

## Các nghiên cứu cơ bản trong đánh bóng bề mặt thấu kính quang học sử dụng hỗn hợp đánh bóng linh hoạt

Basic research in aspheric elements surface polishing using a flexible polishing compound

Nguyễn Minh Quang\*, Nguyễn Tiên Tùng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: nmqy1984@gmail.com

Tel: 0984030988

---

### Tóm tắt

#### Từ khóa:

Bùn lỏng từ tính; Thấu kính quang học; Đánh bóng; Nhám bề mặt.

Trong bài báo này, một phương pháp mới sử dụng công cụ đánh bóng bởi hỗn hợp bùn lỏng từ tính MLS kết hợp với robot 6 trục tự do đã được đề xuất cho việc đánh bóng bề mặt thấu kính quang học. Trong đó sự phân bố của các hạt mài được phát hiện bằng SEM và EDX. Sau đó, quá trình hình thành nên hình dạng một dụng cụ đánh bóng ổn định theo thời gian đã được khảo sát. Một phôi gia công bằng hợp kim nhôm dạng tấm có thể được coi là một yếu tố thấu kính quang học (aspheric elements) với bán kính đường kính cong vô hạn được chấp nhận trong công trình này. Khu vực được đánh bóng và các mặt cắt ngang sau mỗi lần đánh bóng 30 phút được ghi lại. Trong đó khu vực đánh bóng được hình thành với vòng tròn đồng tâm đạt được với kích thước đường kính ngoài  $\varnothing 34\text{mm}$ , kích thước đường kính trong  $\varnothing 15\text{mm}$ , việc loại bỏ lượng dư vật liệu được xác định bằng chiều cao lớn nhất và độ nhám bề mặt Ra giảm từ 125 nm với phôi ban đầu xuống còn 11 nm sau 90 phút đánh bóng. Qua đó nhận thấy phương pháp đề xuất có khả năng đánh bóng cho bề mặt thấu kính quang học.

---

### Abstract

#### Keywords:

Magnetic liquid slurry; optical lenses; Polishing; Surface roughness.

This paper proposes a new method of polishing using the magnetic liquid slurry (MLS) combined with the 6-axis robot for the polishing the surface of optical lenses. First, the distribution of grinding particles was detected by SEM and EDX. Then, the shape formation of a gradually stable over time polishing device was investigated. In this paper, it is accepted that an workpiece made from aluminum-alloy sheets can be considered an aspheric element with an infinite curvature radius. The polished area and the cross sections formed every 30 minutes after the polishing process are recorded. The polished area is formed with obtained concentric circles. These concentric circles have an outer diameter of  $\varnothing 34\text{mm}$  and inner diameter of  $\varnothing 15\text{mm}$ . The process of removing material residue was determined by the highest height and the surface roughness (Ra) decreased from 125 nm with the initial workpiece to 11 nm after 90 minutes of polishing. Therefore, it can be concluded that the proposed method is capable of polishing the optical lens surface.

---

Ngày nhận bài: 10/8/2018

Ngày nhận bài sửa: 04/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/8/2018

