòn tốt và nhiệt độ nóng chảy cao. Vì vậy, nó hay được sử dụng trong các ngành công nghiệp như hàng không vũ trụ, xe hơi, y tế, hóa dầu và phát điện. Do có cơ tính tốt ở nhiệt độ cao nên Ti64 còn được dùng làm khung gầm cho các máy bay và làm vỏ tuabin. Tính chống ăn mòn và tương thích sinh học tốt của nó được ứng dụng làm các bộ phận thay thế trong y học như nha khoa chỉnh hình, xương khớp vai, đốt sống, khớp cổ tay, hông, đầu gối. Tuy nhiên, do Ti64 có tính ma sát lớn nên dễ bị bám dính và nhanh mòn. Ngoài ra, đặc tính hóa cứng nhanh khi gia công khiến nó bị xếp vào một trong các vật liệu khó cắt gọt [1]. Trong thí nghiệm mài Ti64 bằng đá mài cBN của Lin và cộng sự [2], các tác giả nhận thấy rằng lực cắt càng ổn định thì chất lượng bề mặt gia công càng tốt. Điều đó đạt được với bước tiến dao và chiều sâu cắt nhỏ, đồng thời tốc độ quay của đá mài lớn. Mukhopadhyay và cộng sự [3] đã so sánh khả năng gia công Ti64 của đá mài ôxít nhôm và đá mài cacbit silic trong các môi trường khô và ướt bằng nước xà phòng cấp theo chế độ nhỏ giọt. Kết quả cho thấy đá mài silic cacbit tỏ ra vượt trội đá mài ôxít nhôm xét trên các phương diện lực cắt, hệ số mài, chất lượng bề mặt và dạng phoi. Trong nghiên cứu của mình, Zhang và cộng sự [1] đã sử dụng đá mài cBN để mài các mẫu Ti64 bề mặt có hoa văn khắc bằng laser. Tác giả nhận thấy khi gia công các bề mặt có hoa văn thì lực cắt giảm đi 45 - 56% và nhiệt độ cắt giảm đi 41 - 52% so với bề mặt không có hoa văn.

Trong các loại hạt mài thì hạt mài cBN thường được lựa chọn để gia công các vật liệu khó cắt gọt do có năng suất cao, độ tin cậy cao và tính dẫn nhiệt tốt. Trong các loại đá mài cBN thì đá mài cBN chất kết dính nhựa có khả năng đạt được chất lượng bề mặt cao và chịu va đập tốt [4]. Bhaduri và cộng sự [5] đã sử dụng 3 loại đá mài là đá mài cBN mạ đồng một lớp, đá mài ôxít nhôm trắng và đá mài ôxít nhôm xám để mài thép AISI 1020 trong các môi trường mài khô, làm mát bằng Nitơ lỏng và làm mát bằng dầu nguyên chất. Đá mài cBN đã thể hiện sự vượt trội so với hai loại đá mài ôxít nhôm xét cả trên phương diện lực cắt và mòn đá.

Trong khi đó, Li và cộng sự [6] lại nghiên cứu quá trình mài hợp chất nền titan có hạt tăng cường (PTMCs) bằng đá mài cBN mạ đồng một lớp khi mài thông thường (CSG) và mài cao tốc (HSG). Kết quả cho thấy lực cắt khi mài thông thường lớn hơn khi mài cao tốc. Shen và cộng sự [4] đã thực hiện các thí nghiệm mài thép mactensit già hóa C-250 bằng đá mài cBN chất kết dính nhựa và đá mài cBN mạ đồng trong các môi trường khô và ướt. Tác giả nhận thấy đá mài cBN mạ điện phù hợp hơn đá mài cBN kết dính nhựa khi mài khô. Còn khi mài ướt thì dung dịch trơn nguội giúp cải thiện chất lượng gia công của đá mài cBN kết dính nhựa nhiều hơn so với đá mài cBN mạ đồng.

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của lượng tiến dao và chiều sâu cắt đến độ nhám bề mặt hợp kim Ti64 khi mài phẳng bằng đá mài cBN. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiến hành tìm lượng tiến dao tối ưu mà tại đó độ nhám có giá trị nhỏ nhất. Kết quả nghiên cứu sẽ giúp cho việc lựa chọn đá mài và chế độ cắt phù hợp khi gia công hợp kim Ti64.

