

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Nguyên công mài ngày càng chiếm một tỷ trọng lớn trong gia công chi tiết máy vì mài có thể đạt chính xác cao và đóng vai trò quyết định đến chất lượng sản phẩm. Trong đó, đá mài đóng vai trò quan trọng đến chất lượng và giá thành mài. Đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện (PPMĐ) có nhiều ưu điểm trong việc gia công các loại vật liệu có độ cứng cao, trong các nguyên công mài định hình, hay chế tạo đá mài dùng để sửa đá. Ngoài ra, đá mài này còn có các ưu điểm như thời gian chế tạo nhanh, tiết kiệm hạt mài nên giá thành thấp.

Hiện nay ở Việt Nam, các loại đá CBN liên kết kim loại bằng PPMĐ đang được các công ty của nước ngoài sử dụng để gia công cơ khí khá phổ biến và chúng được nhập khẩu, trong khi ở trong nước chưa có công trình nghiên cứu nào về vấn đề này, cũng như chưa nắm được công nghệ sản xuất chúng. Vì vậy, đề tài “*Nghiên cứu chế tạo và đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện*” nhằm đặt cơ sở ban đầu cho việc nghiên cứu chế tạo loại đá mài này trong nước.

### 2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài luận án

- Nghiên cứu chế tạo đá mài CBN đơn lớp liên kết kim loại bằng PPMĐ.
- Đánh giá độ bền của cầu liên kết và tính cắt gọt của đá mài được chế tạo.

### 3. Đối tượng nghiên cứu

Đá mài CBN đơn lớp chế tạo bằng PPMĐ trên nền thép C45 và tính cắt của loại đá được chế tạo này.

### 4. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp theo mẫu: Tiến hành phân tích mẫu đá mài CBN liên kết kim loại bằng PPMĐ do Nhật Bản và Trung Quốc sản xuất để có các cơ sở lý thuyết và thực tế phục vụ cho quá trình nghiên cứu.

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm: Nghiên cứu lý thuyết để tìm hiểu mối quan hệ giữa các các thông số công nghệ khi chế tạo đá mài. Nghiên cứu thực nghiệm được sử dụng trong quá trình chế tạo đá và thực nghiệm mài để đánh giá đặc tính mài của đá được chế tạo.

### 5. Giới hạn phạm vi nghiên cứu

- Nghiên cứu công nghệ chế tạo đá mài CBN đơn lớp liên kết kim loại PPMĐ dạng hình trụ, có đường kính từ  $\Phi 10$ - $\Phi 15$ , chiều dài từ 10-15mm, kích cỡ hạt mài CBN để chế tạo đá mài: #140/170 tương ứng với kích cỡ hạt mài từ 90-106  $\mu\text{m}$ .

- Đánh giá tính cắt gọt của đá mài khi gia công mặt phẳng. Chỉ giới hạn đánh giá hai yếu tố cơ bản đặc trưng cho khả năng cắt gọt của đá mài là hệ số mài và nhám bề mặt của chi tiết mài.

### 6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài luận án

*Ý nghĩa khoa học:*

Kết quả nghiên cứu có những ý nghĩa khoa học sau:

- Phân tích, đánh giá và lựa chọn công nghệ mạ điện phù hợp để chế tạo đá mài đơn lớp CBN;
- Xây dựng được công thức xác định hệ số phân bố hạt mài ( $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$ ), căn cứ và đó thiết lập được phương trình xác định chiều dày chôn lấp gần đúng của hạt mài khi mạ.
- Xác định được ảnh hưởng của các thông số công nghệ (mật độ dòng, thời gian, tốc độ quay của chi tiết, nhiệt độ) của phương pháp mạ điện niken đến sự phân bố của hạt mài trên bề mặt của đá mài chế tạo;
- Đánh giá được khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo theo hai yếu tố là hệ số mài G và nhám bề mặt  $R_a$ ,  $R_z$ .
- Bước đầu đặt cơ sở khoa học cho việc đưa ra được công nghệ chế tạo đá mài CBN liên kết kim loại niken bằng phương pháp mạ điện tại Việt Nam.

*Ý nghĩa thực tiễn:*

Kết quả nghiên cứu của luận án đặt khởi đầu cho việc nghiên cứu chế tạo đá mài CBN liên kết kim loại niken bằng phương pháp mạ điện và chế thử ở quy mô phòng thí nghiệm, có thể áp dụng vào thực tế sản xuất trong nước. Các kết quả của đề tài cũng là tài liệu tham khảo cho công tác giảng dạy và nghiên cứu khoa học trong lĩnh vực chế tạo đá mài.

## **7. Kết quả nghiên cứu của đề tài**

- Đề xuất một phương pháp chế tạo và một bộ các thông số công nghệ để chế tạo đá mài CBN đơn lớp liên kết kim loại bằng PPMĐ.
- Phương pháp đánh giá được khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo bằng PPMĐ.

## **8. Nội dung nghiên cứu và bố cục của luận án**

Nội dung của luận án được trình bày trong 4 chương: Chương 1: Tổng quan về vấn đề nghiên cứu; Chương 2: Vật liệu thí nghiệm và phương pháp nghiên cứu; chương 3: Nghiên cứu chế tạo và đánh giá chất lượng thiết bị thí nghiệm; Chương 4: Nghiên cứu chế tạo và đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài.

### **CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU**

#### **1.1. Quá trình mài, đá mài CBN và đá mài CBN đơn lớp**

##### **1.1.1. Quá trình mài**

Nguyên công mài ngày càng chiếm một tỷ trọng lớn trong gia công các chi tiết máy vì mài là phương pháp gia công chính xác cao, đóng vai trò quyết định đến chất lượng sản phẩm.

##### **1.1.2. Đá mài – thành phần và cấu trúc**

Đá mài đóng vai trò quan trọng đến chất lượng và giá thành mài. Cấu trúc của đá mài là một thể gồm 3 pha: Hạt mài, chất dính kết và khoảng trống.

### **1.1.3. Đá mài CBN**

Đá mài CBN ngày càng được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực mài. Hạt mài CBN có độ cứng xấp xỉ 4500 kG/mm<sup>2</sup> cứng thứ 2 sau kim cương, có tính chịu nhiệt cao, có tính dẫn nhiệt tốt, có khả năng chống mòn cao khi mài các hợp kim có chứa các bon. Đá mài CBN được chế tạo ở dạng đơn lớp hoặc đa lớp.

### **1.1.4. Các phương pháp chế tạo đá mài CBN**

#### **1.1.4.1. Đá mài CBN đa lớp (đá mài phổ thông)**

Đá mài CBN đa lớp chủ yếu được chế tạo bằng phương pháp thiêu kết với chất dính kết (CDK) là chất thủy tinh hóa và kim loại, ngoài ra có thể chế tạo bằng phương pháp lưu hóa với chất liên kết nhựa.

#### **1.1.4.2. Đá mài CBN đơn lớp**

Đá mài đơn lớp CBN được chế tạo bằng 3 phương pháp sau: phương pháp hàn cứng, phương pháp mạ hóa học và PPMĐ.

+ *Phương pháp hàn cứng* : Đây là phương pháp gắn hạt mài lên lõi đá bằng kim loại nhờ phản ứng hóa học giữa hạt mài, hợp kim hàn và lõi đá, chiều dày lớp phủ khoảng 20 ÷ 30 % kích thước trung bình của hạt mài cho phép tạo ra khoảng thoát phoi lớn và giảm được lực mài. Tuy nhiên, quá trình hàn thực hiện ở nhiệt độ lên đến 1000 °C, do đó làm giảm độ bền của các hạt, gây biến dạng lõi đá và xung quanh vị trí hạt mài chịu ứng suất kéo khi nguội. Thiết bị chế tạo đắt tiền và yêu cầu khắt khe với vật liệu lõi đá.

+ *Phương pháp mạ hóa học*: Sử dụng phương pháp mạ hóa học niken-phốtpho cùng với xử lý nhiệt cho phép tăng độ bền của lớp mạ niken. Nhược điểm của phương pháp này là năng suất thấp, giá thành thiết bị cao, nhiệt độ kết tủa cao dễ xuất hiện vết nứt do độ dòn của lớp liên kết.

+ *Phương pháp mạ điện*: PPMĐ là phương pháp phổ biến để chế tạo đá mài đơn lớp, thực hiện ở nhiệt độ thấp (dưới 100 °C). Ưu điểm của đá mài này là các hạt mài phân bố đồng mức trên bề mặt lõi đá, topography của đá mài không dựa vào việc sửa đá mà phụ thuộc vào profile của lõi đá bằng kim loại. Chế tạo đá mài CBN bằng PPMĐ có ưu điểm là năng suất cao và thiết bị đơn giản, dễ dàng chế tạo đá mài mỏng, đá mài định hình để gia công các bề mặt định hình mà không cần sửa đá. Đồng thời, có thể tái sử dụng lõi đá sau khi các hạt mài bị mòn do đó nâng cao hiệu quả kinh tế khi sử dụng loại đá mài này.

## **1.2. Phương pháp chế tạo đá mài bằng PPMĐ**

### **1.2.1 Khái niệm về PPMĐ**

#### **1.2.1.1. Sự hình thành lớp phủ kim loại mạ trên catốt**

#### **1.2.1.2. Lớp mạ composite và kỹ thuật tạo lớp mạ composite**

Lớp mạ composite được tạo ra bằng cách đồng kết tủa các hạt rắn với kim loại mạ từ một dung dịch huyền phù. Dung dịch huyền phù được tạo ra bằng cách cho trộn lẫn một lượng hạt rắn xác định vào dung dịch mạ.

#### *1.2.1.4. Các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình mạ điện.*

Các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình mạ điện bao gồm: Ảnh hưởng của mật độ dòng điện; ảnh hưởng của độ pH; ảnh hưởng của nhiệt độ; ảnh hưởng của thành phần dung dịch; ảnh hưởng của tốc độ khuấy; ảnh hưởng của việc chuẩn bị bề mặt chi tiết; ảnh hưởng của thời gian mạ.

#### **1.2.2 Ứng dụng PPMĐ để hình thành cầu liên kết của đá**

Chế tạo đá mài CBN bằng PPMĐ chính là sử dụng công nghệ mạ composite để chế tạo lớp phủ hạt CBN. Tuy nhiên, các hạt CBN không bị chôn lấp hoàn toàn mà chỉ bị chôn lấp một phần để tạo phần nhô của hạt CBN ra ngoài lớp mạ là những lưỡi cắt thực hiện quá trình cắt kim loại.

##### *1.2.2.1. Vật liệu chất dính kết*

Đá mài CBN đơn lớp chế tạo bằng PPMĐ sử dụng niken là chất liên kết. Quá trình chế tạo đá mài CBN đơn lớp bằng PPMĐ với chất liên kết là niken là sự đồng kết tủa của Ni-CBN trên nền kim loại.

