

Một nghiên cứu mới nhằm đánh bóng bề mặt thép 20CrNi₂Mo phủ Ni-P

A new study for polishing the surface of Ni-P coated 20CrNi₂Mo steel

Phùng Xuân Sơn*, Nguyễn Duy Trinh, Nguyễn Nhật Tân

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

**Email: phungxuanson@gmail.com*

Mobile: 0912548656

Tóm tắt

Từ khóa:

Hỗn hợp bùn lỏng từ tính; Hạt mài; Hạt từ tính; Đánh bóng

Trong công trình này, một kỹ thuật đánh bóng mới kết hợp với một phương pháp đánh giá mới nhằm xác định các nhân tố tác động đến chất lượng khi đánh bóng bề mặt vật liệu từ tính đã được đề xuất. Để thực hiện công việc này, các nhân tố ảnh hưởng tới quá trình đánh bóng vật liệu từ tính được xác định thông qua khảo sát sự phân bố của các hạt từ tính MIGs và các hạt mài AGs tới bề mặt làm việc của hỗn hợp bùn lỏng từ tính (MLS). Các mẫu hỗn hợp bùn từ tính MLS có chứa MIGs và AGs với đường kính khác nhau và khoảng cách làm việc khác nhau được sử dụng để đánh bóng mẫu thép 20CrNi₂Mo phủ Ni-P theo thiết kế thí nghiệm Taguchi.

Abstract

Keywords:

Magnetic liquid slurry; Magnetic iron grains; Abrasive grains; Polishing

In this work, a new polishing technique combines with a new evaluation method to determine the factors that effect to quality when polishing the magnetic material surface has been proposed. To do this work, the factors influencing the magnetic material polishing process are determined by investigating the distribution of magnetic iron grains (MIGs) and abrasive grains (AGs) to the working surface of magnetic liquid slurry (MLS). MLS patterns containing MIGs and AGs with different diameters and different working distances were used to polish Ni-P coated 20CrNi₂Mo steel according to the Taguchi experiment design.

Ngày nhận bài: 10/8/2018

Ngày nhận bài sửa: 10/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình sản xuất, các vật liệu từ tính, đặc biệt thép 20CrNi₂Mo mạ Niken - Phốt pho đã trở nên rất phổ biến trong hầu hết các lĩnh vực như: nhựa, hóa chất, điện tử, ô tô, hàng không vũ trụ, và công nghiệp khuôn mẫu, do lớp mạ được tạo ra với khả năng chịu mài mòn, chống ăn mòn tuyệt vời, cùng với độ cứng cao [1, 2]. Trong đó nó đặc biệt hữu ích trong các khuôn dập, khuôn phun kim loại với khả năng và thời gian làm việc được cải thiện đáng kể, qua

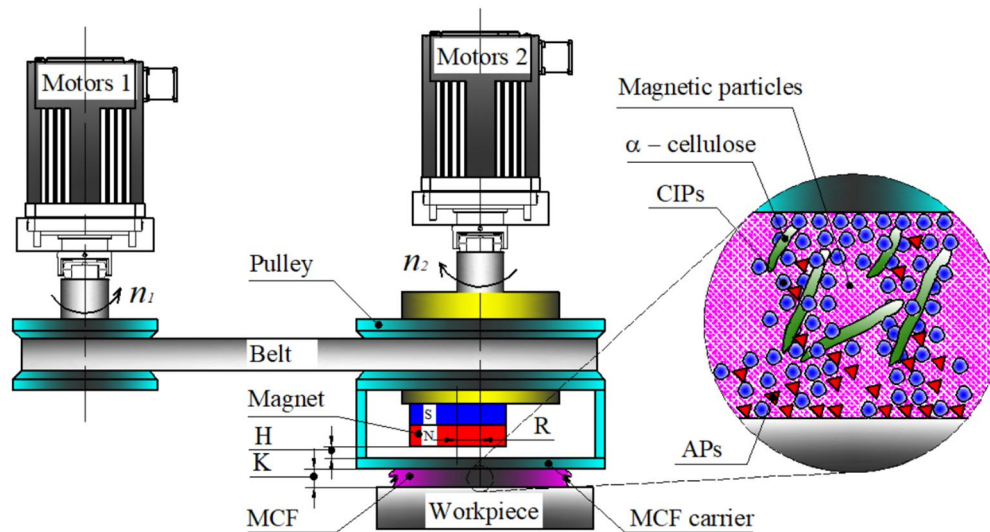
đó giảm chi phí sản xuất, nâng cao hiệu quả kinh tế [3-4]. Trước đây các chi tiết khuôn được phủ Niken - Phốt pho thường được gia công bởi quá trình mài [5-8]. Tuy nhiên với quá trình mài bằng hạt mài kim cương đơn tinh thể chất lượng bề mặt gia công thấp. Do đó, cần phải có quá trình đánh bóng khuôn nhằm loại bỏ sai số in dập gây ra bởi dụng cụ cắt gây ra và tạo ra độ nhám bề mặt gia công đạt đến cấp độ nano mét.