## 2. SƠ ĐỒ THÍ NGHIỆM

Trong hợp kim Ti-6Al-4V có 6% nhôm (Al) để ổn định pha alpha và 4% vanadi (V) để ổn định pha beta. Lượng nhôm và vanadi này cũng giúp cải thiện độ bền ở nhiệt độ thấp và cao, đồng thời tăng khả năng tạo hình và tính chống ô xi hóa của hợp kim Ti64. Hợp kim Ti64 ủ là loại hay được sử dụng với nhiệt độ làm việc lên đến 399°C. Nhiệt độ ủ là 704 - 788°C trong vòng 2 giờ, sau đó làm nguội trong không khí. Để đạt được độ dẻo và độ bền mỏi cao hơn, hợp kim này cũng thường được nung nóng đến nhiệt độ 954°C trong 2 giờ rồi làm nguội trong lò. Bảng 1 trình bày các đặc tính cơ nhiệt của hợp kim Ti64 ủ.

Bảng 1. Đặc tính cơ nhiệt của hợp kim Ti-6Al-4V ủ

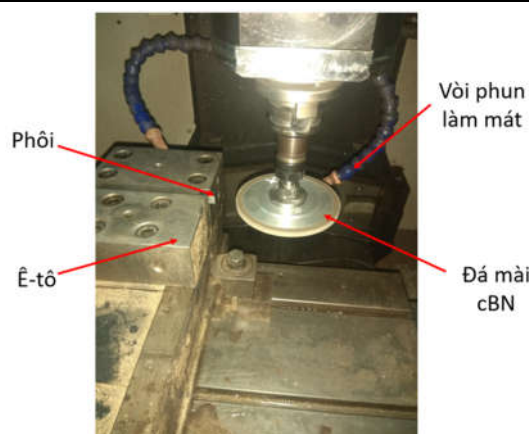
Đặc tính	Giá trị
Độ bền kéo [MPa]	900
Giới hạn chảy [MPa]	830
Độ giãn dài [%]	10
Mô đun đàn hồi [GPa]	114
Độ cứng tế vi (HV)	349
Độ bền nén [MPa]	860
Độ bền mỏi [MPa]	510
Nhiệt độ nóng chảy [°C]	1604 ÷ 1660
Hệ số dẫn nhiệt [W/m.K]	6,7
Nhiệt dung riêng [J/g°C]	0,5263

Thí nghiệm mài phẳng hợp kim Ti64 được thực hiện trên trung tâm gia công CNC trực đứng cao tốc HS Super MC500, Fuhong Machinery Co., Đài Loan. Hình 1 mô tả sơ đồ thí nghiệm. Dụng cụ cắt là đá mài cBN có đường kính 100mm và độ hạt #120. Các thông số công nghệ của quá trình mài được trình bày trong bảng 2. Bước tiến dao có các giá trị 1000, 3000, 6000 và 10000mm/ph. Các chiều sâu cắt được chọn là 0,005; 0,01 và 0,015mm. Cơ sở để lựa chọn dải thông số trên là dựa trên tra Sổ tay Công nghệ chế tạo máy và tham khảo các bài báo đăng trên các tạp chí quốc tế uy tín. Tổng cộng có tất cả 24 thí nghiệm được thực hiện dưới

hai môi trường mài khô và mài ướt, trong đó mỗi thí nghiệm được tiến hành lặp lại 2 lần để đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy của kết quả. Đá mài được sửa bằng mũi sửa đá kim cương đa hạt. Lực cắt đo bằng lực kế áp điện Kistler 9139AA, trong khi máy đo nhám Mitutoyo SV-2100 được sử dụng để đo độ nhám bề mặt các mẫu gia công theo phương vuông góc với hướng mài.

Bảng 2. Các thông số công nghệ của quá trình mài

Chế độ mài	Mài bằng chu vi đá, mài nghich
Phôi	Ti-6Al-4V ủ (16mm × 10mm × 9mm)
Đá mài	Đá mài cBN kết dính nhựa: cBN120 D100 T8 H20 X5 U6
Máy mài	Trung tâm gia công trục đứng cao tốc (HS Super MC500)
Tốc độ cắt ( $v_c$ )	30m/s
Lượng tiến dao (F)	1000, 3000, 6000 và 10000mm/ph
Chiều sâu cắt (t)	0,005; 0,01; 0,015mm
Chiều rộng cắt (b)	4,5mm
Môi trường	Mài khô và Mài ướt bằng dầu cắt gọt tổng hợp