##### *1.2.2.2. Dung dịch mạ*

Hai loại dung dịch phù hợp để tạo lớp mạ niken và niken composite khi chế tạo đá mài là dung dịch Watts và dung dịch sulphamate. Tuy nhiên, dung dịch sunfamate có nhược điểm lớp mạ dễ bị tách khỏi lớp nền, độc và giá thành cao nên dung dịch Watts là dung dịch được chọn để chế tạo lớp mạ niken và lớp mạ niken composite.

### **1.3. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước**

#### **1.3.1. Tình hình nghiên cứu ngoài nước**

A. K. Chattopadhyay và cộng sự, nghiên cứu cải tiến đá mài đơn lớp CBN chế tạo bằng PPMĐ để thực hiện quá trình mài. Khi quan sát bề mặt đá mài CBN chế tạo bằng PPMĐ có sự nhô lên của CDK mạ điện tại khoảng không gian giữa các hạt mài làm giảm khả năng cắt của đá mài.

Có một số nghiên cứu chế tạo đá mài vi mô bằng PPMĐ với đường kính dao nhỏ  $\phi=100 \div 500 \mu\text{m}$ , sử dụng các hạt kim cương có kích thước nhỏ  $2 \div 4 \mu\text{m}$ ,  $7,5 \div 12 \mu\text{m}$  và  $8 \div 16 \mu\text{m}$ . Yu Zhang và cộng sự, nghiên cứu chế tạo đá mài kim cương chế tạo bằng PPMĐ bằng cách sử dụng hạt kim cương phủ một phần niken. Trong đó các hạt kim cương phủ niken được tách một phần lớp phủ niken, sau đó thực hiện quá trình mạ lên phôi là thép JIS S45C. Hạt mài được sử dụng để chế tạo có kích thước  $30 \div 40 \mu\text{m}$ . Dung dịch sử dụng để mạ composite là sulfamate và dung dịch để mạ trước và sau khi mạ composite là dung dịch Watts.

#### **1.3.2. Tình hình nghiên cứu trong nước**

Trong nước hiện chưa có công trình nghiên cứu nào về chế tạo đá mài CBN liên kết kim loại bằng PPMĐ. Tuy nhiên, liên quan đến việc sử dụng công nghệ mạ composite để chế tạo các lớp mạ chức năng có một số công trình nghiên cứu công nghệ mạ composite niken bằng dung dịch Watts với các hạt  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,

CeO<sub>2</sub> hoặc CNTs biến tính có kích thước nano để tạo các chức năng chịu mài mòn, xúc tác, bề ăn mòn hoặc siêu kỵ nước trên bề mặt kim loại.

#### **1.4. Giới hạn nghiên cứu của đề tài:**

Trong phạm vi luận án, nội dung nghiên cứu sẽ được thực hiện là: Nghiên cứu chế tạo đá mài CBN đơn lớp bằng PPMĐ bằng dung dịch Watts với các thông số kỹ thuật:

+ Đá mài hình trụ, đường kính từ 10 ÷ 15 mm, chiều dài 10 ÷ 15 mm; Kích cỡ hạt mài CBN để chế tạo đá mài: #140/170 tương ứng với kích cỡ hạt mài từ 90 ÷ 106 μm; Chất liên kết là niken mạ điện hóa.

+ Đánh giá tính cắt gọt của đá mài khi mài phẳng thông qua hai thông số là: Hệ số mài của đá và nhám bề mặt của chi tiết gia công.

#### **KẾT LUẬN CHƯƠNG 1**

Từ các kết quả nghiên cứu tổng quan, các kết luận sau được rút ra:

- Có ba phương pháp để chế tạo đá mài đơn lớp hiện được sử dụng: Hàn cứng, mạ hóa học và mạ điện. Trong đó phương pháp mạ điện có ưu điểm là năng suất cao, thiết bị không đòi hỏi phức tạp, có thể chế tạo được đá mài có chất lượng tốt và phù hợp với điều kiện sản xuất tại Việt Nam.

- Có thể chế tạo đá mài CBN bằng phương pháp mạ điện bằng công nghệ mạ composite Ni-CBN để tạo lớp phủ hạt mài trên bề mặt lõi kim loại. Đặc điểm của quá trình mạ composite Ni-CBN là kích thước hạt CBN nằm trong khoảng 90 ÷ 106 μm, nhưng phải được gắn kết một phần với lớp mạ và một phần phải nhô lên bề mặt để thực hiện chức năng mài. Dung dịch Watts được sử dụng để thực hiện quá trình mạ niken và composite Ni-CBN.

- Mục tiêu nghiên cứu của đề tài là chế tạo được đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện ở phạm vi nghiên cứu trong phòng thí nghiệm với các thông số kỹ thuật: Đá mài hình trụ, đường kính từ 10 ÷ 15 mm, chiều dài 10 ÷ 15 mm, kích cỡ hạt mài CBN để chế tạo đá mài: #140/170 tương ứng với kích cỡ hạt mài từ 90 ÷ 106 μm.

### **CHƯƠNG 2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

#### **2.1. Vật liệu, hóa chất và thiết bị**

##### **2.1.1. Mẫu và vật liệu:**

*Mẫu đá mài:* Đá mài CBN liên kết kim loại bằng PPMĐ do hãng Okazaki của Nhật Bản và đá mài của Trung Quốc.

*Vật liệu hạt mài:* Sử dụng 2 loại hạt để nghiên cứu.

+ **Loại hạt 1:** Hạt SiC, cỡ hạt 140/170 (90 ÷ 106 μm), dùng để khảo sát ban đầu và đánh giá chất lượng của thiết bị. Khối lượng riêng: 3,21g/cm<sup>3</sup> của Công ty Cổ phần đá mài Hải Dương.

+ **Loại hạt 2:** Hạt CBN sử dụng để tạo lớp mạ Composite Ni-CBN là CBN 10A+ có màu vàng, có cỡ hạt 140/170 (90 ÷ 106 μm). Khối lượng riêng: 3,48 g/cm<sup>3</sup> của hãng Changsha 3 Better Ultra-Hard Materials Co.,Ltd, Trung Quốc.

**Vật liệu điện cực anot:** Điện cực niken dạng tấm, lá.

**Vật liệu lõi đá mài (catốt):** là C45 được gia công có đường kính  $10 \div 12$  mm và chiều dài phần mạ  $10 \div 12$  mm, được gia công nhẵn, đánh bóng, rửa sạch, tẩy dầu mỡ, tẩy rỉ và sấy khô.

**Vật liệu phôi mài:** Vật liệu phôi mài là thép SDK11 có kích thước  $24 \times 45 \times 10$  mm, nhiệt luyện để đạt độ cứng  $60 \div 63$  HRC

### 2.1.2. Hóa chất và thiết bị

**Hóa chất:** Các hóa chất để pha dung dịch mạ niken:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 300 g/L;  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 60 g/L;  $\text{H}_3\text{BO}_3$ : 30 g/L; Natri lauryl sunphat: 0,1-0,15 g/L.

Các hóa chất để pha dung dịch mạ composite Ni-CBN:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 300 g/L;  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 60 g/L;  $\text{H}_3\text{BO}_3$ : 30 g/L; Natri lauryl sunphat: 0,1-0,15 g/L, hạt CBN cỡ hạt #140/170: 160 g/L.

**Thiết bị và dụng cụ thực hiện quá trình mạ điện:** Cốc, bể thí nghiệm, nguồn điện mạ, máy khuấy từ gia nhiệt.

**Thiết bị đánh giá chất lượng lớp mạ:** Kính hiển vi quang học CNU500X; Kính hiển vi điện tử quét (SEM) JEOL JSM-6510LV; Cân phân tích điện tử 4 số AB204-5; Máy đo nhám bề mặt SJ 400; Panme điện tử Mitutoyo Series 293-240.

## 2.2. Phương pháp xác định đặc tính lớp mạ composite Ni-CBN

### 2.2.1. Xác định thành phần hóa học

Sử dụng phương pháp phổ tán sắc năng lượng tia X (EDX) để xác định thành phần hóa học của lớp phủ.

### 2.2.2. Xác định mật độ phân bố hạt mài trên bề mặt

- **Quan sát trên kính hiển vi quang học:** Nhằm quan sát mức độ phân bố của hạt mài trên bề mặt mẫu.

- **Quan sát bằng SEM:** Cho phép quan sát ở tỷ lệ lớn hơn và xác định mật độ phân bố của hạt mài bằng cách đếm hạt tại hai vị trí bất kỳ trên bề mặt mẫu lấy giá trị trung bình để xác định hệ số  $K_{PB\tau}$ .

- **Xác định hệ số phân bố  $K_{PBQU}$ :**

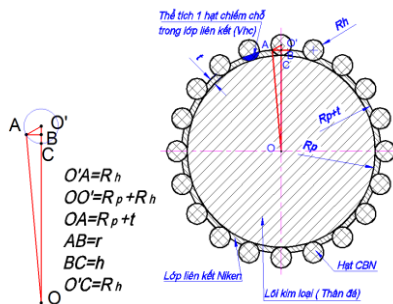
$$K_{PBQU} = \frac{m_{\text{hạtCBN}}}{m_{\text{hạtCBN}} \times S_{\text{ma}}} \quad (\text{hạt/mm}^2) \quad (2-8)$$

Trong đó  $m_{\text{hạtCBN}}$  là khối lượng hạt CBN được xác định bằng chênh lệch của khối lượng mạ và khối lượng của niken mạ.

### 2.2.3. Xác định chiều dày lớp mạ

Để xác định chiều dày lớp mạ có 2 phương pháp:

- **Tính toán chiều dày lớp mạ:**



Hình 2.8. Sơ đồ tính chiều dày lớp mạ

Sơ đồ tính chiều dày lớp mạ được mô tả như hình 2.8, với các giả thiết sau: Các hạt mài phân bố đồng đều trên bề mặt của lớp mạ; Các hạt mài hình cầu và có kích thước bằng nhau  $R_h$ ; Khối lượng niken mạ tính theo định luật Faraday.

Chiều dày lớp mạ  $\delta$  được xác định từ phương trình 2-19:

$$m \cdot \delta^3 + n \cdot \delta^2 + p\delta + q = 0 \quad (2-19)$$

Trong đó :  $m = K_{pb} \cdot \pi$ ;  $n = -3 \cdot K_{pb} \cdot R_h \cdot \pi$ ;  $p = 3$ ;  $q = \frac{3 \cdot m_{Ni}}{\rho_{Ni} \cdot S_{mạ}}$

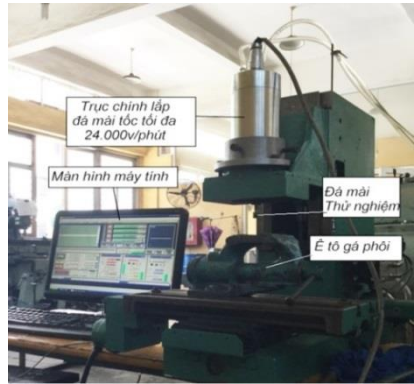
- Đo chiều dày lớp mạ:

Tiến hành làm mẫu cắt ngang mẫu đá mài sau đó tiến hành đo chiều dày lớp mạ và chụp ảnh SEM.

