# NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ NÂNG CAO CƠ TÍNH VÀ MẬT ĐỘ CỦA CÁC CHI TIẾT CHẾ TẠO TỪ BỘT MOLIPĐEN

Nguyễn Huynh*, Nguyễn Xuân Phương, Lê Hải Ninh,
Nguyễn Văn Minh, Lã Đức Tuấn, Vũ Tuấn Linh

***Tóm tắt:*** *Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu công nghệ nâng cao cơ tính và mật độ của vật liệu molipđen bằng phương pháp gia công áp lực (rèn nóng). Kết quả cho thấy sau khi rèn mật độ và cơ tính tổng hợp của vật liệu tăng lên rõ rệt. Đã xác định được khoảng nhiệt độ tối ưu và tỉ số biến dạng cho quy trình công nghệ rèn đối với mác vật liệu M-MП. Thông qua ảnh hiển vi quang học đã làm sáng tỏ cơ chế biến dạng của các hạt kim loại và lỗ xốp dưới tác động của lực rèn và nhiệt độ. Nghiên cứu và làm rõ sự phân bố lại vị trí các lỗ xốp và sự lớn lên của các hạt kim loại khi rèn nóng.*

**Từ khóa:** Luyện kim bột; Vật liệu chịu nhiệt; Molipđen; Gia công áp lực; Rèn nóng.

## 1. MỞ ĐẦU

Từ lâu, molipđen (Mo) và hợp kim của chúng được sử dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực nhờ những tính chất đặc biệt như: hệ số giãn nở nhiệt thấp; có độ bền nhiệt cao; cơ tính tốt ở nhiệt độ cao; tính dẫn nhiệt và dẫn điện tốt. Giống như Ti, W, V và một số vật liệu chịu nhiệt khác, Mo thường dùng để chế tạo các chi tiết làm việc trong môi trường nhiệt độ rất cao (1500 ÷ 2000 $^{o}$C), vì Mo bảo toàn được cơ tính khi ở khoảng nhiệt độ này. Ở nhiệt độ thường, Mo rất bền đối với các tác động hóa học [1].

Trong lĩnh vực quân sự, nhóm vật liệu trên cơ sở Mo thường dùng để chế tạo các chi tiết cho máy bay, tên lửa, tàu vũ trụ hoặc các chi tiết máy làm việc trong môi trường khắc nghiệt (nhiệt độ cao, áp suất lớn, ăn mòn hóa học mạnh) bằng phương pháp luyện kim bột. Cụ thể, chúng dùng để chế tạo loa phụt và buồng đốt của động cơ tên lửa như: Koncurs; B72; Fagot, mép biên phía trước khí cụ bay, vòi phun nhiên liệu dạng nón, cánh lái, panel chắn nhiệt [2-6]. Đối với lĩnh vực công nghiệp dân dụng, vật liệu này dùng để chế tạo các thanh điện trở cho lò nung nhiệt độ cao, cánh tuabin cho lò phản ứng hạt nhân, dây cắt cho các máy tia lửa điện [7].