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm

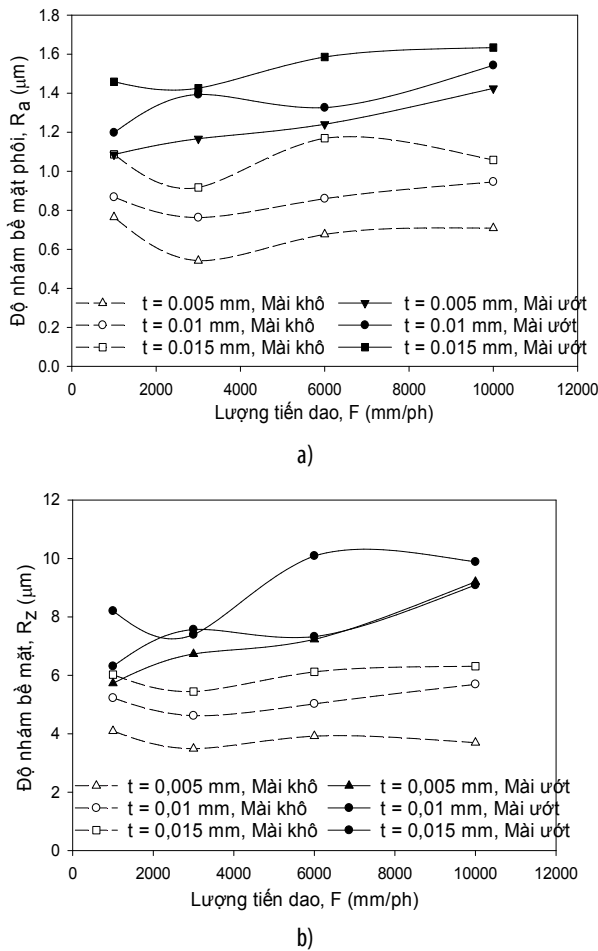
## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Xác định ảnh hưởng của các thông số công nghệ và miền giới hạn của lượng tiến dao tối ưu

Chất lượng bề mặt là một trong các chỉ tiêu đáng tin cậy khi đánh giá một quá trình mài và nhám bề mặt là một trong số các thông số quan trọng để đánh giá chất lượng của một bề mặt. Độ nhám bề mặt phụ thuộc vào kích cỡ hạt mài, chế độ sửa đá, chế độ cắt, hệ số bóc tách vật liệu và chế độ bôi trơn làm mát. Hình 2 là đồ thị độ nhám bề mặt của hợp kim Ti64 khi thực hiện thí nghiệm ở chế độ mài khô và mài ướt.

Kết quả thực nghiệm trong hình 2 cho thấy hầu hết khi tăng lượng tiến dao từ 1000 đến 10000mm/ph thì độ nhám  $R_a$  và  $R_z$  đều tăng. Cụ thể là nhám bề mặt giảm dần khi F tăng từ 1000 đến 3000mm/ph. Còn khi F lớn hơn 3000mm/ph thì nhám lại tăng khi F tăng. Nhìn chung, tăng bước tiến dao có ảnh hưởng xấu đến nhám bề mặt do làm tăng tải trên các hạt mài, tăng nhiệt độ mài, lực cắt và mòn đá [7]. Phoi bị bám dính trên bề mặt phôi nhiều hơn cũng khiến  $R_a$  và  $R_z$  tăng cao. Ngoài ra, lực cắt tăng khiến biến

dạng dẻo tăng cũng làm tăng nhám [8]. Kết quả thí nghiệm cho thấy tại lượng tiến dao  $F = 3000\text{mm/ph}$  thì đồ thị độ nhám có giá trị đột biến. Kết quả thí nghiệm lại chỉ ra rằng khi mài khô, độ nhám nhỏ nhất đạt được tại  $F = 3000\text{mm/ph}$  với các chiều sâu cắt khác nhau được tiến hành cắt thực nghiệm. Do đó, một số thí nghiệm với giá trị của  $F$  xung quanh  $3000\text{mm/ph}$  (mài khô) cần được tiến hành bổ sung để xác định biến thiên độ nhám trong khoảng đột biến này. Từ đó, có thể dự đoán được miền gia công tối ưu và điểm lượng tiến dao tối ưu cho quá trình mài phẳng hợp kim Ti64 bằng đá mài cBN.