### 2.2.4. Đánh giá độ bền liên kết của hạt mài và kim loại liên kết

Máy mài thử nghiệm được thể hiện trên hình 2.9, các chuyển động của các trục được điều khiển bằng CNC với mức dịch chuyển nhỏ nhất là  $1\mu m$ . Thực hiện mài thực nghiệm theo các điều kiện mài: Vận tốc mài: 12,56 m/s; Chiều sâu mài: 0,005; 0,010 mm; Bước tiến dao: 300 mm/phút; Mài nghịch; Không bôi trơn.

Quan sát cầu liên kết và tiến hành mài thực nghiệm để đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài, qua đó đánh giá độ bền cầu liên kết. Khả năng cắt của đá mài được đánh giá thông qua hai chỉ tiêu hệ số mài và nhám bề mặt của chi tiết gia công.



Hình 2.9. Máy mài thực nghiệm

## 2.3. Quy hoạch thực nghiệm (QHTN) nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến sự phân bố hạt trong lớp mạ composite Ni-CBN

### 2.3.1. Chọn các thông số nghiên cứu:

Nhiều yếu tố ảnh hưởng đến sự phân bố của hạt mài khi chế tạo đá mài, tuy nhiên, giới hạn chỉ nghiên cứu 4 yếu tố: Nhiệt độ dung dịch mạ: 50 - 60 °C, mật độ dòng:  $1 \div 8 \text{ A/dm}^2$ , thời gian mạ composite: 5 ÷ 15 phút, tốc độ quay chi tiết:  $0,7 \div 3$  vòng/phút.

### 2.3.2. Phương pháp QHTN

Để nghiên cứu ảnh hưởng các thông số đến sự phân bố của hạt mài khi chế tạo đá mài, tiến hành thay đổi từng thông số, còn các thông số còn lại cố định, sau đó lại lần lượt làm tương tự với các thông số khác. Căn cứ vào kết quả thí nghiệm nhận được chọn một bộ 3 thông số hợp lý để nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời nhằm tìm ra hàm mục tiêu là mật độ phân bố của hạt mài. Sử dụng phương pháp QHTN bề mặt chỉ tiêu (Response Surface Design) với dạng thiết kế hỗn hợp tâm xoay (CCD- Central Composite Design).

## KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

Từ các phân tích trên có thể đi đến các kết luận sau:

- Vật liệu hạt mài là CBN 10A+ có cỡ hạt #140/170 tương ứng kích thước hạt  $90 \div 106 \mu\text{m}$ , vật liệu để tạo thành cầu liên kết cho đá là niken và xác định được thành phần của dung dịch Watts chủ yếu là muối niken.

- Xây dựng được công thức xác định hệ số phân bố hạt mài ( $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$ ), căn cứ và đó thiết lập được phương trình xác định chiều dày chôn lấp gần đúng của hạt mài khi mạ.

- Thành phần hóa học của mẫu nghiên cứu sử dụng phương pháp phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX); chiều dày và mật độ phân bố hạt trên bề mặt của đá mài chế tạo được tính toán và quan sát trên kính hiển vi quang học, SEM cũng như chụp ảnh kim tương mặt cắt ngang của đá mài chế tạo.

- Độ bền của cầu liên kết được tạo ra bằng PPMĐ đánh giá qua quan sát cầu liên kết bằng SEM và mài thử nghiệm.

- Đã xây dựng được phương pháp đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo qua hệ số mài của đá G và nhám bề mặt của chi tiết gia công  $R_a, R_z$ .

## CHƯƠNG 3 NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

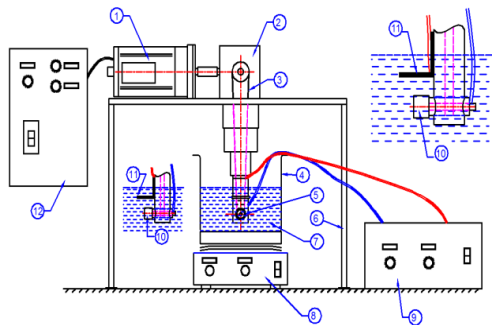
### 3.1. Yêu cầu và thông số kỹ thuật của thiết bị thí nghiệm

#### 3.1.1. Yêu cầu

Thiết bị thí nghiệm mạ phải thỏa mãn yêu cầu có thể điều chỉnh các thông số nghiên cứu như: Nhiệt độ dung dịch; Mật độ dòng điện; Tốc độ khuấy dung dịch; Tốc độ quay của chi tiết (catốt).

#### 3.1.2. Thông số kỹ thuật

Do thực hiện quá trình mạ với chi tiết nhỏ, nên tiến hành lựa chọn các thiết bị hiện có trên thị trường. Các thiết bị thí nghiệm sử dụng gồm: Nguồn điện mạ:  $I_{\max} = 25 \text{ A}$ , mức điều chỉnh  $0,01 \text{ A}$ ,  $U = 0 \div 12 \text{ V}$ . Gia nhiệt cho dung dịch mạ có khả năng điều khiển và ổn định nhiệt độ dung dịch từ nhiệt độ thường đến độ  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Khuấy dung dịch điều khiển được tốc độ khuấy từ  $0 \div 1500$  vòng/phút. Thiết bị quay của chi tiết mạ điều chỉnh được tốc độ quay từ  $0,7 \div 5$  vòng/phút.



Hình 3. 4. Mô hình thiết bị thí nghiệm



### 3.2. Thiết kế chế tạo thiết bị thí nghiệm

Quá trình nghiên cứu xây dựng và hoàn thiện thiết bị thí nghiệm được thực hiện qua quá trình tiến hành thực nghiệm mạ. Mô hình thí nghiệm phương án lựa chọn như hình 3.4.

### 3.3. Đánh giá chất lượng thiết bị

Từ các kết quả khảo sát cho thấy thiết bị thí nghiệm với chi tiết mạ (catốt) quay nằm ngang là thích hợp.

Sử dụng thiết bị có thể tạo được lớp hạt mài bám quanh lõi và có thể khảo sát các thông số nghiên cứu như: thời gian mạ, nhiệt độ dung dịch mạ, mật độ dòng, tốc độ quay của chi tiết mạ (catốt) ảnh hưởng đến sự hình thành lớp mạ composite.

## KẾT LUẬN CHƯƠNG 3

Từ phân tích và nội dung chương 3 có thể kết luận như sau:

- Đã xác định được yêu cầu, các thông số và chế tạo được thiết bị để thí nghiệm chế tạo đá mài CBN liên kết kim loại bằng PPMĐ;
- Đã thực hiện đánh giá được thiết bị thí nghiệm: Thiết bị mạ đáp ứng được đầy đủ các thông số kỹ thuật để phục vụ cho việc nghiên chế tạo đá mài bằng phương pháp mạ điện. Với thiết bị này cho phép nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ của quá trình mạ điện đến sự hình thành bề mặt đá mài.

## CHƯƠNG 4 NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VÀ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CẮT GỌT CỦA ĐÁ MÀI

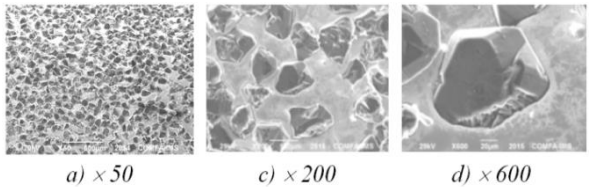
### 4.1 Cấu trúc của bề mặt đá mài CBN đơn lớp liên kết kim loại bằng PPMĐ.

#### 4.1.1. Đặc điểm của đá mài CBN

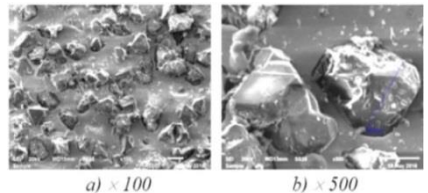
Khảo sát cấu trúc bề mặt của các mẫu đá mài CBN chế tạo bằng PPMĐ

hiện có trên thị trường của Nhật Bản và Trung Quốc. Từ các kết quả khảo sát mẫu đá mài của nước ngoài có thể nhận thấy:

-Ảnh SEM bề mặt của đá mài của Nhật Bản (hình 4.1) và của Trung Quốc (hình 4.2) các hạt mài phân bố tương đối đồng đều trên bề mặt. Tuy nhiên, đối với đá mài Trung Quốc mức độ hạt phân bố không đồng đều bằng đá mài của Nhật Bản.

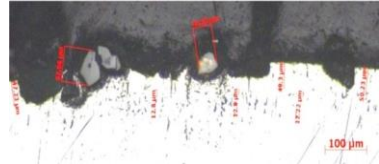


Hình 4.1. Ảnh SEM bề mặt của đá mài của Nhật Bản



Hình 4.2. Ảnh SEM bề mặt đá mài CBN của Trung quốc

Kích cỡ hạt mài đều nằm trong khoảng  $94 \div 107 \mu\text{m}$ . Các hạt mài không bị chôn lấp hoàn toàn mà chỉ bị chôn lấp một phần tạo độ gắn kết, còn để một phần của các hạt mài nhô lên khỏi bề mặt kim loại liên kết đảm bảo có khoảng không gian để thoát phoi trong quá trình cắt.

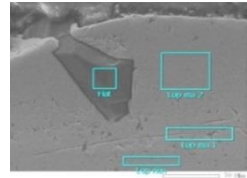


Hình 4.4. Ảnh đo chiều dày lớp

Bảng 4.1. Chiều dày lớp mạ đo

	Lần đo 1 ( $\mu\text{m}$ )	Lần đo 2 ( $\mu\text{m}$ )	Lần đo 3 ( $\mu\text{m}$ )	Trung bình ( $\mu\text{m}$ )
Lớp 1	12,8	12,9	12,22	12,64
Lớp 2	47,23	49,3	50,23	48,92

-Ảnh chụp kim tương và SEM mặt cắt ngang của đá mài CBN (hình 4.4 và



Hình 4.5. Các vùng phân tích EDX lớp mạ liên kết của đá mài

4.5) cho thấy các hạt mài bị chôn lấp một phần. Tại một số vùng khi chụp mẫu kim tương cũng cho thấy các hạt mài bị bong ra nhưng vẫn để lại các hốc chính là vị trí của các hạt mài.

Bảng 4.2. Kết quả phân tích theo % khối lượng các nguyên tố ở các vùng của đá mài

Vùng	B	C	N	O	Si	P	Fe	Ni	Pb	Tổng
Lớp 2		8,27			0,4	7,91		83,58		100
Lớp 1		7,43		0,62	2,79	0,18	1,11	87,86		100
Lớp nền		4,01			0,71		94,91		0,37	100
Hạt	55,69		44,31							100

Lớp mạ để gắn hạt CBN trên nền phôi thép bao gồm 2 lớp:

+ Lớp 1: Lớp mạ nền là vùng trung gian giữa lớp mạ composite và kim loại nền (lõi đá), lớp này không dày chỉ khoảng  $12 \mu\text{m}$  và có thành phần chủ yếu là niken. Lớp này nằm giữa kim loại nền và lớp mạ composite, có thể xem đây là lớp mạ lót.