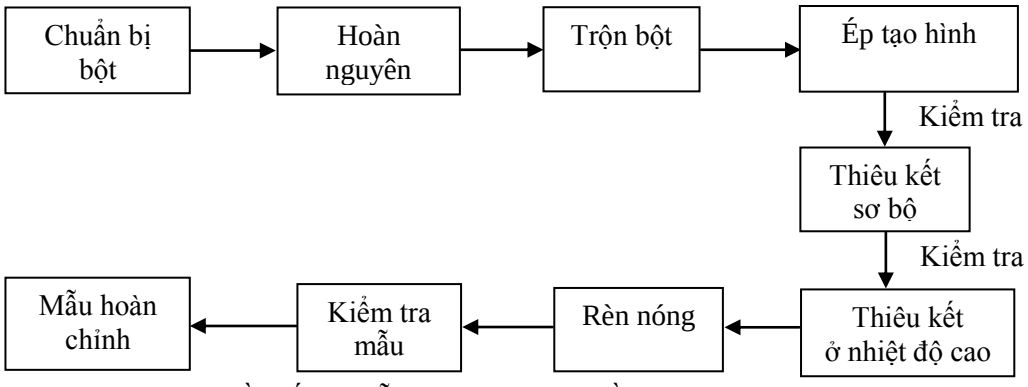
Trên thế giới, đã có rất nhiều công trình nghiên cứu ứng dụng vật liệu Mo trong dân dụng cũng như trong quân sự. Tuy nhiên, ở Việt Nam, số lượng các công trình nghiên cứu chế tạo các chi tiết từ Mo bằng phương pháp luyện kim bột còn rất ít và công nghệ chưa ổn định. Cụ thể nhóm tác giả tại Viện KH-CNQS [8] đã chế tạo được một số chi tiết từ bột Mo và được đưa vào ứng dụng. Song mẫu vật liệu sau khi thiêu kết không được tiến hành gia công áp lực nên mật độ còn thấp (so với vật liệu cùng mác của Liên Bang Nga). Bên cạnh đó, nhóm tác giả chỉ khảo sát mật độ, độ cứng và tổ chức tế vi của vật liệu sau khi chế tạo mà chưa đi sâu vào nghiên cứu các tham số khác như độ bền kéo, độ giãn dài và sự phân bố các lỗ xốp.

Về mặt lý thuyết, [7, 9, 10] việc gia công áp lực như: rèn nóng; cán nóng; chuốt; dập nóng; kéo dây đối với nhóm vật liệu trên cơ sở Mo là những quy trình rất phức tạp. Bởi vì bản chất vật liệu Mo có tính dẫn nhiệt tốt nên nhanh bị hao hụt nhiệt trong quá trình gia công áp lực. Bên cạnh đó, ở nhiệt độ ≥ 400 $^{o}$C, Mo bắt đầu oxy hóa mạnh trong môi trường không khí, nên quá trình gia nhiệt phải đảm bảo với tốc độ nhanh. Khi tiến hành gia công áp lực, nếu nhiệt độ nung không hợp lý dễ gây ra hiện tượng nứt vỡ hoặc cháy mẫu.

Chính vì vậy, việc nghiên cứu công nghệ nâng cao cơ lý tính, mật độ của vật liệu Mo điển hình là mác M-MП bằng phương pháp gia công áp lực mang tính cấp thiết cao.

## 2. ĐỐI TƯỢNG THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo này chỉ đi sâu vào nghiên cứu công nghệ gia công áp lực cụ thể là rèn nóng. Còn các thông số của những quy trình công nghệ khác như hoàn nguyên, ép nguội, thiêu kết đã được lựa chọn tối ưu căn cứ vào cơ sở lý thuyết trong các tài liệu [4, 7, 9] và trong quá trình thực nghiệm tại đơn vị. Các thiết bị sử dụng trong quá trình thực nghiệm, kiểm tra và xử lý dữ liệu được kiểm định theo định kỳ tại Trung tâm Đo lường – Viện Công nghệ - Tổng cụ CNQP, nên có độ tin cậy và chính xác cao. Quy trình công nghệ chế tạo các mẫu vật liệu M-МП theo sơ đồ hình 1:




***Hình 1.*** *Sơ đồ chế tạo mẫu vật liệu M-МП bằng phương pháp luyện kim bột.*

Nguyên liệu bột đầu vào được nhập từ Liên Bang Nga có độ sạch và kích thước hạt theo tiêu chuẩn ГОСТ 17432-72 như bảng 1:

***Bảng 1.*** *Thành phần hóa học của bột Mo.*

| Fe | Al | Ni | Si | Na | K | Ca | W | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ≤ 0,014 | ≤ 0,005 | ≤ 0,005 | ≤ 0,005 | ≤ 0,015 | ≤ 0,05 | ≤ 0,007 | ≤ 0,4 | còn lại |