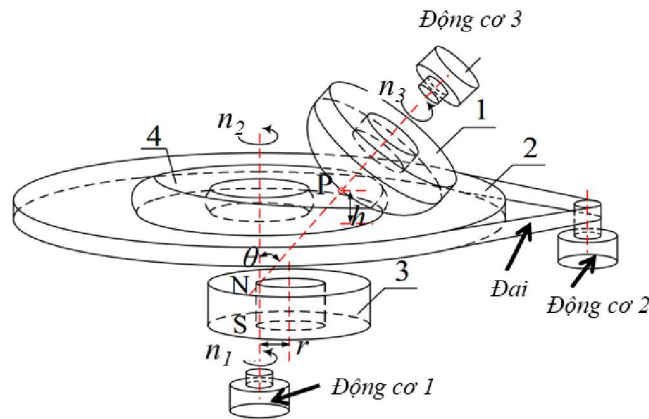
---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bề mặt của các thành phần quang học thường được sử dụng bao gồm các mặt phẳng, mặt cầu và mặt thấu kính. Đặc biệt, các yếu tố quang học hình thấu kính có tầm quan trọng ngày càng tăng trong lĩnh vực quang học vì hiệu suất nổi bật của chúng trong việc cải thiện chất lượng hình ảnh cho hệ thống quang học và giảm tổng chi phí so với các phần tử quang cầu [1]. Các yếu tố của thấu kính có thể được phân loại thành đối xứng trục và không đối xứng trục, với mỗi yếu tố này còn được phân loại thành bề mặt tự do và bề mặt trục ngoài [2]. Các yếu tố thấu kính truyền thống có các dạng parabol, hyperboloid và elip dạng đối xứng. Chúng được sử dụng rất rộng rãi trong nhiều ngành công nghiệp như: ngành công nghiệp quốc phòng, hàng không vũ trụ, ngành y tế, ngành công nghiệp laser và trong các lĩnh vực thương mại khác. Các sản phẩm chính bao gồm hệ thống quang học đối xứng ba trục, kính viễn vọng, kính thiên văn, thấu kính máy ảnh kỹ thuật số, thiết bị thông minh. Những thiết bị quang học này đòi hỏi các vật liệu có khối lượng thấp, độ bền và độ cứng cao, độ dẫn nhiệt thích hợp, dễ gia công sản xuất và chi phí thấp. Do đó, các vật liệu thông thường cho các thấu kính quang học và có thể chia thành: Nhóm kim loại (nhôm, berili), nhựa quang học (TPX, SAN), tinh thể quang học (đất kiềm flouride, tinh thể laser), vật liệu IR (kim loại Gecmani, Silic) và kính [3]. Tuy nhiên, do nhu cầu ngày càng tăng về độ chính xác, dung sai, hiệu suất và khả năng làm việc khiến các nhà nghiên cứu khác thác các loại vật liệu mới như CFC, SiC và các vật liệu đặc biệt khác. Các loại vật liệu này không chỉ giá thành cao mà còn không có hoặc không đáng tin cậy cho tất cả các ứng dụng. Trong đó nhôm và hợp kim của nó rất thích hợp trong trường hợp này [4]. Trong công trình này hợp kim nhôm 6061 sẽ được chọn cho các tiến trình thí nghiệm.