+ Lớp 2: Lớp mạ composite để gắn hạt CBN cũng có thành phần chính là niken có chiều dày khoảng  $49 \mu\text{m}$ , bằng khoảng 50% kích thước hạt mài.

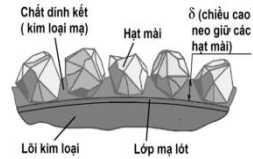
#### 4.1.2. Yêu cầu đối với đá mài chế tạo bằng PPMĐ

Căn cứ vào yêu cầu và phạm vi sử dụng của đá mài, đá mài phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Đá phải có độ chính xác cao về biên dạng và kích thước độ đảo mặt bên không quá  $0,01\text{mm}$ , dung sai kích thước  $\pm 0,025\text{mm}$ . Vì vậy các yêu cầu đối với bề mặt của lõi đá và bề mặt của lớp mạ liên kết hạt mài được xác định như sau:

- Lõi kim loại phải được chế tạo có độ chính xác cao: Độ đảo không quá  $0,005\text{mm}$ ; Dung sai kích thước  $\pm 0,002\text{mm}$ .

- Đối với lớp mạ phủ hạt CBN: Các hạt mài CBN có cùng kích cỡ hạt mài và phân bố đều trên bề mặt của lõi kim loại, đảm bảo phân bố đồng mức. Phần nhô của hạt mài lên trên chất dính kết (40 ÷ 55) % kích thước hạt mài phải đủ để đảm bảo khoảng thoát phoi trong quá trình cắt. Lực liên kết của chất dính kết với hạt mài phải đủ để neo giữ hạt mài trong quá trình cắt, nên phần chìm trong chất dính kết phải đủ lớn từ (55 ÷ 60) % kích thước hạt mài.



Hình 4.6. Mô hình hóa bề mặt của đá mài

*Mô hình hóa liên kết của hạt mài với CDK:*  
 Qua khảo sát bề mặt đá mài CBN chế tạo bằng PPMĐ hiện đang sử dụng ở Việt Nam và một số tài liệu liên quan, có thể mô hình hóa liên kết của đá mài như hình 4.6. Chiều cao  $\delta$  khoảng (55 ÷ 60) % kích thước trung bình của hạt mài. Nếu  $\delta$  lớn quá sẽ làm phần nhô của các hạt mài ít làm giảm khoảng thoát phoi và thoát nhiệt trong quá trình mài sẽ gây ra lực cắt và nhiệt cắt tăng, do đó dễ làm hạt mài bị bong ra khỏi chất dính kết.

*Mật độ của hạt mài và sự phân bố của hạt mài trên bề mặt của đá:*

Tùy theo yêu cầu sử dụng và điều kiện làm việc của đá, sự phân bố các hạt mài có thể dày và thưa. Trong quá trình mạ, để đảm bảo sự phân bố đồng đều trên các vùng là rất cần thiết.

#### 4.1.3. Tiến trình chế tạo lớp bề mặt đá mài

Quá trình gắn các hạt mài CBN lên bề mặt lõi kim loại được thực hiện các bước sau: Bước 1: Đánh sạch bề mặt bằng bàn chải, giấy nhám; Bước 2: Làm sạch sơ bộ bề mặt bằng dung dịch để tẩy dầu mỡ; Bước 3: Rửa sạch bằng nước; Bước 4: Làm sạch bằng dung dịch axit HCl 15% để tẩy gỉ và hoạt hóa bề mặt; Bước 5: Rửa sạch bằng nước; Bước 6: Mạ lớp niken lót; Bước 7: Mạ lớp Ni-CBN lần 1: tạo sự bám dính của hạt- gắn hạt; Bước 8: Mạ lớp Ni lần 2: gắn chặt các hạt trên bề mặt thân – chôn lấp hạt.

#### 4.1.4. Chỉ tiêu đánh giá chất lượng lớp mạ composite Ni-CBN

Chất lượng lớp mạ được quan tâm đến 2 yếu tố: Mức độ bám, phân bố của hạt trên bề mặt phủ mạ và độ bền liên kết của hạt mài với lớp kim loại liên kết.

##### a) Mức độ phân bố của hạt mài và chiều dày lớp mạ

Độ bám và phân bố của hạt mài trên bề mặt phủ mạ được đánh giá nhờ sử dụng kính hiển vi quang học cũng như kính hiển vi điện tử quét (SEM) và phương pháp cân khối lượng. Sự phân bố của hạt mài có thể được xác định thông qua hệ số  $K_{PBT}$  và  $K_{PBQU}$ . Hệ số  $K_{PBT}$  được tính bằng giá trị trung bình mật độ hạt đếm trên ảnh SEM chụp bề mặt tại hai vị trí ngẫu nhiên. Còn  $K_{PBQU}$  được xác định theo công thức 2-8. Chiều dày lớp mạ được xác định bằng tính toán có tính đến sự xuất hiện của hạt mài trong lớp mạ qua phương trình 2-19 và qua đo trên ảnh chụp SEM mặt cắt ngang của đá mài được chế tạo.

b) *Tính cắt gọt của bề mặt mạ composite Ni-CBN*

Mức độ liên kết của hạt mài với bề mặt lõi kim loại được xác định qua quan sát ảnh SEM chụp mặt cắt ngang của đá mài, quan sát mức độ chôn lấp của hạt và sự liên kết của kim loại mạ với hạt và với lớp lõi. Độ bền liên kết của hạt mài với lớp kim loại liên kết đánh giá thông qua quá trình mài thực nghiệm, đánh giá qua hai chỉ tiêu : Hệ số mài G và nhám bề mặt đạt được của phôi R<sub>a</sub>, R<sub>z</sub>.

**4.2. Ảnh hưởng của một số thông số công nghệ đến sự phân bố của hạt mài khi chế tạo đá mài bằng PPMĐ**

**4.2.1. Ảnh hưởng của mật độ dòng đến sự phân bố của hạt mài**

*Bảng 4.3. Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của mật độ dòng đến chiều dày lớp mạ và hệ số K<sub>PBQU</sub> và K<sub>PBT</sub> (T= 55<sup>0</sup>C, t<sub>m</sub> = 5 phút, n<sub>ct</sub> = 0,7 v/phút)*

TT	Tên lớp mạ	Mật độ dòng điện	Chiều dày lớp mạ tính toán không kể hạt mài		Hệ số K <sub>PBQU</sub>	Hệ số K <sub>PBT</sub>	$\frac{\Delta K_{PB}}{K_{PBQU}} = K_{PBT}$	Độ dày lớp mạ có tính đến sự xuất hiện của hạt mài	
			Từng lớp	Chiều dày chôn lấp				Tính đến K <sub>PBQU</sub>	Tính đến K <sub>PBT</sub>
		(A/dm <sup>2</sup> )	(μm)		(hạt/mm <sup>2</sup> )			(μm)	
M16	L1	3	13,84		53,48	64,03	10,54	20,61	21,52
	L2	1	0,92	17,53					
	L3	3	16,61						
M3	L1	3	13,84		66,20	76,26	10,07	29,38	31,58
	L2	3	2,77	22,15					
	L3	3	19,38						
M4	L1	3	13,84		69,40	83,20	13,80	29,99	33,59
	L2	6	5,54	22,15					
	L3	3	16,61						
M6	L1	3	13,84		76,93	91,35	14,43	35,76	42,73
	L2	8	7,38	23,99					
	L3	3	16,61						

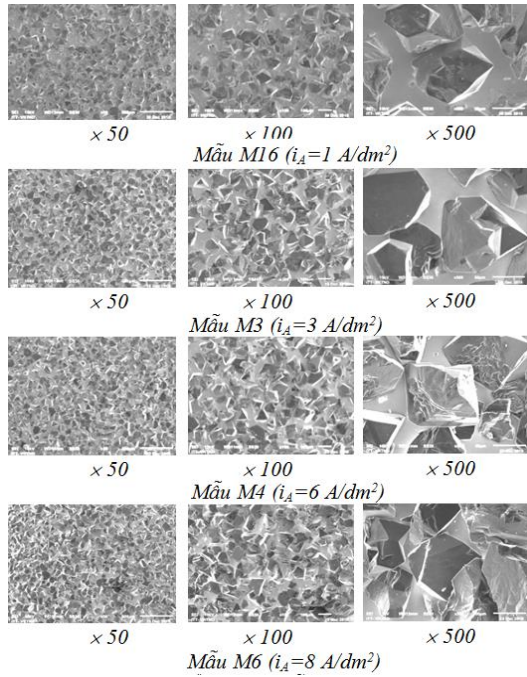
*L1: lớp mạ Ni lót, L2: Mạ composite Ni-CBN; L3: mạ chôn lấp CBN bằng Ni*

Bảng 4.3 trình bày kết quả thí nghiệm và các tính toán liên quan hệ số mật độ phân bố hạt mài K<sub>PBQU</sub> và K<sub>PBT</sub> và chiều dày chôn lấp của hạt mài trong lớp mạ với mật độ dòng i= 1; 3; 6; 8 A/dm<sup>2</sup> tương ứng với các mẫu M16, M3, M4, M6. Ảnh SEM với độ phóng đại khác nhau của các mẫu được trình bày trên hình 4.11 cho thấy cấu trúc bề mặt của đá mài CBN chế tạo, các hạt phân bố tương đối đồng đều trên bề mặt mẫu. Tuy nhiên, ở mẫu M16 (i= 1A/dm<sup>2</sup>) một số vùng trên bề mặt mẫu hạt phân bố không đồng đều như trên hình 4.11a, điều này có thể lý giải là do mật độ dòng bé nên trong quá trình mạ composite, lượng niken kết tủa trên bề mặt phôi mạ không đủ để giữ một số hạt mài bám trên bề mặt phôi nên bị bong ra khi phôi quay.

Hình 4.13 biểu diễn quy luật phụ thuộc K<sub>PBT</sub> và K<sub>PBQU</sub> với mật độ dòng. Như vậy có thể nhận thấy:

- Mật độ dòng ảnh hưởng lớn đến khả năng phân bố của hạt mài CBN trên bề mặt phôi mạ. Mức độ bám của hạt mài tăng theo sự tăng của mật độ dòng, điều này cũng thể hiện rõ khi quan sát trên hình 4.11.