### 2.1. Hoàn nguyên bột Mo

Theo phương pháp truyền thống [4, 7, 9] bột Mo được hoàn nguyên và làm sạch từ oxit $MoO_3$ qua 2 giai đoạn bằng khí $H_2$. Giai đoạn 1 từ $MoO_3 \rightarrow MoO_2$, giai đoạn 2 từ $MoO_2 \rightarrow$ Mo tinh khiết với độ sạch cao, theo phương trình phản ứng (1) và (2):

$$MoO_3 + H_2 \rightarrow MoO_2 + H_2O \quad (1)$$

$$MoO_2 + 2H_2 \rightarrow Mo + 2H_2O \quad (2)$$

Quá trình hoàn nguyên được thực hiện trong lò điện trở СТИЛОН 1,25 kW ở nhiệt độ 850 $^oC$.

### 2.2. Trộn bột với chất bôi trơn

Trước khi ép tạo hình, bột được trộn với chất bôi trơn. Mục đích nhằm làm giảm hệ số ma sát giữa kim loại Mo với thành khuôn và giữa các hạt Mo với nhau. Chất bôi trơn là hỗn hợp dung dịch đồng nhất gồm dung môi – xăng trắng (white spirit) và chất tan – parafin.

### 2.3. Ép tạo hình

Công đoạn ép tạo hình được tiến hành trên máy ép thủy lực 125T của Liên Bang Nga với áp lực - 2000 kg/cm$^2$. Khuôn ép được chế tạo bằng thép hợp kim SKD 11.

### 2.4. Thiêu kết

Quá trình thiêu kết được tiến hành qua hai giai đoạn:

*- Thiêu kết sơ bộ*

Được tiến hành ở nhiệt độ 950 ÷ 1000 $^oC$ trong môi trường khí $H_2$. Thời gian duy trì

nhiệt độ 950 ÷ 1000 $^{o}$C là 30 phút. Quá trình thiêu kết sơ bộ được tiến hành trong lò Nabertherm RHTC 80-450/15. Lưu lượng khí $H_2$ cung cấp cho toàn bộ thời gian thiêu kết phải đảm bảo 30 ÷ 40 l/h.

*- Thiêu kết nhiệt độ cao (cuối cùng)*

Theo lý thuyết nhiệt độ thiêu kết ở giai đoạn này thường từ 1900 ÷ 2000 $^{o}$C [7]. Trong công trình nghiên cứu này, sau nhiều lần thử nghiệm và đánh giá, đã lựa chọn nhiệt độ thiêu kết tối ưu khoảng 1900 – 1950 $^{o}$C và giữ nhiệt 30 phút trong môi trường hỗn hợp khí Ar và $H_2$ với tỉ lệ 1:1.

**2.5. Gia công áp lực**

Các mẫu 6, 7, 8, 9, 10 sau khi thiêu kết ở nhiệt độ cao được tiến hành rèn nóng để nghiên cứu và so sánh tính chất cơ, lý, mật độ cũng như tổ chức tế vi với các mẫu không qua rèn (1, 2, 3, 4, 5).

Các mẫu rèn được gia nhiệt bằng lò nung cao tần với công suất 15 kW. Quá trình rèn được thực hiện trên máy búa rèn cơ học. Mẫu được rèn trong các bộ khuôn kín, chế tạo từ thép hợp kim bền nhiệt SKD 61. Nhiệt độ khi rèn duy trì ở 1300 ÷ 1500 $^{o}$C [4, 7].