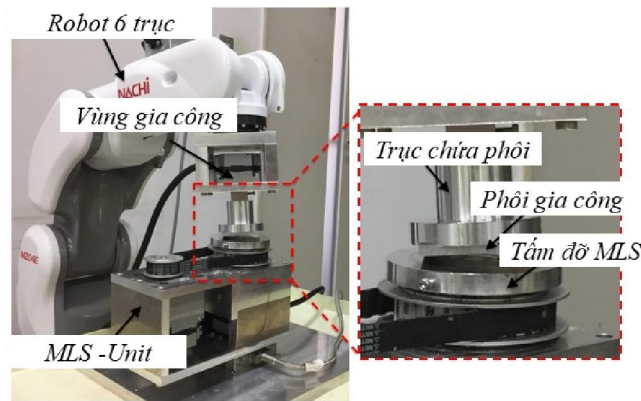
## 2. NGUYÊN LÝ ĐÁNH BÓNG VÀ THIẾT LẬP THÍ NGHIỆM

Hình 1 và 2 đưa ra sơ đồ đánh bóng bề mặt thấu kính bởi công cụ đánh bóng MLS được sử dụng bởi robot 6 trục tự do nhằm đánh bóng bề mặt thấu kính. Một thiết bị đánh bóng bởi MLS bao gồm một nam châm vĩnh cửu hình trụ rỗng có kích thước đường kính ngoài  $\varnothing 30$ , kích thước đường kính trong  $\varnothing 9$ , chiều cao 20 mm, cường độ từ trường 0.5T. Một tấm nhôm mang hỗn hợp MLS, hai động cơ, một đai truyền động cho đĩa nhôm mang MLS, các thiết bị được gắn trên bàn máy của robot. Khi động cơ 1 quay sẽ truyền chuyển động quay cho nam châm, lúc này một từ trường quay được tạo ra và một công cụ đánh bóng MLS được hình thành. Động cơ 2 tạo chuyển động quay cho đĩa mang MLS thông qua bộ truyền đai. Động cơ 3 và một cơ cấu kẹp phôi được gắn trên đầu cuối của robot 6 trục tự do nhằm tạo ra chuyển động quay cho phôi quanh trục của động cơ. Một khoảng cách làm việc  $h$  và góc nghiêng so với phôi gia công  $\theta$  được thiết lập bằng cách điều khiển vị trí đầu của robot 6 trục tự do. Trong đó:  $n_3$ ,  $n_2$  và  $n_1$  là tốc độ quay của phôi, của tấm chứa MLS và trục quay của nam châm, tương ứng. Hình 3 mô tả nguyên lý lấy đi lượng dư gia công. Trong đó các cụm sắt từ được hình thành bởi các hạt sắt các bon dưới tác dụng của từ trường quay và các sợi xenlulose sẽ tác động lên các hạt mài, khi này sẽ hình thành nên một dụng cụ cắt linh hoạt. Bên cạnh đó động cơ  $n_3$  sẽ tạo ra chuyển động tương đối giữa phôi và các hạt mài nhằm loại bỏ lượng dư gia công. Thành phần của hỗn hợp MLS được sử dụng trong các thí nghiệm như sau: Chất lỏng từ tính (40%); Hạt mài  $Al_2O_3$  kích thước  $1\mu m$  (12%);  $\alpha$ -cellulose (3%); Bột sắt các bon kích thước  $7\mu m$  (45%).

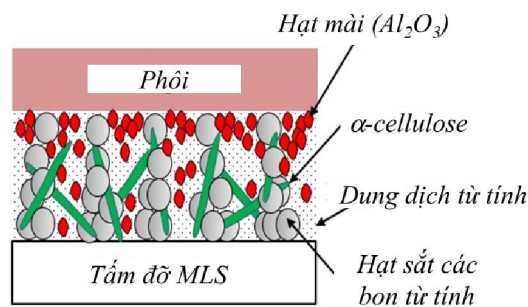


**Hình 1.** Sơ đồ quá trình đánh bóng bởi hỗn hợp MLS

1. Phôi gia công, 2. Màng đỡ MLS, 3. Nam châm, 4. Hỗn hợp MLS



**Hình 2.** Thiết lập thí nghiệm



**Hình 3.** Nguyên lý loại bỏ lượng dư gia công

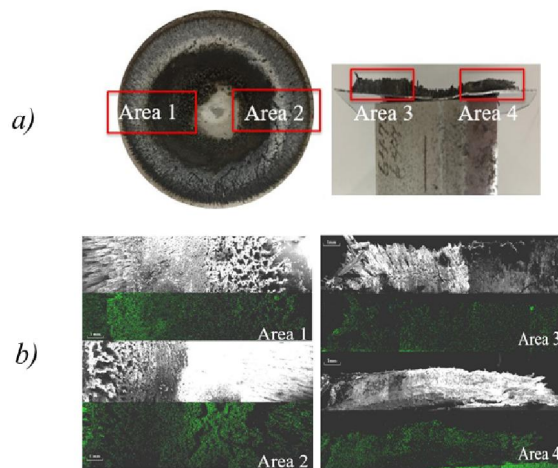
Trong quá trình chuẩn bị mẫu nhằm quan sát sự phân bố mài mòn,  $\theta$  được đặt ở  $0^\circ$ , khoảng cách làm việc được thiết lập tại vị trí  $h = 1 \text{ mm}$ , độ lệch tâm của nam châm  $r = 4 \text{ mm}$ . Tốc độ quay của nam châm, của phôi gia công, của đĩa mang hỗn hợp MLS lần lượt được thiết lập là:  $n_3 = 500$  (vòng/ph);  $n_2 = 450$  (vòng/ph);  $n_1 = 150$  (vòng/ph). Thời gian đánh bóng được thực hiện trong 2 phút, mẫu vữa MLS được lấy ra và tiến hành sấy khô một cách tự nhiên sau đó được phân tích thành phần nguyên tố Al (chính là hàm lượng  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tham gia vào quá trình loại bỏ

lượng dư gia công) trên bề mặt làm việc mẫu và mặt cắt ngang của bề mặt vữa MLS đã được khảo sát bởi SEM và phân tích EDX.