- Cùng một điều kiện thí nghiệm, ta nhận thấy: Khi mật độ dòng tăng thì lượng hạt mài gắn kết trên bề mặt của đá tăng. Khi mật độ dòng tăng từ 1; 3; 6; 8 A/dm<sup>2</sup>, thì hệ số K<sub>PBQU</sub> tăng từ 53,48; 66,20; 69,40; 76,93 còn hệ số K<sub>PBT</sub> nhận các giá trị 64,03; 76,260; 83,20; 91,35. Sự khác nhau giữa K<sub>PBQU</sub> và K<sub>PBT</sub> chênh lệch từ 10,07 đến 14,43, nhưng dạng đường cong quan hệ giữa 2 hệ số K<sub>PBQU</sub> và K<sub>PBT</sub> với mật độ dòng có cùng một quy luật. Sở dĩ có sự khác nhau giữa 2 hệ số là do sự khác nhau của hạt mài quy ước là hình cầu và hạt mài thực tế có dạng khối nhiều cạnh. Tuy nhiên, xu hướng của đồ thị của cả 2 hệ số K<sub>PBQU</sub> và K<sub>PBT</sub> đều có dạng giống nhau,



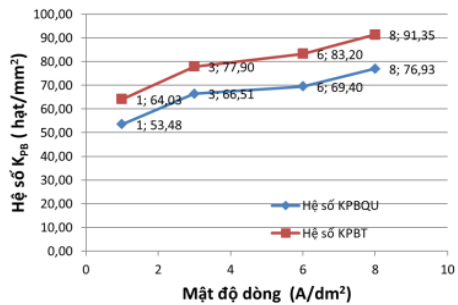
Hình 4.11. Ảnh SEM mẫu M16, M3, M4, M6

như vậy cả 2 hệ số này đều có thể đặc trưng cho mật độ hạt mài trên bề mặt của đá mài.

#### 4.2.2. Ảnh hưởng của tốc độ quay của chi tiết mạ (catốt)

Bảng 4.5 trình bày các kết quả thí nghiệm và các tính toán liên quan hệ số mật độ phân bố hạt mài và chiều dày chôn lấp của hạt mài trong quá trình thí nghiệm với tốc độ quay của chi tiết là n<sub>ct</sub> = 0,7; 1,3; 2; 3v/phút, với các mẫu M3, M9, M11 và M12).

Sự phân bố của hạt mài trên bề mặt các mẫu được quan sát trên các ảnh SEM được trình bày tại hình 4.15 cho thấy các hạt phân bố tương đối đồng đều trên bề mặt mẫu. Hình 4.17 thể hiện quan hệ của K<sub>PBT</sub> và K<sub>PBQU</sub> với tốc độ quay của chi tiết mạ.



Hình 4.13. Quan hệ của K<sub>PB</sub> và mật độ dòng

**Bảng 4.5. Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của tốc độ quay chi tiết đến chiều dày lớp mạ và hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  ( $T= 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_m = 5\text{ phút}$ ,  $i= 3\text{ A/dm}^2$ )**

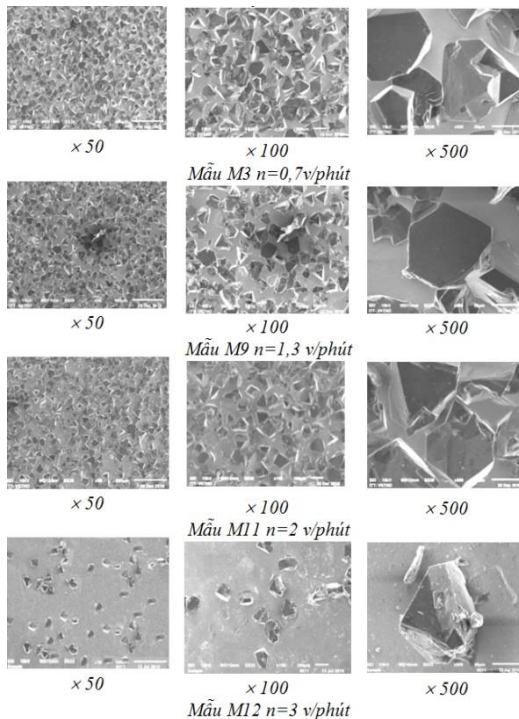
TT	Tên lớp mạ	Tốc độ quay chi tiết (v/phút)	Chiều dày lớp mạ tính toán không kể hạt mài		Hệ số $K_{PBQU}$	Hệ số $K_{PBT}$	$\frac{\Delta K_{PB}}{K_{PBQU}} = \frac{K_{PBT}}{K_{PBQU}}$	Độ dày lớp mạ có tính đến sự xuất hiện của hạt mài	
			Từng lớp	Chiều dày chôn lấp				Tính đến $K_{PBQU}$	Tính đến $K_{PBT}$
		( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )				
M3	L1	0,7	13,84		66,20	76,26	10,07	29,38	31,58
	L2	0,7	2,77	22,15					
	L3	0,7	19,38						
M9	L1	1,3	13,84		60,69	69,74	9,05	24,08	25,14
	L2	1,3	2,77	19,38					
	L3	1,3	16,61						
M11	L1	2,0	13,84		57,49	66,88	9,40	23,64	24,75
	L2	2,0	2,77	19,38					
	L3	2,0	16,61						
M12	L1	3,0	13,84		8,06	11,01	2,95	19,81	19,98
	L2	3,0	2,77	19,38					
	L3	3,0	16,61						

Từ kết quả bảng 4.5 và hình 4.17 có thể nhận thấy:

- Tốc độ quay chi tiết ảnh hưởng lớn đến khả năng phân bố của hạt mài CBN trên bề mặt phôi mạ. Mức độ bám của hạt mài tăng khi giảm vận tốc quay của chi tiết mạ. Ở tốc độ thấp  $n=0,7$  v/phút (M3) thấy lượng hạt mài bám đều và cũng không chênh lệch nhiều với lượng hạt mài bám ở mẫu M9 ( $n = 1,3$  v/phút).

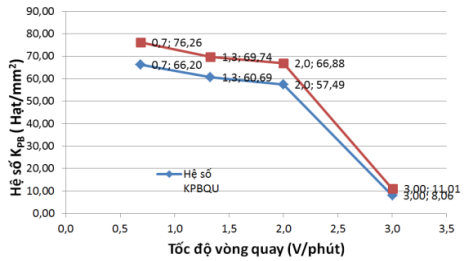
- Ở mẫu M11 ( $n=2$ v/phút) hạt bám không đều bằng mẫu M3 và mẫu M9. Tuy nhiên nếu quan sát trên bề mặt của M11 ( $n=3$  v/phút) và mẫu M3 ( $n = 0,7$  v/phút) thì thấy có sự khác nhau rõ rệt về mật độ phân bố của hạt mài.

- Cùng một điều kiện thí nghiệm, ta nhận thấy: Khi tốc độ quay của chi tiết tăng từ 0,7; 1,3; 2; 3 v/phút, thì hệ số  $K_{PBQU}$  giảm từ 66,20; 60,69; 57,49; 8,06 còn hệ số  $K_{PBT}$  nhận các giá trị giảm dần 76,26; 69,74; 66,88; 11,01. Hệ số



**Hình 4.15. Ảnh SEM mẫu M3, M9, M11 và M12**

$K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  chênh lệch từ 9,05 đến 11,80, đặc biệt là ở mẫu M12 chỉ là 2,95, nhưng dạng đường cong quan hệ giữa 2 hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  đều cho thấy khi mật độ dòng tăng thì lượng hạt CBN trên bề mặt phôi mạ tăng. Tuy nhiên, khi tốc độ quay tăng đến 3v/phút thì mật độ phân bố hạt giảm đột ngột. Điều này có thể được lý giải là do khi tốc độ quay tăng đến 3



Hình 4.17. Quan hệ của  $K_{PB}$  và tốc độ quay chi tiết mạ

v/phút thì chiều dày lớp kim loại mạ để gắn các hạt mài CBN chưa đủ để giữ hạt mài nên trên bề mặt phôi nên hạt mài bám trên bề mặt phôi lại bị bong ra khi mẫu mạ quay và chỉ còn lại một số ít hạt mài bám trên bề mặt. Đối với mẫu M12, sự chênh lệch của  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  rất nhỏ là 2,95 có thể lý giải là do mật độ hạt mài ở mẫu M12 rất thấp nên sự khác nhau về hình dạng của hạt mài quy ước và hạt mài thực tế không làm ảnh hưởng nhiều đến hệ số  $K_{PBT}$ . Ở mẫu M11, lượng hạt phân bố quan sát không được đều bằng mẫu M9 và M3. Như vậy, tốc độ quay của chi tiết trong khoảng 0,7 vòng/phút đến 1,3 vòng/phút là phù hợp.

#### 4.2.3. Ảnh hưởng của thời gian mạ composite.

Bảng 4.7 trình bày các kết quả thí nghiệm và các tính toán liên quan hệ số mật độ phân bố hạt mài và chiều dày chôn lấp của hạt mài trong quá trình thí nghiệm phụ thuộc vào thời gian mạ composite là 3; 5; 10; 15 phút tương ứng với các mẫu M17; M3; M1 và M8.

Bảng 4.7. Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của thời gian mạ composite Ni-CBN đến chiều dày lớp mạ và hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  ( $T = 55^{\circ}C$ ,  $i = 3 A/dm^2$ ,  $n_{cl} = 0,7 v/phút$ )

TT	Tên lớp mạ	Thời gian mạ (phút)	Chiều dày lớp mạ tính toán không kể hạt mài ( $\mu m$ )		Hệ số $K_{PBQU}$	Hệ số $K_{PBT}$	$\Delta K_{PB} = K_{PBT} - K_{PBQU}$	Độ dày lớp mạ có tính đến sự xuất hiện của hạt mài ( $\mu m$ )	
			Từng lớp	Chiều dày chôn lấp				Tính đến $K_{PBQU}$	Tính đến $K_{PBT}$
M17	L1	25	13,84	18,27	50,05	59,54	9,49	21,34	22,20
	L2	3	1,66						
	L3	30	16,61						
M3	L1	25	13,84	22,15	66,20	76,26	10,07	29,38	31,58
	L2	5	2,77						
	L3	35	19,38						
M1	L1	25	13,84	24,91	72,24	84,01	11,77	36,19	41,10
	L2	10	5,54						
	L3	35	19,38						
M8	L1	25	13,84	27,68	77,89	91,35	13,47	45,06	55,60
	L2	15	8,30						
	L3	35	19,38						

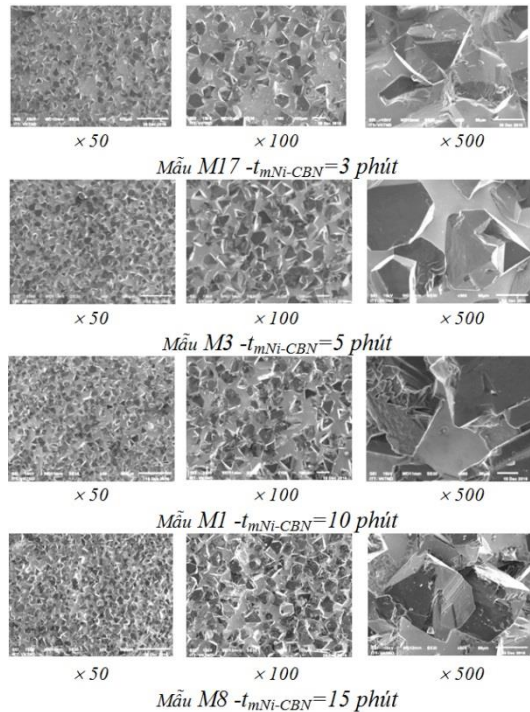
Hình 4.19 trình bày sự phân bố của hạt mài trên bề mặt mẫu trên các ảnh SEM với độ phóng đại từ 50 đến 500 lần. Sự phụ thuộc của hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  với thời gian mạ được thể hiện ở trên hình 4.21. Từ các kết quả trên có thể nhận thấy:

- Hạt mài phân bố tương đối đồng đều trên bề mặt mẫu. Tuy nhiên, ở mẫu M17, do thời gian mạ composite  $t_m = 3$  phút nhỏ nên còn xuất hiện một số vùng hạt mài phân bố chưa đồng đều như trên hình 4.19a. Tại mẫu có thời gian mạ composite lớn M8 ( $t_m = 15$  phút), xuất hiện một số hạt bị chồng đê lên nhau trên bề mặt mẫu như quan sát trên hình 4.19d. Qua đó cho thấy, thời gian thích hợp mạ trong khoảng từ 5- 10 phút.