**2.6. Kiểm tra cơ tính, chụp hiển vi quang học và xác định mật độ của mẫu**

Đánh giá cơ tính được tiến hành trên máy kéo DEVOTRANS FU/R50KN theo tiêu chuẩn TCVN 197-1:2014. Việc xác định tổ chức tế vi được thực hiện trên kính hiển vi quang học Oxivert 40MAT theo tiêu chuẩn ASTM E407-07. Mật độ của mẫu được xác định bằng phương pháp cân thủy tĩnh theo công thức Archimede (3).

$$\gamma_m = m_1/(m_1-m_2) \quad (3)$$

Trong đó:

$m_1$ – Khối lượng mẫu trong không khí (g);

$m_2$ – Khối lượng mẫu trong nước cất (g);

$\gamma_m$ – Mật độ của mẫu (g/cm$^3$).

## 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Sau khi ép tạo hình, mẫu được tiến hành kiểm tra bề mặt và đo kiểm các thông số kỹ thuật (TSKT) như: đường kính trung bình ($D_{TB}$); chiều dài (L); và khối lượng (m), toàn bộ kết quả được nêu trong bảng 2.

***Bảng 2.*** *Thông số kỹ thuật của mẫu sau khi ép tạo hình.*

| TSKT | Số thứ tự mẫu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| m (g) | 70,20 | 67,40 | 69,78 | 77,00 | 71,02 | 73,01 | 77,30 | 74,1 | 74,70 | 76,80 |
| $D_{TB}$ (mm) | 15,80 | 15,50 | 15,70 | 16,50 | 16,20 | 16,40 | 16,50 | 16,30 | 16,30 | 16,40 |
| L (mm) | 66,41 | 66,45 | 66,43 | 66,43 | 66,45 | 66,44 | 66,45 | 66,43 | 66,44 | 66,47 |

Sau đó, mẫu được chuyển sang công đoạn thiêu kết sơ bộ. Sau khi thiêu kết tiến hành kiểm tra kích thước, khối lượng mẫu. Kết quả được ghi trong bảng 3.

***Bảng 3.*** *Thông số kỹ thuật của mẫu sau khi thiêu kết sơ bộ.*

| TSKT | Số thứ tự mẫu | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| m (g) | 67,39 | 64,41 | 67,05 | 74,27 | 68,13 | 70,21 | 73,20 | 71,10 | 72,10 | 73,60 |
| $D_{TB}$ (mm) | 15,80 | 15,00 | 15,60 | 16,40 | 15,80 | 16,00 | 16,20 | 16,00 | 16,20 | 16,20 |
| L (mm) | 66,00 | 66,00 | 66,10 | 66,20 | 66,10 | 66,10 | 66,00 | 66,10 | 66,00 | 66,20 |

Số liệu bảng 3 cho thấy, các mẫu sau khi thiêu kết sơ bộ kích thước có giảm song không nhiều cả về đường kính lẫn chiều dài (3 ÷ 4 %). Khối lượng mẫu giảm do chất bôi trơn (chủ yếu là lượng parafin) đã được thoát ra do bay hơi. Parafin thoát ra tạo chỗ trống cho các hạt xen lấn vào dẫn đến sự co ngót nhẹ. Các hạt kim loại bắt đầu có sự liên kết với nhau nên mẫu đã rắn chắc hơn. Bên cạnh đó, khi thiêu kết trong môi trường $H_2$, lớp oxit trên bề mặt các hạt đã được khử hoàn toàn dẫn đến màu sắc mẫu sáng hơn so với trước khi thiêu kết.

Sau khi thiêu kết sơ bộ, các mẫu được tuyển chọn để tiến hành thiêu kết cuối cùng ở nhiệt độ 1900 ÷ 1950 $^oC$. Thiêu kết xong tiến hành đo kiểm các TSKT và chỉ tiêu cơ tính như: mật độ (ρ), độ bền kéo ($\sigma_в$) của các mẫu 1, 2, 3, 4, 5. Kết quả đo kiểm được nêu trong bảng 4 và 5.