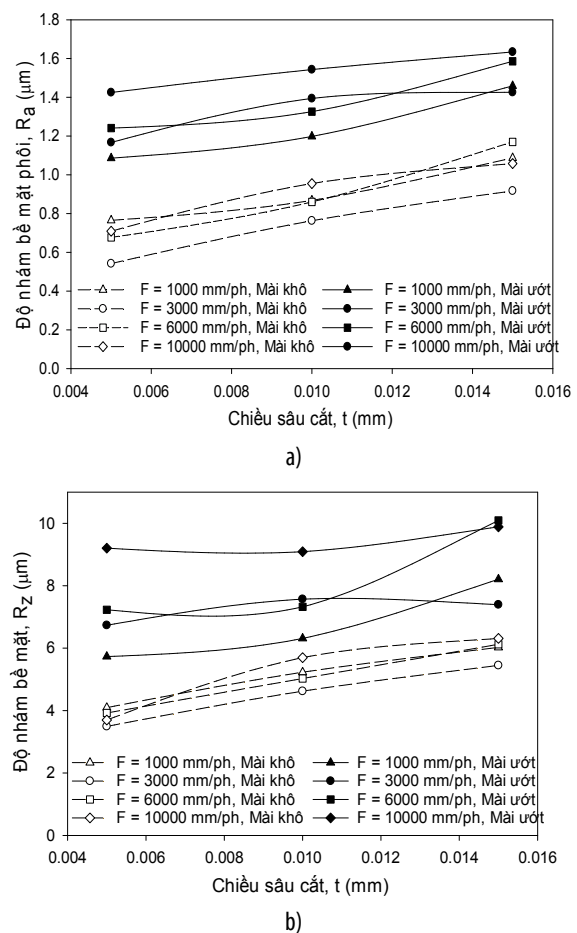


Hình 2. Ảnh hưởng của lượng tiến dao đến độ nhám bề mặt  $R_a$  (a) và  $R_z$  (b) dưới hai chế độ mài khô và mài ướt

Điều đặc biệt là nhám bề mặt khi mài ướt được dự đoán phải thấp hơn mài khô do có nhiệt độ mài thấp hơn. Tuy nhiên, từ kết quả thực nghiệm cho thấy độ nhám khi mài ướt đều lớn hơn mài khô (lớn hơn 80%) với tất cả các lượng tiến dao. Khi mài ướt, do tác dụng của dung dịch trơn nguội, các hạt mài duy trì được độ sắc trong thời gian lâu hơn, hiện tượng cắt gọt của hạt mài chiếm ưu thế, tạo ra các đỉnh nhọn trên bề mặt phôi khiến nhám tăng. Nhám khi mài ướt lớn hơn nhiều khi mài khô một phần cũng là do dung dịch trơn nguội quá thấp (nồng độ 2%) nên tác dụng của dung dịch trơn nguội về khía cạnh ma sát là không đáng kể. Khi mài khô, hạt mài mòn nhanh khiến hiện tượng

cọ xát và cào xước là chủ yếu nên nhám giảm. Tuy nhiên, nhiệt độ cao khi mài khô lại khiến phôi bị giãn nở và làm tăng sai số gia công [9].

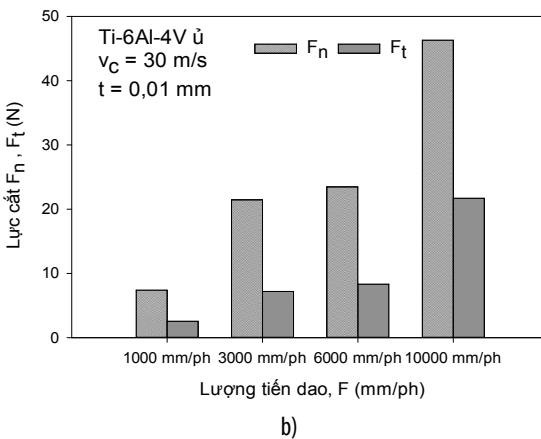
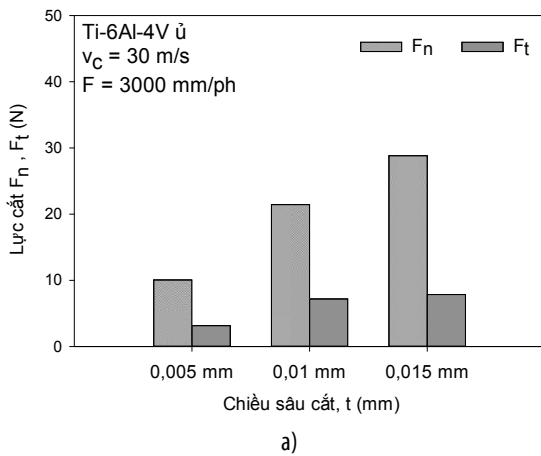
Trong việc xét theo khía cạnh ảnh hưởng của chiều sâu cắt, hình 3 thể hiện đồ thị độ nhám  $R_a$  và  $R_z$  khi chiều sâu cắt tăng từ  $0,005$  đến  $0,015\text{mm}$  với các lượng tiến dao khác nhau. Khi chiều sâu cắt tăng thì độ nhám  $R_a$  và  $R_z$  cũng tăng. Hiện tượng này tương đối ổn định với mọi lượng tiến dao. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy khi tăng lượng tiến dao và chiều sâu cắt thì độ nhám nói chung đều tăng. Tuy nhiên, ảnh hưởng của chiều sâu cắt đến độ nhám là rõ ràng hơn so với lượng tiến dao. Tăng chiều sâu cắt có tác động xấu đến nhám bề mặt do làm tăng mức độ tải nhiệt hơn trên các hạt mài, tăng nhiệt độ ma và lực cắt tăng khiến biến dạng dẻo tăng cũng làm tăng nhám [8].