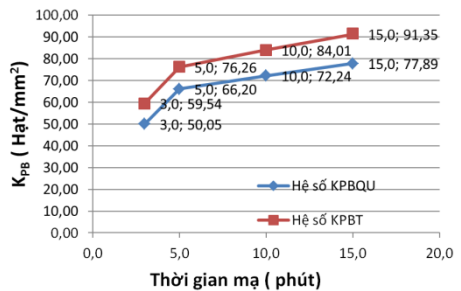
- Cùng một điều kiện thí nghiệm, ta nhận thấy: Thời gian mạ composite ảnh hưởng lớn đến mức độ phân bố của hạt mài CBN trên bề mặt phủ mạ. Mức độ bám của hạt mài tăng theo thời gian mạ. Khi thời gian mạ của chi tiết tăng từ 3; 5; 10; 15 phút, thì hệ số  $K_{PBQU}$  tăng từ 50,05; 66,20; 72,24; 77,89 còn hệ số  $K_{PBT}$  nhận các giá trị tăng dần 59,54; 76,26; 83,61; 91,35.

Hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  có thể chênh lệch từ 9,41 đến 13,47 nhưng dạng đường cong quan hệ giữa 2 hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  đều cho thấy là khi thời gian mạ tăng thì lượng hạt CBN trên bề mặt phủ mạ tăng.

- Khi thời gian mạ của chi tiết tăng từ 3; 5; 10; 15 phút, thì hệ số  $K_{PBQU}$  tăng từ 50,05; 66,20; 72,24; 77,89 còn hệ số  $K_{PBT}$  nhận các giá trị tăng dần



Hình 4.19. Ảnh SEM mẫu M17, M3, M1 và M8



Hình 4.21. Quan hệ của  $K_{PB}$  và thời gian mạ



59,54; 76,26; 83,61; 91,35. Hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  có thể chênh lệch từ 9,41 đến 13,47 nhưng dạng đường cong quan hệ giữa 2 hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  đều cho thấy là khi thời gian mạ tăng thì lượng hạt CBN trên bề mặt phi mạ tăng.

#### 4.2.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ dung dịch mạ.

Bảng 4.9. Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của nhiệt độ dung dịch mạ đến chiều dày lớp mạ và hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  ( $i = 3 A/dm^2$ ,  $n_{ct} = 0,7$  v/phút,  $t_m = 5$  phút)

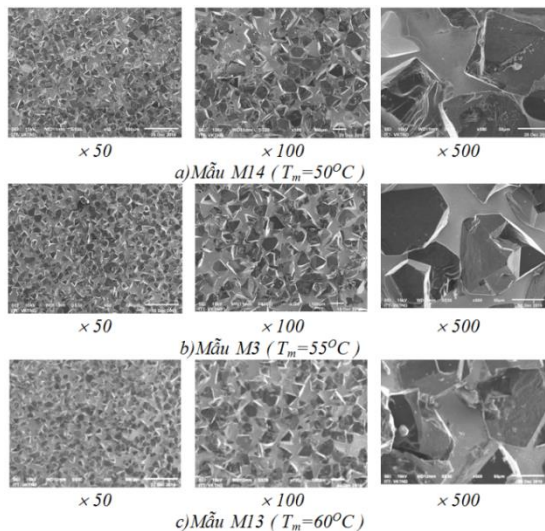
TT	Tên lớp mạ	Nhiệt độ	Chiều dày lớp mạ tính toán không kể hạt mài		Hệ số $K_{PBQU}$	Hệ số $K_{PBT}$	$\Delta K_{PB} = K_{PBT} - K_{PBQU}$	Độ dày lớp mạ có tính đến sự xuất hiện của hạt mài	
			Tầng lớp	Chiều dày chôn lấp				Tính đến $K_{PBQU}$	Tính đến $K_{PBT}$
		(°C)	(μm)		(hạt/mm <sup>2</sup> )		(μm)		
M14	L1	50	13,84		63,20	74,23	11,03	24,28	25,81
	L2	50	2,77	19,38					
	L3	50	16,61						
M3	L1	55	13,84	22,15	66,20	76,26	10,07	29,38	31,58
	L2	55	2,77						
	L3	55	19,38						
M13	L1	60	13,84	19,38	65,29	75,86	10,57	24,55	26,07
	L2	60	2,77						
	L3	60	16,61						

Bảng 4.9 trình bày các kết quả thí nghiệm liên quan  $K_{PBQU}$ ,  $K_{PBT}$  và chiều dày chôn lấp của hạt CBN tại các nhiệt độ dung dịch mạ  $T = 50; 55; 60^\circ C$  với các mẫu M14; M3 và M13.

Hình 4.23 là các ảnh SEM bề mặt của các mẫu. Hình 4.25 biểu diễn ảnh hưởng không đáng kể của nhiệt độ dung dịch mạ đến  $K_{PBT}$  và  $K_{PBQU}$  của hạt trên bề mặt mạ. Từ các kết quả trên có thể nhận thấy:

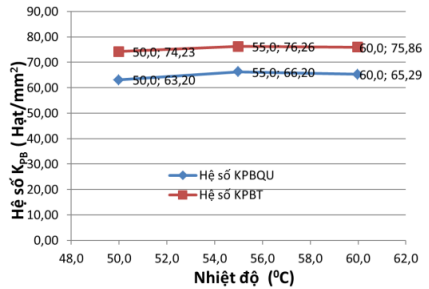
- Các hạt CBN phân bố tương đối đồng đều trên bề mặt lớp mạ. Nhiệt độ dung dịch mạ ảnh hưởng không đáng kể đến mức độ phân bố của hạt mài trên bề mặt phi mạ trong khoảng nhiệt độ từ 50-60 °C

- Khi nhiệt độ dung dịch mạ tăng từ 50; 55; 60 °C, thì hệ số  $K_{PBQU}$  nhận các giá trị 63,20; 66,20; 65,29 còn hệ số  $K_{PBT}$  nhận các giá trị 74,23; 76,26; 75,86. Hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  có thể chênh lệch từ 10,57 đến 11,03 nhưng dạng đường



Hình 4.23. Ảnh SEM các mẫu M14, M3 và M13

cong quan hệ giữa 2 hệ số  $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$  đều cho thấy khi nhiệt độ mạ thay đổi thì ảnh hưởng rất ít đến sự phân bố của hạt mài trên bề mặt phôi mạ.



#### 4.2.5. Ảnh hưởng đồng thời của đa yếu tố đến sự phân bố của hạt mài trong lớp mạ.

##### 4.2.5.1. Kế hoạch thí nghiệm đồng thời ba yếu tố

Căn cứ vào các thí nghiệm ở trên, khoảng biến thiên của các yếu tố được lựa chọn như sau: Mật độ dòng được chọn biến đổi từ 3-8 A/dm<sup>2</sup>; Tốc độ quay của chi tiết mạ được chọn biến đổi từ 0,7 - 1,3 vòng/ phút; Thời gian mạ composite được chọn khoảng biến đổi từ 5- 10 phút.

Hình 4.25. Quan hệ của  $K_{PB}$  và nhiệt độ mạ

##### 4.2.5.2. Kết quả thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm với các các thông số thí nghiệm được trình bày trong bảng 4.12.

Bảng 4.12. Kết quả và thông số thí nghiệm ảnh hưởng của ba yếu tố

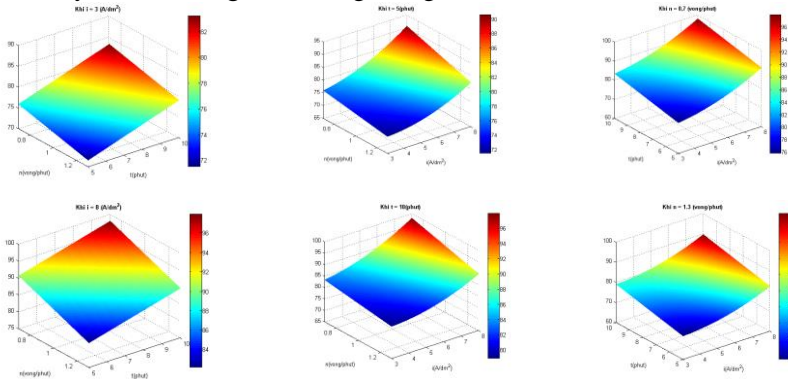
TT	Biến mã hóa			Biến thực			$K_{PBT}$	
	A	B	C	n	T	i	$K_{PBT1}$	$K_{PBT2}$
1	-1	-1	-1	0,7	5	3	75,04	76,26
2	+1	-1	-1	1,3	5	3	70,96	69,74
3	-1	+1	-1	0,7	10	3	83,20	84,01
4	+1	+1	-1	1,3	10	3	79,12	79,93
5	-1	-1	+1	0,7	5	8	89,72	91,35
6	+1	-1	+1	1,3	5	8	81,57	83,61
7	-1	+1	+1	0,7	10	8	96,25	99,10
8	+1	+1	+1	1,3	10	8	87,28	88,91
9	-1	0	0	0,7	7,5	5,5	84,01	83,61
10	+1	0	0	1,3	7,5	5,5	78,71	79,12
11	0	-1	0	1	5	5,5	79,12	77,08
12	0	+1	0	1	10	5,5	86,46	84,01
13	0	0	-1	1	7,5	3	79,12	76,26
14	0	0	+1	1	7,5	8	90,54	92,17
15	0	0	0	1	7,5	5,5	83,61	81,16
16	0	0	0	1	7,5	5,5	79,12	81,57