***Bảng 4.*** *Thông số kỹ thuật của mẫu sau khi thiêu kết cuối cùng.*

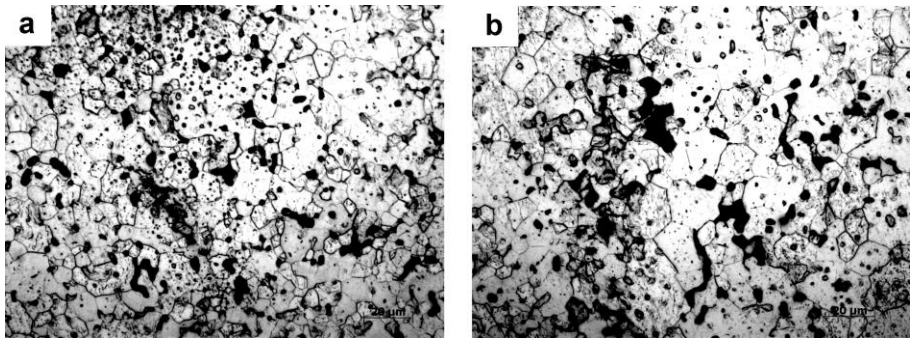
| **TSKT** | **Số thứ tự mẫu** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| **m (g)** | 67,10 | 64,10 | 67,00 | 73,10 | 68,00 | 70,00 | 72,70 | 70,10 | 71,00 | 73,10 |
| **$D_{TB}$ (mm)** | 12,80 | 12,70 | 12,60 | 13,70 | 12,70 | 13,10 | 13,40 | 13,00 | 13,40 | 13,60 |
| **L (mm)** | 56,00 | 56,00 | 56,10 | 57,20 | 56,10 | 56,10 | 56,40 | 56,10 | 56,30 | 56,20 |

***Bảng 5.*** *Cơ tính của mẫu sau khi thiêu kết cuối cùng.*

| **Cơ tính** | **Số thứ tự mẫu** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **ρ ($g/cm^3$)** | 8,9 | 9,1 | 9,0 | 8,9 | 9,1 |
| **$\sigma_в$ (MPa)** | 310 | 322 | 330 | 316 | 327 |

Từ số liệu trong bảng 4 và 5 thấy rằng, các thông số về kích thước đã giảm rõ rệt, độ co ngót đạt ≈ 18 % theo đường kính và ≈ 16 % theo chiều dài, dẫn đến mật độ cũng tăng lên đáng kể đạt ≈ 9 $g/cm^3$. Tuy nhiên, mẫu cứng và giòn kết quả thể hiện khi thử kéo cho thấy độ giãn dài hầu như không đo được (do quá nhỏ). Độ bền kéo $\sigma_в$ chỉ đạt tối đa 330 MPa đối với mẫu số 3.

Căn cứ vào ảnh hiển vi quang học (hình 2) có thể khẳng định, do tác động của nhiệt độ các hạt kim loại đã có sự hàn dính với nhau thành khối đặc chắc. Nếu tiếp tục duy trì ở nhiệt độ 1950 $^oC$ và kéo dài thời gian thiêu kết, hạt kim loại sẽ có xu hướng lớn lên theo cơ chế hạt lớn thôn tính hạt nhỏ. Đối với mẫu 3 quá trình này chỉ mới bắt đầu xảy ra nên kích thước hạt không đều nhau. So sánh ảnh theo mặt cắt ngang (hình 2a) và mặt cắt dọc (hình 2b) thấy rằng, hình dạng các hạt gần giống nhau, chứng tỏ, chúng lớn lên và phát triển đều theo các hướng.




***Hình 2.*** *Ảnh hiển vi quang học của mẫu 3 sau khi thiêu kết cuối cùng (x500):*
*a) Mặt cắt ngang; b) Mặt cắt dọc mẫu.*

Các lỗ xốp (điểm màu đen) có kích thước lớn và phân bố không đều trên cả hai ảnh. Chính các lỗ xốp này làm giảm mật độ và đặc biệt ảnh hưởng rất xấu tới cơ tính của mẫu. Bởi vì, khi chịu tác động của ngoại lực hoặc ngoại ứng suất thì tại đây sẽ hình thành các vết nứt tế vi là mầm mống của quá trình đứt gẫy và phá hủy. Bên cạnh đó, sự phân bố cục bộ của các lỗ xốp trên mẫu cũng là yếu tố quan trọng tác động tiêu cực tới cơ tính tổng hợp của vật liệu.