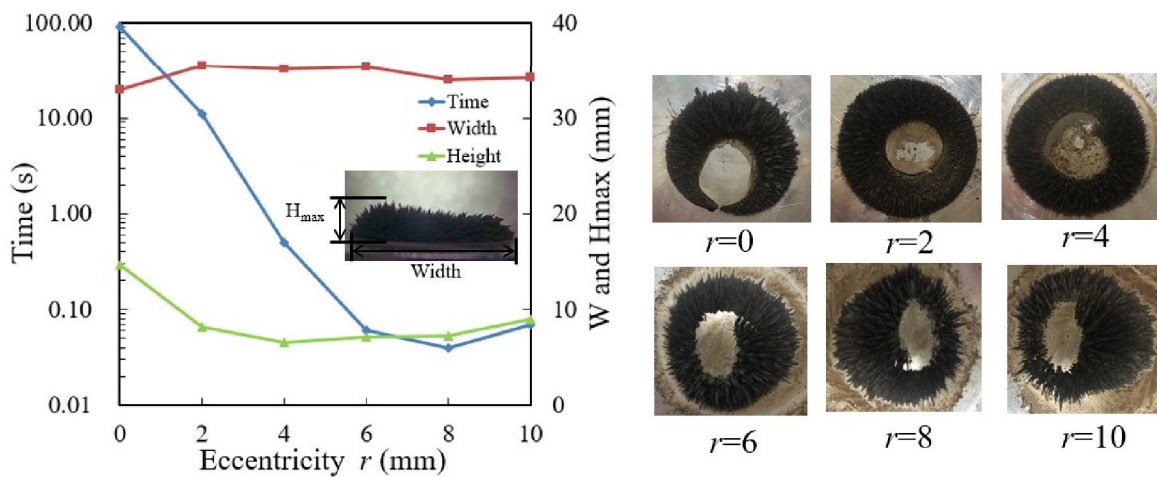
Một khảo sát về khả năng đánh bóng của MLS và thời gian tiến hành được thực hiện dưới sự thay đổi của các giá trị: khoảng lệch tâm  $r$ , tốc độ quay của nam châm, khối lượng MLS được cung cấp. Trong đó tốc độ quay của phôi được giữ cố định ở 300 (vòng/phút). Một loạt các tiến trình thí nghiệm đã được thực hiện nhằm khẳng định tính khả thi của phương pháp được đề xuất. Sau mỗi quá trình thí nghiệm, phôi được làm sạch bằng nước và được sấy khô trong 15 phút, độ nhám bề mặt và hình ảnh mặt cắt ngang được lưu lại. Trong các thí nghiệm đánh bóng, sau 5 phút hỗn hợp MLS được tăng cường nhằm đảm bảo khả năng đánh bóng.

### 3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Phân phối hạt mài



**Hình 4.** Sự phân bố của hỗn hợp MLS với ảnh SEM vi mô và phân tích EDX tại các vị trí làm việc khác nhau



**Hình 5.** Công cụ đánh bóng được hình thành theo thời gian, chiều rộng, chiều cao, độ lệch tâm  $r$

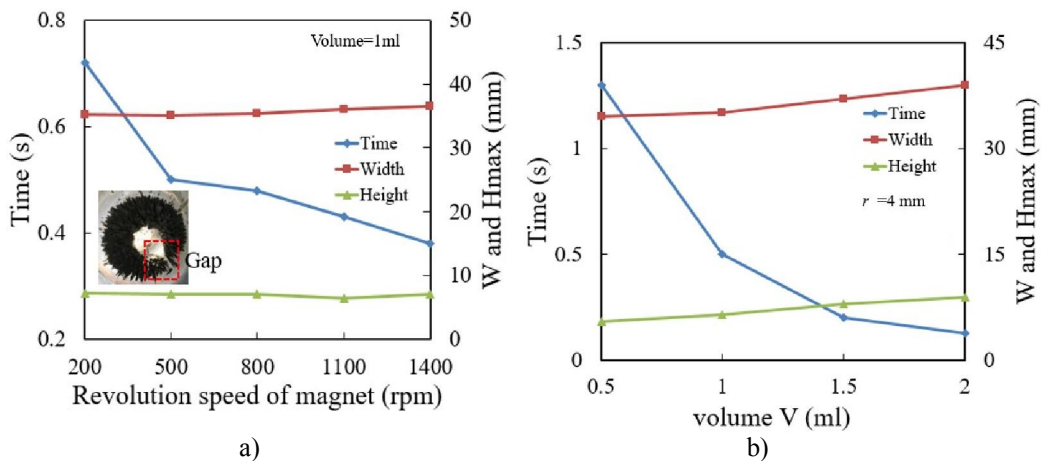
Hình 4 (a) cho thấy hình ảnh phần phía trên và mặt cắt ngang của mẫu MLS, hình 4 (b) cho thấy ảnh SEM vi mô và ảnh phân bố EDX cho các khu vực khác nhau trên bề mặt làm việc. Phân