##### 4.2.5.3. Xác định phương trình hồi quy (PTHQ)

Sử dụng phần mềm Minitab 17.0 để xử lý kết quả thực nghiệm, PTHQ theo biến thực có dạng:

$$K_{PBT} = 70,42 - 3,13 n + 1,476 t - 0,049 i + 0,3586 i.i - 1,359 n.i \quad (4-3)$$

Dựa vào PTHQ (4.4) vẽ được đồ thị 3D của hàm mật độ phân bố  $K_{PBT}$  với các thông số thời gian mạ, mật độ dòng và tốc độ quay thể hiện trên hình 4.26. PTHQ cho thấy hệ số của yếu tố tốc độ quay của chi tiết là hệ số - 3,13 có nghĩa là khi tốc độ quay của chi tiết mạ tăng thì hệ số phân bố giảm. Hệ số của yếu tố thời gian mạ  $t$  bằng 1,476 cũng cho thấy khi thời gian mạ tăng thì mật độ dòng tăng. Trong khi đó hệ số của yếu tố mật độ dòng  $i$  lại bằng -0,049, nhưng hệ số của  $i^2$  lại bằng 0,3586 nên ảnh hưởng của mật độ dòng không tuyến tính, nhưng khi mật độ dòng tăng thì mật độ phân bố của hạt mài cũng tăng. Còn tương tác của hai yếu tố  $n, i$  cũng ảnh hưởng làm giảm hệ số  $K_{PBT}$  do hệ số âm.



a) Quan hệ của hệ số  $K_{PBT}$  với  $n$  và  $t$

b) Quan hệ của hệ số  $K_{PBT}$  với  $n$  và  $i$

c) Quan hệ của hệ số  $K_{PBT}$  với  $t$  và  $i$

Hình 4.26. Đồ thị 3D quan hệ của hệ số  $K_{PBT}$  và thông số công nghệ mạ

Qua các đồ thị các hình 4.26 nhận thấy:

- Trong vùng thí nghiệm không xuất hiện cực trị của hàm mật độ phân bố, điều này cũng logic vì trong khoảng thí nghiệm khi mật độ dòng và thời gian mạ tăng và tốc độ quay giảm thì mật độ phân bố  $K_{PBT}$  tăng. Tuy nhiên, mật độ phân bố  $K_{PBT}$  không phải càng cao càng tốt mà chỉ nằm trong một phạm vi hợp lý. Vì nếu mật độ quá cao dễ xảy ra sự xếp chồng của các hạt mài trong quá trình mạ sẽ làm cho liên kết không tốt của các hạt mài với lớp lõi, đồng thời sẽ làm giảm khoảng thoát phoi và thoát nhiệt trong quá trình mài, ảnh hưởng xấu đến quá trình cắt trong vùng mài.

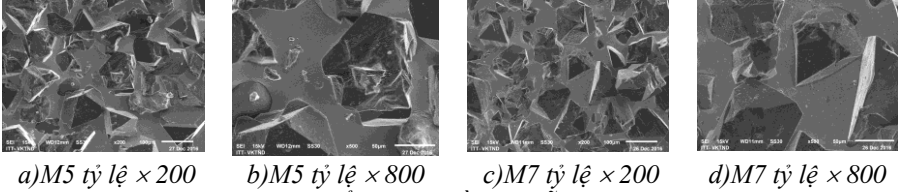
- PTHQ trong nghiên cứu có ý nghĩa quan trọng là cho phép dự đoán mật độ phân bố hạt  $K_{PBT}$  ứng với bộ thông số thí nghiệm hoặc khi yêu cầu mật độ phân bố hạt sẽ dự báo bộ thông số thí nghiệm cần thiết.

### 4.3. Đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo

Đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo cần đánh giá độ bền cầu liên kết và đánh giá khả năng cắt gọt thông qua một số yếu tố: hệ số mài và nhám bề mặt của chi tiết mài.

#### 4.3.1. Quan sát cầu liên kết sau khi chế tạo bằng PPMĐ

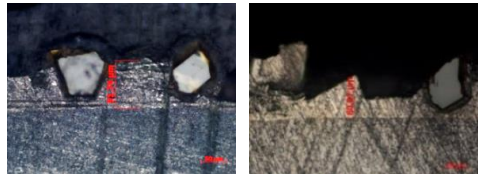
Quan sát mức độ liên kết của hạt mài CBN với kim loại mạ trên các ảnh SEM chụp bề mặt của đá mài (hình 4.28) có thể nhận thấy, có sự gắn kết tốt giữa hạt mài CBN và kim loại mạ, bề mặt của đá mài chế tạo cũng trong tự như đá mài của Nhật Bản (hình 4.1). Quan sát trên ảnh chụp mặt cắt ngang của mẫu như hình 4.29 cũng nhận thấy các hạt mài đã bị chôn lấp 1 phần, liên kết giữa lớp mạ và kim loại nền rất tốt không bị tách lớp. Quan sát sự liên kết của hạt mài và lớp mạ và lớp mạ và lõi đá của đá mài chế tạo hình 4.30 và của đá mài do Nhật Bản chế tạo hình 4.3 và hình 4.4 cũng không khác nhau.



Hình 4.28. Ảnh chụp bề mặt mẫu M5 và M7

Chiều dày của lớp mạ niken nền có chiều dày khoảng 12-17  $\mu\text{m}$  và chiều sâu chôn lấp hạt khoảng 55  $\mu\text{m}$ . Một số hạt mài trong quá trình làm mẫu kim tương bị bong ra nhưng vẫn để lại những khoảng rỗng của hạt mài.

Để đánh giá mức độ liên kết của hạt mài với thân kim loại cần tiến hành mài thử nghiệm để xem xét khả năng cắt của đá mài chế tạo, từ đó sẽ đưa ra được kết luận chính xác hơn.

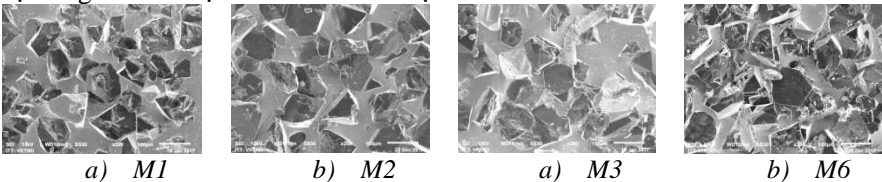


a) Mẫu M5 b) mẫu M7

Hình 4.29. Ảnh SEM mặt cắt ngang

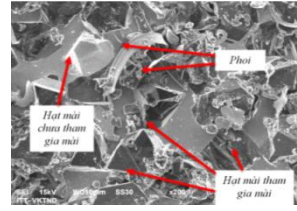
#### 4.3.2. Đánh giá độ bền của cầu liên kết

Hình 4.31 trình bày ảnh SEM bề mặt của các mẫu M1, M2, M3 và M6 sau 200 hành trình mài khi cắt với chiều sâu cắt 0,01mm cho thấy không xuất hiện sự bong của các hạt mài ra khỏi bề mặt đá mài.



Hình 4.31. Ảnh SEM bề mặt đá mài sau 200 hành trình mài

Khi quan sát ảnh SEM (hình 4.34) bề mặt đá mài sau khi mài mà chưa được làm sạch có những hạt mài đã tham gia quá trình cắt gọt, có những hạt mài chưa tham gia cắt gọt và sự xuất hiện các mảnh phoi dầy trên bề mặt đá là minh chứng rõ ràng cho quá trình cắt kim loại của hạt mài thông qua quá trình tạo phoi. Điều này khẳng định cầu liên kết vật liệu niken được tạo ra bằng PPMĐ đủ bền chịu được tác động của lực mài khi mài.



Hình 4.34. Bề mặt đá sau khi mài mà chưa được làm sạch

### 4.3.3. Đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo

Đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo bằng hai cách: đánh giá thông qua hệ số mài của đá G và nhám bề mặt đạt được của chi tiết mài  $R_a$ ,  $R_z$ .

#### 4.3.3.1. Hệ số mài

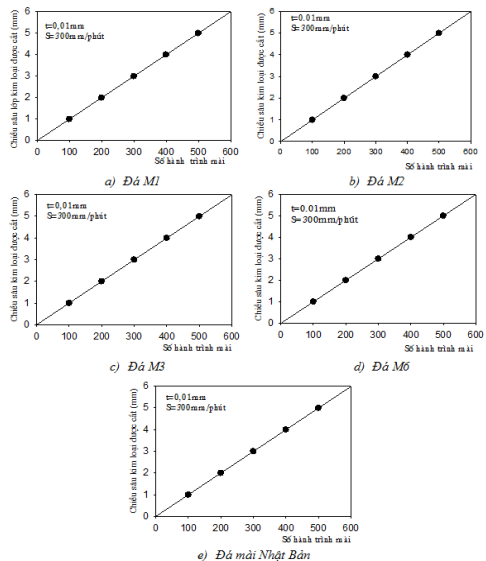
Một trong những tiêu chí được dùng phổ biến để đánh giá khả năng cắt của đá mài là hệ số mài. Để đánh giá khả năng cắt gọt của đá được thực hiện bằng cách so sánh giữa lượng kim loại thực tế được cắt đi với lượng kim loại được cắt theo lý thuyết dựa trên số hành trình mài thử nghiệm.

Quan hệ giữa chiều sâu kim loại được cắt đi trong quá trình mài và số hành trình mài thử nghiệm được thể hiện trên bảng 4.14 và các đồ thị hình 4.35. Các kết quả thí nghiệm cho thấy lượng kim loại bị cắt đi tăng theo tỷ lệ tuyến tính với số hành trình mài. Điều này cho thấy đá mài được chế tạo có hai đặc tính rất quan trọng cho mỗi dụng cụ cắt là: có độ sắc tốt và ít bị mòn trong quá trình cắt kim loại.

Với thời gian mài 75 phút, chiều dày kim loại được cắt đi là

Bảng 4.14. Hành trình mài và chiều sâu lớp kim loại cắt được

Số hành trình mài	Chiều sâu kim loại được cắt (mm)				
	M1	M2	M3	M6	Đá Nhật Bản
100	0,998	0,998	0,999	0,998	0,999
200	1,997	1,997	1,999	1,997	1,998
300	2,996	2,994	2,998	2,997	2,998
400	3,996	3,993	3,997	3,996	3,997
500	4,995	4,989	4,996	4,995	4,996



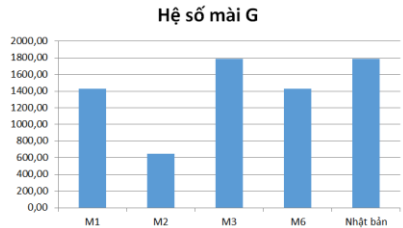
Hình 4.35. Quan hệ giữa lượng kim loại được cắt và số hành trình mài

4,995 mm, 4,989 mm, 4,996 mm và 4,995 mm cho các đá M1, M2, M3 và M6 so với chiều dày cắt theo lý thuyết là 5 mm. Điều này cho thấy đá mài chế tạo có hệ số mài dự báo sẽ rất cao.