Đối với các mẫu 6, 7, 8, 9, 10 sau khi thiêu kết ở nhiệt độ cao được tiến hành rèn nóng. Việc lựa chọn khoảng nhiệt độ rèn căn cứ vào tài liệu [7, 10] và dựa vào quá trình thực nghiệm. Sau nhiều lần tiến hành thực nghiệm thấy rằng, nếu rèn ở nhiệt độ < 1300 $^oC$ mẫu sẽ bị nứt vỡ, vì đối với vật liệu Mo biến dạng ở nhiệt độ này vẫn được coi là biến dạng nguội. Còn khi rèn ở nhiệt độ > 1500 $^oC$ nhận thấy, mẫu bắt đầu cháy hao mãnh liệt (do phản ứng với oxy của không khí). Vì vậy, đối với vật liệu này nhiệt độ tối ưu bắt đầu rèn là 1500 $^oC$ và kết thúc ở 1300 $^oC$.

Sau khi rèn xong, các mẫu được đem đi kiểm tra các chỉ tiêu về mật độ, cơ tính, tỉ số biến dạng theo đường kính ($D_{BD}$) và chụp ảnh hiển vi quang học. Các thông số kỹ thuật được nêu trong bảng 6.

So sánh số liệu của bảng 5 và 6 thấy rằng, đối với các mẫu chỉ tiến hành thiêu kết (1, 2, 3, 4, 5) mật độ tối đa chỉ đạt được ở mức ≤ 9 g/cm$^3$. Còn đối với các mẫu sau khi thiêu kết cuối cùng và trải qua quá trình rèn nóng với tỉ số biến dạng từ 27,7 – 33 % thì mật độ đã tăng lên đáng kể (>10 g/cm$^3$). Bên cạnh đó, các chỉ tiêu khác về cơ tính như độ bền kéo, độ giãn dài cũng tăng lên rõ rệt. Đặc biệt độ bền kéo đạt tới 645 MPa (mẫu 6). Độ giãn dài của mẫu đã tăng lên nhiều lần so với những mẫu chỉ qua thiêu kết, γ đạt 7 % (mẫu 10).

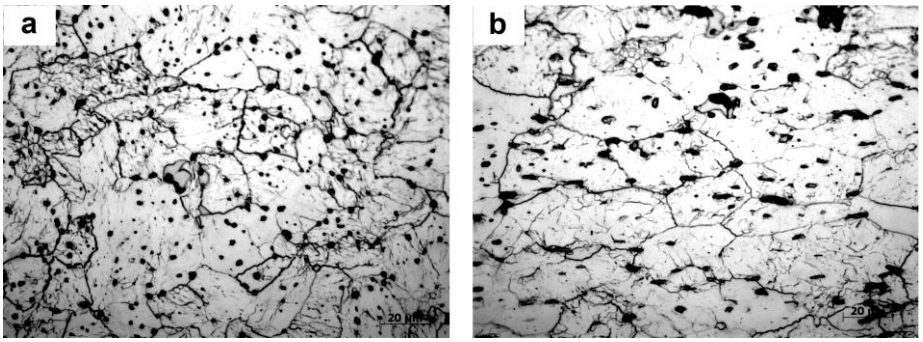
***Bảng 6.*** *Cơ lý tính của mẫu sau rèn.*

| STT mẫu | m (g) | $D_{TB}$ (mm) | L (mm) | $D_{BD}$ (%) | ρ (g/cm$^3$) | $\sigma_в$ (MPa) | γ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 70,0 | 9,15 | 87 | 29,7 | 10,2 | 645 | 6 |
| 7 | 72,7 | 9,50 | 72 | 29,0 | 10,15 | 630 | 5,1 |
| 8 | 70,1 | 9,40 | 76 | 27,7 | 10,20 | 637 | 5,5 |
| 9 | 71,0 | 9,50 | 62 | 29,1 | 10,01 | 625 | 5,3 |
| 10 | 73,1 | 9,10 | 90 | 33,0 | 10,22 | 640 | 7 |