Các quy trình đánh bóng thông thường cũng có khả năng cải thiện chất lượng bề mặt gia công, tuy nhiên với quá trình này các hạt mài với độ cứng lớn có xu hướng cào xước, găm vào bề mặt gia công dưới áp lực lớn với vật liệu gia công mềm, nên làm giảm chất lượng bề mặt [9, 10]. Từ đây nhận thấy rất khó tạo ra bề mặt lớp phủ Ni-P với độ bóng và độ chính xác cao bằng quá trình đánh bóng thông thường. Do đó, để cải thiện chất lượng bề mặt cần phát triển một phương pháp đánh bóng mới, nhằm loại bỏ lượng dư vật liệu hiệu quả hơn đồng thời ngăn ngừa sai số in dập của dụng cụ cắt và các hạt mài bị găm trên bề mặt gia công do quá trình đánh bóng gây ra. Một phương pháp gia công cho độ bóng và độ chính xác bề mặt đầy hứa hẹn đó là quá trình đánh bóng được hỗ trợ bởi từ trường được thực hiện trong công việc này.

2. NGUYÊN LÝ ĐÁNH BÓNG BỀ MẶT SỬ DỤNG MLS

Nguyên tắc đánh bóng sử dụng MLS được minh họa như trên hình 1. Một nam châm vĩnh cửu hình đĩa được gắn vào mặt dưới của đĩa quay với khoảng cách lệch tâm là R . Một tấm nhôm mang vữa MCF nằm bên dưới nam châm và cách nam châm một khoảng H . Trong quá trình đánh bóng nam châm và trục quay của động cơ 2 có cùng tốc độ quay n_2 . Với phương pháp này, một từ trường động được tạo ra, trong đó mật độ từ thông là không đổi nhưng dòng lực từ liên tục xoay quanh trục quay của động cơ 2. Khi này hình thành nên một loại từ trường mới và được gọi là từ trường quay. Phôi được đặt bên dưới tấm màng chứa vữa MCF và cách bề mặt làm việc với khoảng cách là K . Lúc này một thiết lập về MLS được sử dụng cho quá trình đánh bóng đã được thiết lập.

Khi khoảng cách giữa phôi và tấm mang vữa MCF đã được thiết lập. Dưới tác dụng của từ trường các cụm cảm ứng từ hình chuỗi được hình thành bởi các hạt từ tính có kích thước nanoneter. Tại thời điểm này các MIGs có kích thước micromet được hình thành ngay lập tức theo phương các đường lực cảm ứng từ. Các hạt mài không từ tính AGs dưới tác dụng của các cụm MIGs kết hợp với các sợi xenlulose có trong MLS trong quá trình hoạt động chúng sẽ đan xen vào nhau. Thêm vào đó, tất cả các cụm được hình thành đều bị hút bởi lực từ trường và tập trung tại khu vực có từ trường mạnh nhất. Lúc này, dưới tác dụng của vùng từ trường, các hạt mài không từ tính chịu tác động của lực trọng trường và bị một lực kéo tác động lên [34]. Dưới tác động kết hợp của hai thành phần lực này, phần lớn các AGs không từ tính trong lớp vữa MCF di chuyển xuống bề mặt gia công đồng thời tạo ra một lực tác động lên bề mặt phôi gia công. Khi đĩa nhôm mang vữa MCF quay với tốc độ n_1 các cụm từ bị hút vào bề mặt dưới của đĩa, khi đĩa quay sẽ truyền chuyển động quay tới AGs. Dưới tác dụng của lực ma sát được tạo ra giữa phôi và AGs, lúc này một lượng dư gia công rất nhỏ được loại bỏ bởi các hạt mài AGs kích thước micromet.



Hình 1. Nguyên lý đánh bóng sử dụng MLS

3. THIẾT KẾ THÍ NGHIỆM THEO PHƯƠNG PHÁP TAGUCHI

Thiết kế thí nghiệm Taguchi là một phương pháp được sử dụng phổ biến trong quá trình khảo sát các nhân tố tác động, bao gồm nhiều yếu tố và nhiều mức [9]. Nó đã được áp dụng thành công cho nhiều lĩnh vực khác nhau với mục đích tiết kiệm một lượng thời gian lớn để có được nhóm đối tượng tối ưu [10, 11]. Chia khóa của phương pháp này là tạo ra một bảng thiết kế trực giao dựa trên các yếu tố và các mức tác động được điều tra. Phương pháp này có thể giúp chúng các tác giả chọn các trường hợp đại diện để giảm số lượng các thử nghiệm. Trong công việc này, số lượng các yếu tố được điều tra là bốn và có các cấp độ tác động khác nhau, trong đó thiết kế thực nghiệm được thiết lập theo Taguchi là cần thiết nhằm giảm số lượng các trường hợp thử nghiệm. Phôi và các chi tiết sử dụng trong quá trình đánh bóng bởi MLS được mô tả như trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số vật liệu sử dụng trong nghiên cứu đánh bóng.