tử Al trong hạt mài  $Al_2O_3$  được thể hiện bằng màu xanh lục trong phân tích ánh xạ EDX. Qua phân tích nhận thấy các nguyên tố Al có thể quan sát được ở bề mặt trên cùng hoặc trong các mặt cắt ngang, cho thấy các hạt mài được phân bố đều trong lớp vữa MLS. Điều này chứng minh rằng các hạt mài đã được trộn đều và làm mới bởi các cụm sắt dưới tác động của từ trường quay trong quá trình hoạt động.

### 3.2. Dụng cụ đánh bóng

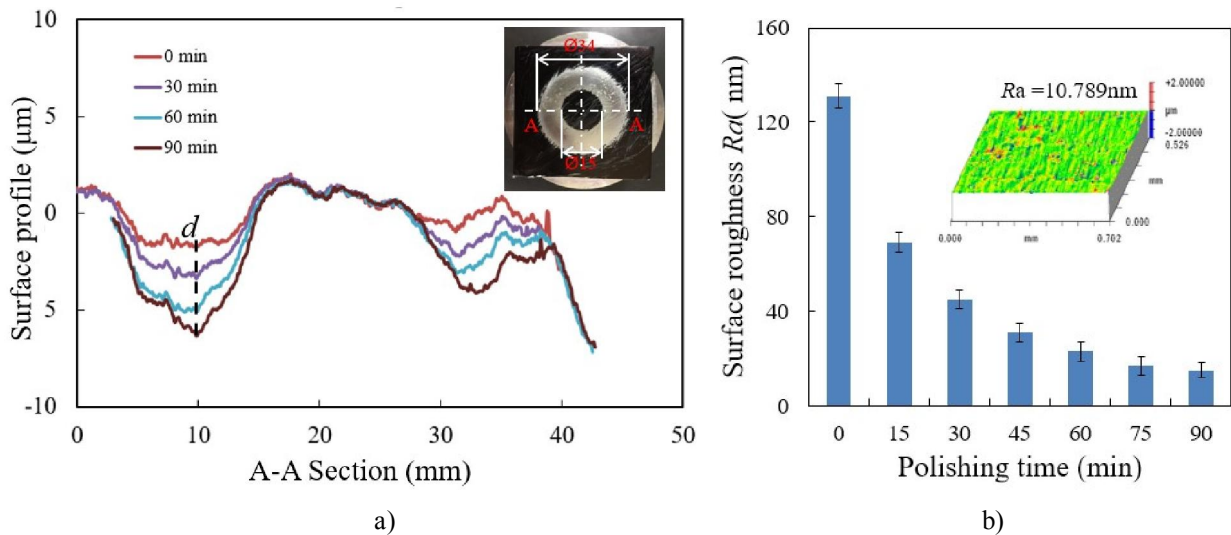
Thời gian và sự hình thành cuối cùng của dụng cụ đánh bóng với các khoảng cách lệch tâm  $r$  khác nhau được thể hiện trong hình 5. Qua hình ảnh nhận thấy khi khoảng lệch tâm  $r$  lớn hơn 4 mm, thời gian hình thành được rút ngắn xuống dưới 1 giây. Đặc biệt, tại khoảng lệch tâm  $r = 4$  mm, sự hình thành công cụ đánh bóng cuối cùng với hỗn hợp MLS tạo ra các vòng tròn đồng tâm. Tuy nhiên khi độ lệch tâm  $r$  tăng lên hoặc giảm so với khoảng cách 4 mm, hình dạng trở nên xấu đi và không đồng đều dẫn đến khối lượng hỗn hợp MLS ở rìa của các vòng tròn trở nên quá lớn hoặc quá nhỏ làm cho khả năng đánh bóng của dụng cụ đánh bóng sẽ bị suy yếu. Do đó, trong các thí nghiệm đánh bóng, độ lệch tâm được đặt ở khoảng cách 4 mm. Ảnh hưởng của  $r$  trên chiều rộng cuối cùng và chiều cao tối đa cũng được thể hiện. Khi tăng độ lệch tâm  $r$ , chiều rộng tăng nhẹ sau đó giảm một chút. Ban đầu chiều cao lớn nhất sau đó giảm và sau đó tăng dần trở lại. Như vậy có một mối quan hệ xấu liên quan đến chiều rộng. Điều này là do khối lượng MLS được cung cấp là một giá trị không đổi (1ml) nhằm tạo ra chiều cao giới hạn tăng khi chiều rộng tăng lên.