So sánh các mẫu sau khi rèn với nhau thấy rằng, độ bền kéo và độ giãn dài gần như tăng tương ứng theo mật độ của mẫu. Cơ tính tổng hợp của mẫu đạt tối đa khi mật độ nằm trong khoảng từ 10,20 ÷ 10,22 g/cm$^3$. Nhưng khi tính dẻo tăng lên đến mức độ nhất định thì độ bền kéo của mẫu bắt đầu có xu hướng giảm.

Ở những bước rèn đầu tiên, dưới tác động của lực rèn và nhiệt độ các hạt kim loại Mo chuyển động tương đối với nhau làm thu hẹp các lỗ xốp. Mật độ của mẫu tăng lên do tổng thể tích các lỗ xốp trong mẫu giảm. Từ ảnh tổ chức tế vi của mẫu 10 (hình 3) thấy rằng, đối với mẫu sau khi rèn diện tích các lỗ xốp (điểm màu đen trong ảnh) không những giảm đi rất nhiều mà còn phân bố đều hơn. Phần lớn các lỗ xốp nằm xen kẽ ở biên giới các hạt, chính điều này làm cho cơ tính tổng hợp của mẫu tăng lên rõ rệt. Khi các lỗ xốp thu hẹp đến mức độ nhất định thì quá trình này diễn ra chậm dần. Lúc này, dưới tác động của lực rèn và nhiệt độ, các hạt kim loại bắt đầu sáp nhập vào nhau đồng thời xảy ra quá trình biến dạng hạt, do đó, kích thước hạt tăng lên so với trước khi rèn. Tuy nhiên, đối với tính chịu nhiệt thì hạt lớn chịu nhiệt tốt hơn vì quá trình nóng chảy thường bắt đầu từ biên giới hạt.

Hình ảnh theo mặt cắt ngang (hình 3a) cho thấy lỗ xốp và hạt kim loại đa số có dạng tròn. Còn đối với mặt cắt dọc (hình 3b) có hình dạng thuôn dài. Điều đó chứng tỏ, sau khi các lỗ xốp bị thu hẹp đến mức độ nhất định dưới tác động của lực rèn và nhiệt độ, các hạt kim loại và lỗ xốp bắt đầu biến dạng theo chiều biến dạng của mẫu (chiều dọc).




***Hình 3.*** *Ảnh hiển vi quang học của mẫu 10 sau rèn (x500): a) Mặt ngang; b) Mặt cắt dọc.*

## 4. KẾT LUẬN

Căn cứ vào lý thuyết và thực nghiệm đã xác định được khoảng nhiệt độ rèn tối ưu cho vật liệu M-MП là 1300 $^{o}$C ÷ 1500 $^{o}$C và tỉ số biến dạng để mẫu có cơ tính tổng hợp tốt nhất là từ 29,7 ÷ 33 %.

Sau khi rèn, các hạt kim loại xít chặt hơn và thể tích lỗ xốp giảm đi rất nhiều. Điều này làm cho mật độ của mẫu tăng lên đáng kể, ρ đạt 10,2 g/cm$^3$. Mật độ tăng dẫn đến cơ tính tổng hợp của mẫu được cải thiện rõ rệt. Độ bền kéo $\sigma_в$ lớn nhất đạt 645 MPa khi độ giãn dài γ đạt 6 %.

Từ ảnh hiển vi quang học thấy rằng, dưới tác động của lực rèn và nhiệt độ, các hạt kim loại có xu hướng sáp nhập vào nhau và lớn lên, phần lớn các lỗ xốp thu hẹp lại và phân bố đều tại vị trí biên hạt. Cả hạt và lỗ xốp đều bị biến dạng theo chiều biến dạng của mẫu.