Bảng 4.15. Giá trị hệ số mài của các mẫu

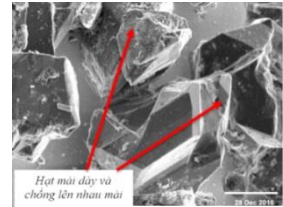
	M1	M2	M3	M6	Nhật bản
G	1430,96	649,66	1789,06	1430,96	1789,06

Hệ số mài với đá mài chế tạo và đá mài của Nhật Bản được xác định qua kết quả mài thử nghiệm và tính toán có kết quả như bảng 4.15. Hình 4.37 là đồ thị giá trị hệ số mài của đá mài chế tạo và của Nhật Bản.



Hình 4.37. Hệ số mài của các mẫu

Qua bảng 4.15, nhận thấy hệ số mài của đá mài rất cao  $649,66 \div 1789,06$ . Đá mài M2 hệ số mài là 649,66, thấp hơn các loại đá mài khác, có thể do mật độ hạt mài phân bố lớn  $K_{PBT} = 99,1$ , có xuất hiện một số hạt chồng lên nhau (hình 4.38), nên trong quá trình cắt các hạt mài này bị bong ra làm cho hệ số mài thấp, như vậy mật độ hạt mài không phải càng cao càng tốt mà chỉ nên nằm trong một giới hạn hợp lý.



Hình 4.38. Bề mặt đá M2 trước khi mài

So với đá mài của Nhật Bản sản xuất, hệ số mài của đá mài chế tạo bằng  $(0,8 \div 1)$  lần, riêng mẫu đá mài M2 chỉ bằng 0,36 lần. Điều đó cho thấy độ bền cầu liên kết được tạo ra đủ bền để giữ hạt mài tương đương như của đá mài do Nhật bản chế tạo.

#### 4.3.3.1. Nhám bề mặt chi tiết gia công

Nhám bề mặt chi tiết mài sau 200 hành trình mài được thể hiện trên bảng 4.16 và hình 4.39 khi mài với chiều sâu mài 0,005 mm và 0,01 mm bằng đá M1, M2, M3, M6 và đá mài đối chứng của Nhật Bản sản xuất. Trong cả hai chế độ mài, nhám bề mặt chi tiết mài thay đổi không đáng kể. Giá trị nhám bề mặt  $R_a$  thay đổi từ 2,5 đến 2,84  $\mu\text{m}$  khi mài với chiều sâu mài 0,005 mm và từ 2,72 đến 3,27  $\mu\text{m}$  khi mài với chiều sâu mài 0,01 mm.

Bảng 4.16. Kết quả đo nhám bề mặt

Mẫu	t=0,005 mm		t=0,01mm	
	$R_a$	$R_z$	$R_a$	$R_z$
M1	2,52	15,6	2,59	17,2
M2	2,84	17,6	3,27	18,4
M3	2,7	17,0	3,03	17,5
M6	2,75	17,4	2,72	15,0
Đá Nhật			2,35	12,8

Tuy nhiên kết quả nhám bề mặt chi tiết mài được mài bằng đá chế tạo cũng lớn hơn không đáng kể so với nhám bề mặt chi tiết mài khi mài bằng đá mài Nhật Bản chế tạo ( $R_a=2,35\mu\text{m}$ ). Điều này cũng có thể hiểu được vì chất lượng bề mặt đá mài do Nhật Bản tốt hơn so với đá được chế tạo.

#### 4.3.4. Đánh giá chung

Từ các kết quả thực nghiệm và các thảo luận có thể nhận thấy:

Cầu liên kết kim loại niken được tạo thành bằng phương pháp mạ điện đủ bền để giữ các hạt mài CBN không bị bong tróc ra khỏi bề mặt đá mài dưới tác dụng của lực mài.

Đá mài CBN đơn lớp liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện có khả năng cắt tốt, hệ số mài cao từ  $649,66 \div 1789,06$ , có thể ứng dụng vào trong sản xuất thực tế.

Nhám bề mặt chi tiết mài bằng đá mài chế tạo bằng phương pháp mạ điện còn cao ( $R_a: 2,5 \div 2,84 \mu\text{m}$  khi mài với chiều sâu mài  $0,005 \text{ mm}$  và  $2,72 \div 3,27 \mu\text{m}$  khi mài với chiều sâu mài  $0,01 \text{ mm}$ ) nhưng cũng gần tương đương với nhám bề mặt chi tiết mài bằng đá Nhật Bản chế tạo.

#### KẾT LUẬN CHƯƠNG 4

Từ các kết quả nghiên cứu trên có thể khẳng định:

- Đã xác định được quy trình chế tạo đá mài CBN bằng phương pháp mạ điện.

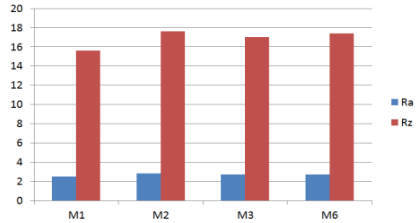
- Đã chế tạo được đá mài CBN bằng phương pháp mạ điện sử dụng công nghệ mạ composite Ni-CBN bằng dung dịch Watts. Đã nghiên cứu xác định được ảnh hưởng đến sự phân bố của hạt mài khi chế tạo đá mài của các thông số là: mật độ dòng, thời gian mạ, nhiệt độ mạ và tốc độ quay chi tiết. Khi mật độ dòng, thời gian mạ tăng và tốc độ quay chi tiết giảm thì mật độ phân bố hạt mài trên bề mặt đá mài chế tạo tăng, còn nhiệt độ mạ không ảnh hưởng nhiều đến sự phân bố của hạt mài. Mật độ dòng thích hợp nằm trong khoảng  $3 \div 8 \text{ A/dm}^2$ , thời gian mạ composite Ni-CBN thích hợp là từ  $5 \div 10$  phút, tốc độ quay của chi tiết mạ là  $0,7 \div 1,3 \text{ v/phút}$ , nhiệt độ mạ thích hợp là  $50 \div 60^\circ\text{C}$ .

- Ứng dụng phương pháp QHTN đã xác định được hàm hồi qui mô tả ảnh hưởng đồng thời của 3 thông số công nghệ đến sự phân bố của hạt mài theo công thức 4-3:

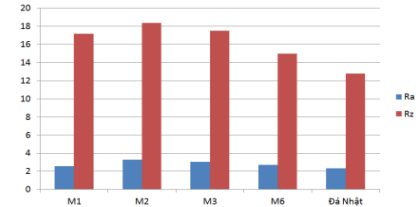
$$K_{PBT} = 70,42 - 3,13 n + 1,476 t - 0,049 i + 0,3586 i.i - 1,359 n.i$$

từ hàm hồi quy này có thể dự đoán thông số mạ cần thiết ứng với mật độ phân bố hạt theo yêu cầu.

- Qua nghiên cứu đá mài bằng cách quan sát bề mặt, mặt cắt ngang và mài thử nghiệm đã khẳng định cầu liên kết kim loại niken được tạo thành bằng



a)  $t=0,005 \text{ mm}$



b)  $t=0,01 \text{ mm}$

Hình 4.39. Đồ thị nhám bề mặt chi tiết mài sau 200 hành trình mài

phương pháp mạ điện đủ bền để giữ các hạt mài không bị bong tróc ra khỏi bề mặt đá mài dưới tác dụng của lực mài. Đá mài được chế tạo có khả năng cắt tốt, hệ số mài cao, có thể ứng dụng vào trong sản xuất thực tế. Nhám bề mặt chi tiết mài bằng đá mài chế tạo còn tương đối cao nhưng cũng gần tương đương với nhám bề mặt chi tiết mài bằng đá Nhật Bản chế tạo.

### KẾT LUẬN CHUNG

Với mục tiêu nghiên cứu chế tạo và đánh giá khả năng cắt gọt của đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện, luận án đã đạt được các kết quả cụ thể như sau:

- Lần đầu tiên ở Việt Nam tiến hành nghiên cứu và chế tạo thành công đá mài CBN liên kết kim loại bằng phương pháp mạ điện bằng công nghệ mạ Composite Ni-CBN sử dụng dung dịch Watts.

- Xây dựng được công thức xác định hệ số phân bố hạt mài ( $K_{PBQU}$  và  $K_{PBT}$ ), căn cứ và đó thiết lập được phương trình xác định chiều dày chôn lấp gần đúng của hạt mài khi mạ.

- Để mạ được composite Ni-CBN với cỡ hạt có kích thước lớn từ  $90 \div 106$   $\mu\text{m}$  bằng dung dịch Watts, hệ thống thiết bị mạ được thiết kế với chi tiết mạ (catốt) nằm ngang điều khiển tốc độ quay ổn định theo yêu cầu cũng như kiểm soát được các yếu tố của công nghệ mạ ảnh hưởng đến chất lượng lớp mạ Ni-CBN như nhiệt độ dung dịch mạ, thời gian mạ, mật độ dòng catốt.

- Đã đưa ra được quy trình chế tạo đá mài mạ và chọn được 4 thông số công nghệ (mật độ dòng, thời gian mạ, tốc độ quay chi tiết, nhiệt độ dung dịch mạ) để nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ quá trình mạ điện đến quá trình chế tạo đá mài CBN. Các thông số công nghệ được xác định: mật độ dòng  $3 \div 8 \text{ A/dm}^2$ , thời gian mạ Ni-CBN:  $5 \div 10$  phút, tốc độ quay chi tiết:  $0,7 \div 1,3$  v/phút, nhiệt độ mạ:  $50-60$  °C đảm bảo sự phân bố đồng đều và gắn kết tốt hạt mài CBN trên bề mặt đá. Để tạo sự gắn kết của CBN với nền thép quá trình mạ niken được thực hiện qua ba giai đoạn: mạ lớp lót, mạ gắn hạt và mạ chôn lấp hạt.

- Mô hình toán học phản ánh sự phụ thuộc của mật độ phân bố của hạt mài vào đồng thời 3 thông số công nghệ của quá trình mạ theo công thức 4-3 trang 102 là:

$$K_{PBT} = 70,42 - 3,13 n + 1,476 t - 0,049 i + 0,3586 i.i - 1,359 n.i$$

phù hợp với quy luật thực tế của các yếu tố công nghệ mạ. Dựa vào mô hình này có thể dự đoán thông số mạ cần thiết ứng với mật độ phân bố hạt yêu cầu.

- Khả năng cắt gọt của đá mài chế tạo được thử nghiệm qua 500 hành trình mài với vận tốc 12,56 m/s, chiều sâu mài  $t = 0,01$  mm đối với vật liệu có độ cứng 63HRC có hệ số mài từ 649,66  $\div$  1789,06 đã khẳng định cầu liên kết kim loại niken được tạo thành bằng phương pháp mạ điện đủ bền để đảm bảo quá trình cắt của đá mài khi mài vật liệu.