Hình 3. Ảnh hưởng của chiều sâu cắt đến độ nhám bề mặt (a)  $R_a$  và (b)  $R_z$  dưới hai chế độ mài khô và mài ướt

Hình 4a và 4b mô tả lực cắt tiếp tuyến  $F_t$  và pháp tuyến  $F_n$  trong các chế độ cắt khác nhau. Có thể thấy rằng các lực cắt tăng khi chiều sâu cắt hoặc bước tiến dao tăng. Khi chiều sâu cắt là  $0,01\text{mm}$  thì lực pháp tuyến tăng 84%, còn lực tiếp tuyến tăng 88% khi lượng tiến dao nằm trong khoảng từ  $1000$  đến  $10000\text{mm/ph}$ . Mặt khác, khi lượng tiến dao là  $3000\text{mm/ph}$  thì lực pháp tuyến và tiếp tuyến tăng tương ứng là 65% và 60% với chiều sâu cắt tăng từ  $0,005$  đến  $0,015\text{mm}$ . Theo nghiên cứu của Li [6], lực cắt tăng khi

tăng bước tiến dao hoặc chiều sâu cắt do hạt mài ăn sâu hơn vào phôi khiến chiều dày phoi không biến dạng và diện tích mặt cắt ngang của phoi tăng lên.

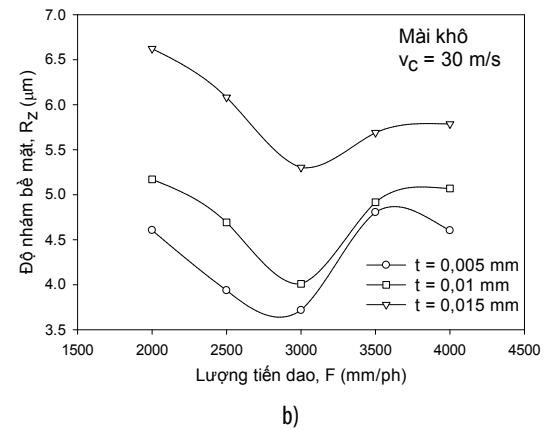
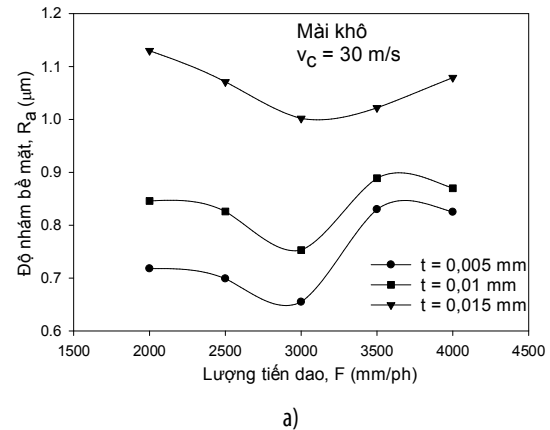


Hình 4. Ảnh hưởng của chiều sâu cắt (a) và lượng tiến dao (b) đến lực cắt  $F_n$  và  $F_t$