Kết quả của công trình nghiên cứu góp phần xây dựng và hoàn thiện các quy trình công nghệ chế tạo chi tiết làm việc trong điều kiện khắc nhiệt từ vật liệu Mo bằng phương pháp luyện kim bột. Khẳng định khả năng nâng cao cơ tính tổng hợp của vật liệu M-MП bằng phương pháp gia công áp lực, từ đó tăng độ tin cậy và thời gian khai thác, sử dụng cho các chi tiết máy.

Từ cơ sở dữ liệu trên có thể tiếp tục phát triển nghiên cứu để áp dụng phương pháp gia công áp lực cho các loại vật liệu khác nhau trên cơ sở Mo hoặc các loại vật liệu tương tự có cơ tính đặc biệt như W và hợp kim của chúng. Tuy nhiên, đối với những chi tiết đòi hỏi tính dẻo cao cần phải nghiên cứu xây dựng quy trình xử lý nhiệt sau khi rèn, để đảm bảo đạt được cơ tính tổng hợp cần thiết.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. С.С. Кипарисов, *"Порошковая металлургия,"* Металлургия (1991), 431 с.
[2]. Г.А. Либенсон, *"Производство порошковых изделий,"* Металлургия (1990), 236 с.
[3]. О.Н. Фомина, *"Порошковая металлургия,"* ИПК издательство стандартов (1999), 305 с.
[4]. А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов, *"Металлургия редких металлов,"* Металлургия (1991), 432 с.
[5]. E.E. Mathauser, *"Molybdenum in aeronautics,"* J. of Aeronaut, **Vol. 2**, No. 1 (1964) pp. 66-68.
[6]. R. Burman, *"Properties and Applications of Molybdenum,"* In STP849-EB Refractory Metals and Their Industrial Applications, ed. R. Smallwood, West Conshohocken, PA: ASTM International (1984), pp. 3-17.
[7]. К. Агте, Вацек, *"Вольфрам и молибден,"* Энергия (1964), 455 с.
[8]. Q.T. Bình và cộng sự, *"Nghiên cứu chế tạo loa phụt động cơ hành trình tên lửa*

*nhiên liệu rắn cỡ nhỏ từ kim loại khó chảy,"* Báo cáo kết quả thực hiện đề tài cấp BQP, Viện Tên lửa/Viện KH&CNQS (2004). 110 tr.

[9]. Н.И. Корнеева, Б.Г. Арабея, *"Производство изделий из тугоплавких металлов,"* Мир (1968), 433 с.

[10]. А.Н. Шаповал, С.М. Горбатюк, *"Интенсивные процессы обработки давлением вольфрама и молибдена,"* Руда и металлы (2006), 353 с.

## ABSTRACT

RESEARCH ON TECHNOLOGY TO IMPROVE THE MECHANICAL PROPERTY AND DENSITY OF THE ELEMENT MADE FROM MOLYBDENUM POWDER

*The current research was carried out to investigate the technology of improving the mechanical properties and the density of Molybdenum by metal forming process (hot forging). Results showed that the density and mechanical properties of the material have increased significantly. The optimal forging temperature range and deformation ratio for the material mark M-MП have been specified. Through optical micrographs have elucidated the mechanism deformation of metal particles and pores under the impact force of forging and temperature. The study gives a clear conclusion about the redistribution of porosity and the growth of metal particles during the hot forging process.*

**Keywords:** Powder metallurgy; Refractory metals; Molibdenum; Forming processes; Hot forging.

*Nhận bài ngày 17 tháng 01 năm 2020*
*Hoàn thiện ngày 23 tháng 02 năm 2020*
*Chấp nhận đăng ngày 03 tháng 8 năm 2020*

*Địa chỉ:* Viện Công nghệ - Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng;
*Email: nguyenhuynh1586@gmail.com.