Như thể hiện trong hình 6 (a), khi tốc độ vòng quay của nam châm tăng lên, chiều rộng và chiều cao hầu như không đổi, nhưng thời gian hình thành giảm mạnh. Trong đó sự hình thành ban đầu của hỗn hợp MLS (1 ml) vẫn còn tồn tại một khoảng hở. Khi nam châm được quay, từ trường quay điều khiển vữa MLS để tạo thành công cụ đánh bóng hình vành khăn để khoảng hở được loại bỏ và thời gian tạo thành công cụ đánh bóng ổn định phụ thuộc vào tốc độ quay của nam châm. Thể tích vữa MLS được cung cấp ảnh hưởng đến chiều rộng và chiều cao, cả hai đều có mối quan hệ tích cực với thể tích được cung cấp. Thời gian để hình thành công cụ đánh bóng giảm gần 62% khi thể tích MLS được cung cấp tăng từ 0,5ml lên 1ml, sau đó xu hướng giảm dần dần khi thể tích cung cấp tăng. Thể tích vữa MLS cung cấp nhiều hơn tạo ra khoảng hở ít xảy ra hơn trong trạng thái ban đầu, rút ngắn thời gian hình thành dụng cụ đánh bóng.



**Hình 6.** Ảnh hưởng tốc độ quay của nam châm và cung cấp vữa MLS và thời gian hình thành cuối cùng của công cụ đánh bóng MLS

### 3.3. Tính khả thi của phương pháp đánh bóng



**Hình 7.** Vùng đánh bóng cùng với tiết diện mặt cắt ngang và nhám bề mặt gia công biến đổi theo thời gian đánh bóng

Một phôi hợp kim nhôm dạng tấm kích thước  $50 \times 50 \times 5$  mm có thể được coi là một loại yếu tố thấu kính với bán kính cong vô hạn được chấp nhận trong thực nghiệm này và được coi như một kết quả thí nghiệm điển hình. Hình 7 (a) cho thấy hình ảnh quang học của vùng được đánh bóng với các mặt cắt A-A sau mỗi 30 phút đánh bóng với tốc độ quay của phôi  $n_3 = 250$  (vòng/phút), vận tốc quay của đĩa mang MLS  $n_2 = 450$  (vòng/phút), vận tốc quay của nam châm  $n_1 = 500$  (vòng/phút), chiều cao đánh bóng  $h = 3,5$  mm, góc nghiêng  $\theta = 6^\circ$ , thể tích của vữa MLS = 1,5 ml. Khi này một khu vực đánh bóng được hình thành với hai vòng tròn đồng tâm với kính thước đường kính ngoài  $\varnothing 34$  mm và kích thước đường kính trong  $\varnothing 15$  mm. Trong đó thông số  $d$  là chiều sâu biên dạng lớn nhất được loại bỏ. Do đó quá trình loại bỏ lượng dư gia công có thể tính bằng giá trị  $d$ . Hình ảnh vi mô 3D của bề mặt làm việc được đánh bóng và sự thay đổi độ nhám bề mặt làm việc  $R_a$  trong quá trình đánh bóng được ghi lại theo thời gian. Mỗi điểm vẽ cho ra giá trị  $R_a$  là giá trị trung bình của 5 giá trị  $R_a$  được đo tại 5 vị trí khác nhau trên vùng được đánh bóng. Độ nhám bề mặt  $R_a$  giảm nhanh 44% trong 15 phút đầu tiên, và bề mặt làm việc tiếp tục được làm nhẵn trong quá trình đánh bóng sau, cuối cùng nó giảm từ 125nm với phôi ban đầu xuống 10,789 nm sau 90 phút đánh bóng như trong hình 7 (b). Rõ ràng, trong quá trình đánh bóng độ sâu của khu vực được đánh bóng tăng lên, tức là, việc loại bỏ vật liệu tăng lên và  $R_a$  giảm. Theo thí nghiệm này, đã chứng minh rằng phương pháp mới này có khả năng loại bỏ lượng dư vật liệu và bề mặt làm việc đạt độ bóng đến mức Nano.