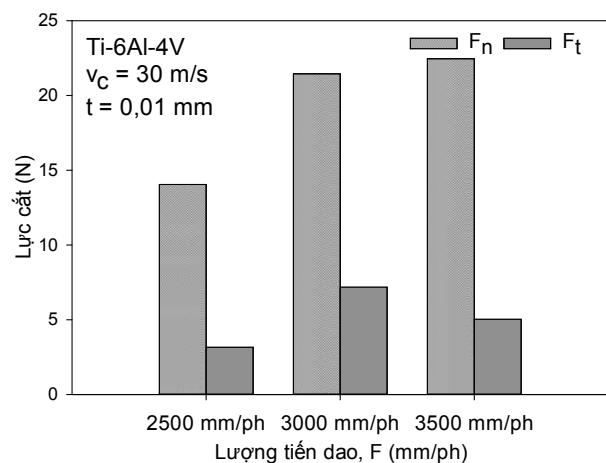
### 3.2. Xác định lượng tiến dao tối ưu

Tiếp theo, nghiên cứu sẽ thực hiện các thí nghiệm để tìm ra lượng tiến dao tối ưu ứng với độ nhám bề mặt nhỏ nhất trên các mẫu Ti64. Môi trường gia công là mài khô do các nghiên cứu thực nghiệm trước đã chỉ ra rằng độ nhám chỉ đạt giá trị nhỏ nhất tại  $F = 3000\text{mm/ph}$  khi mài khô, còn khi mài ướt đặc điểm này là không rõ rệt. Vận tốc cắt được cố định là  $30\text{m/s}$ ; bước tiến dao được lấy trong khoảng từ 2000 đến  $4000\text{mm/ph}$  (khoảng có độ nhám nhỏ nhất) và được chia thành các đoạn nhỏ giới hạn bởi 2000, 2500, 3000, 3500 và  $4000\text{mm/ph}$ . Khoảng chia càng nhỏ thì giá trị bước tiến dao tối ưu thu được càng chính xác. Các chiều sâu cắt dùng trong thí nghiệm vẫn được giữ ở 0,005, 0,01 và 0,015mm. Tổng cộng có 15 thí nghiệm được thực hiện, trong đó mỗi thí nghiệm được tiến hành lặp lại 2 lần để đảm bảo độ tin cậy của kết quả nghiên cứu. Trong hình 5a và 5b là đồ thị độ nhám bề mặt  $R_a$  và  $R_z$  của các mẫu Ti64. Tại chiều sâu cắt 0,005mm, khi bước tiến dao tăng từ 2000 đến  $3000\text{mm/ph}$  thì độ nhám  $R_a$  giảm từ 0,718 đến  $0,655\mu\text{m}$ , còn  $R_z$  từ 4,605 đến  $3,717\mu\text{m}$ . Còn khi bước tiến dao tăng từ 3000 đến  $4000\text{mm/ph}$  thì  $R_a$  tăng từ 0,655 đến

$0,825\mu\text{m}$  và  $R_z$  từ 3,717 đến  $4,602\mu\text{m}$ . Làm các thí nghiệm tương tự với các chiều sâu cắt 0,01 và 0,015mm đều thu được giá trị độ nhám bề mặt nhỏ nhất khi lượng tiến dao bằng khoảng  $3000\text{mm/ph}$ . Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đó cho rút ra kết luận rằng lượng tiến dao 3000mm/ph có thể được coi là lượng tiến dao tối ưu trong tất cả các chế độ cắt được khảo sát ở nghiên cứu này.



Hình 5. Ảnh hưởng của bước tiến dao đến độ nhám bề mặt  $R_a$  (a) và  $R_z$  (b) khi mài phẳng hợp kim Ti64 với các chiều sâu cắt khác nhau



Hình 6. Ảnh hưởng của lượng tiến dao đến lực cắt  $F_n$  và  $F_t$

Hình 6 mô tả sự phụ thuộc của lực cắt vào lượng tiến dao trong khoảng giới hạn của nghiên cứu tối ưu. Kết quả thực nghiệm cho thấy khi lượng tiến dao tăng lên thì lực