## 4. KẾT LUẬN

Bài báo này đề xuất một phương pháp đánh bóng mới cho bề mặt thấu kính với công cụ đánh bóng MLS. Các thí nghiệm đã được tiến hành và kết quả có thể được tóm tắt như sau:

- 1) Mẫu MLS khô đã được tạo ra nhằm quan sát sự phân bố của các hạt mài. Các hạt mài phân bố đồng đều không chỉ ở bề mặt trên của mẫu mà còn cả trong mặt cắt ngang. Qua đó nhận thấy các hạt mài được trộn đều trong hỗn hợp MLS và tạo ra một dụng cụ cắt mới dưới tác động của từ trường.

- 2) Thời gian hình thành nên dụng cụ đánh bóng cuối cùng của công cụ đánh bóng MLS đã được ghi lại ở các độ lệch tâm  $r$  khác nhau, tốc độ quay của nam châm và khối lượng vữa MLS được cung cấp. Độ lệch tâm là yếu tố quan trọng nhất để đạt được công cụ đánh bóng MLS có hình vành khăn thích hợp.
- 3) Các thí nghiệm được tiến hành nhằm xác minh tính khả thi của quá trình đánh bóng đã được thực hiện với phối gia công hợp kim nhôm dạng tấm. Lượng dư gia công được loại bỏ bởi hình vành khăn của công cụ đánh bóng và bề mặt làm việc được tạo ra ở dạng Nano ( $R_a = 10,789$  nm) đã đạt được sau khi đánh bóng 90 phút. Vì vậy, phương pháp này có khả năng trong đánh bóng bề mặt thấu kính, có nhiều giá trị khoa học và nên được tiếp tục nghiên cứu trong tương lai.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. F. J. Chen, S. H. Yin, Profile error compensation in ultra-precision grinding of aspheric surfaces with on-machine measurement, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 50 (2010) 480-486.
  - [2]. D. L. Xue , Z. Y. Zhang , X. J. Zhang, Computer controlled polishing technology for middle or small aspheric lens, *Optics & Precision Engineering*, 27 (2001) 524-525.
  - [3]. Ronald R. Willey, Robert E. Parks, *Optomechanical Engineering Handbook*, Boca Raton, 1999
  - [4]. R. T. Horst, N. Tromp, R. Navarro, Directly polished lightweight aluminum mirror, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 7018 (2008) 701808-701808-10.
  - [5]. S. Scheiding, O. Stenzel, S. Glied, Metal mirrors with excellent figure and roughness, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 4 (2008) 317-347.
  - [6]. K. J. Moeggenborg, S. Reggie, Low-scatter bare aluminum optics via chemical mechanical polishing, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 7060 (2008) 706002-706002-8.
  - [7]. F. Chen, S. Yin, Fabrication of small aspheric moulds using single point inclined axis grinding, *Precision Engineering*, 39 (2015) 107-115.
  - [8]. D. Vukobratovich, J. P. Schaefer, Large stable aluminum optics for aerospace applications, *Optomechanics 2011: Innovations and Solutions. Optomechanics 2011: Innovations and Solutions*, 8125 (2011) 81250T-81250T-13.
  - [9]. Youliang Wang, Yongbo Wu, A novel magnetic field-assisted polishing method using magnetic compound slurry and its performance in mirror surface finishing of miniature V-grooves. *AIP Advance*, 6(2016)056602-1-6.
  - [10]. A. Beaucamp, Y. Namba, I. Inasaki, Finishing of optical moulds to  $\lambda /20$  by automated corrective polishing, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60 (2011) 375-378.
  - [11]. A. K. Singh, S. Jha, P.M. Pandey, Magnetorheological Ball End Finishing Process, *Materials & Manufacturing Processes*, 27(2012) 389-394.
-