cắt tăng. Khi lượng tiến dao tăng từ 2500 đến 3500mm/ph thì lực pháp tuyến tăng từ 14,05 đến 22,46N, còn lực tiếp tuyến từ 3,17 đến 7,19N. Lực cắt thay đổi do sự thay đổi của chiều dày phoi không biến dạng. Kết quả lực cắt trong hình 5 và 6 chỉ ra rằng, lực pháp tuyến luôn lớn hơn lực tiếp tuyến do hoạt động cọ xát và cày xước của các hạt mài có góc cắt âm. Tuy nhiên, lực tiếp tuyến  $F_t$  ít thay đổi hơn lực pháp tuyến  $F_n$  khi lượng tiến dao thay đổi.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu thực hiện các thí nghiệm mài phẳng hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài cBN kết dính nhựa độ hạt #120 dưới các chế độ cắt (lượng tiến dao, chiều sâu cắt) khác nhau. Từ đó có thể rút ra các kết luận chính như sau:

- Đa phần độ nhám bề mặt tăng lên khi tăng bước tiến dao hoặc chiều sâu cắt. Ảnh hưởng của chiều sâu cắt đến độ nhám lớn hơn so với bước tiến dao. Tuy nhiên khi mài khô ở vùng lượng tiến dao khoảng 3000mm/ph thì độ nhám cho giá trị giảm.

- Mài ướt có độ nhám bề mặt lớn hơn mài khô. Tuy nhiên, nhiệt độ cao khi mài khô lại khiến phôi bị giãn nở và làm tăng sai số gia công. Do đó cần linh hoạt khi lựa chọn môi trường gia công để đạt được chất lượng sản phẩm theo yêu cầu.

- Thực nghiệm đã xác định được giá trị của lượng tiến dao tối ưu khoảng 3000mm/ph trong các chế độ cắt đã tiến hành mà tại đó độ nhám có giá trị nhỏ nhất. Kết quả đó có thể ứng dụng vào việc lựa chọn chế độ cắt khi gia công hợp kim Ti-6Al-4V bằng đá mài cBN trong thực tế.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. X. Zhang, J. Jiang, S. Li, D. Wen, 2019. *Laser textured Ti-6Al-4V surfaces and grinding performance evaluation using cBN grinding wheels*. Optics and Laser Technology, 109, 389–400.
- [2]. S. Y. Lin, Y. C. Liu, C. W. Huang, 2008. *An Investigation of Surface Grinding Characteristics for Titanium Alloy with cBN Wheel*. Key Engineering Materials, 364-366, 237-242.
- [3]. M. Mukhopadhyay, P. K. Kundu, 2018. *Performance Evaluation of Conventional Abrasive Wheels for Grinding Ti-6Al-4V*. Materials Science and Engineering, 377, 012-043.
- [4]. S. Shen, B. Li, W. Guo, 2019. *Surface integrity in grinding of C-250 maraging steel with resin-bonded and electroplated cBN grinding wheels*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 103, 1079–1094.
- [5]. D. Bhaduri, R. Kumar, A. K. Chattopadhyay, 2011. *On the grindability of low-carbon steel under dry, cryogenic and neat oil environments with monolayer brazed cBN and alumina wheels*. Int J Adv Manuf Technol., 57, 927–943.
- [6]. Z. Li, W. Ding, C. Liu, H. Zhou, 2018. *Grinding performance of TiCp/Ti-6Al-4V composites with cBN wheels, part I: experimental investigation and surface features*. Procedia CIRP., 77, 525–528.
- [7]. T. Zhao, Y. Shi, L. Sampsa, J. Zhou, 2017. *Investigation of the effect of grinding parameters on surface quality in grinding of TC4 titanium alloy*. Procedia Manufacturing, 11, 2131 – 2138.

- [8]. L. Zheng, D. Wenfeng, L. Chaojie, S. Honghua, 2018. *Grinding performance and surface integrity of particulate-reinforced titanium matrix composites in creep-feed grinding*. Int J Adv Manuf Technol., 94, 3917–3928.

- [9]. M.H. Sadeghi, M.J. Haddad, T. Tawakoli, M. Emami, 2009. *Minimal quantity lubrication-MQL in grinding of Ti-6Al-4V titanium alloy*. Int J Adv Manuf Technol., 44, 487–500.

#### AUTHORS INFORMATION

**Phi Trong Hung<sup>1,2</sup>, Truong Hoanh Son<sup>1</sup>, Nguyen Kien Trung<sup>1</sup>, Hoang Tien Dung<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Hanoi University of Science and Technology

<sup>2</sup>Mechanical and Power Engineering Faculty, Electric Power University

<sup>3</sup>Faculty of Mechanical Engineering, Hanoi University of Industry