Mô tả	Vật liệu	Kích thước	Tính thẩm tương đối	Độ lớn (A/m)
Nam châm	Nd-Fe	$\phi 16 \times 10$ mm	1,09977	-890000
Tấm đỡ hồ vữa MLS	Al		1	
Vữa đánh bóng	Hồ vữa MLS		5	
Phôi gia công từ tính	Nickel	$\phi 16 \times 10$ mm	600	
Phôi không từ tính	Đồng	$\phi 16 \times 10$ mm	1	
Thép 20CrNi ₂ Mo phủ Ni-P		$\phi 16 \times 10$ mm		

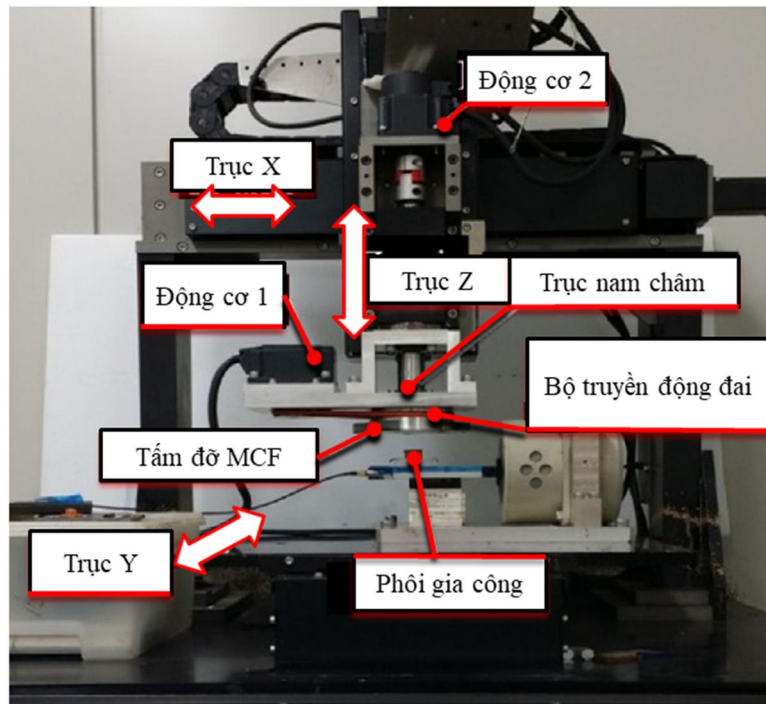
Các yếu tố được khảo sát trong quá trình đánh bóng gồm: kích thước MIGs, khoảng cách làm việc K, kích thước các hạt mài AGs, được thể hiện như trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số đánh bóng

Cấp độ	Kích thước MIGs	Kích thước AGs	Khoảng cách đánh bóng
1	ML ($d_{CL} = 7 \mu\text{m}$)	$d_{AL} = 1 \mu\text{m}$	$K_1 = 1 \text{ mm}$
2	MM ($d_{CM} = 3 \mu\text{m}$)		$K_2 = 2 \text{ mm}$
3	MS ($d_{CS} = 1 \mu\text{m}$)	$d_{AS} = 0.3 \mu\text{m}$	$K_3 = 3 \text{ mm}$

Sự phân bố các MIGs và AGs trên bề mặt làm việc của MLS đã được nghiên cứu bằng kính hiển vi điện tử và thiết bị phân tích EDX. Thiết lập thí nghiệm được thể hiện như hình 2.

Hệ thống đánh bóng bao gồm một nam châm vĩnh cửu, một đĩa mang MCF và hai động cơ cùng với hệ thống truyền động đai như thể hiện như trên sơ đồ hình 1, và được gắn trên thiết bị truyền động theo phương z của một máy đánh bóng như trên hình 2. Trong thiết bị đánh bóng, một nam châm vĩnh cửu dạng đĩa có cường độ từ trường 0,45T được đặt ở độ lệch tâm quay với bán kính $R = 4,5 \text{ mm}$ (được thể hiện trên hình 1). Động cơ thứ nhất tạo chuyển động quay cho đĩa mang MCF thông qua bộ truyền đai đai. Động cơ thứ hai truyền chuyển động quay cho nam châm thông qua khớp nối. Đĩa mang MCF được làm bằng vật liệu nhôm không từ tính như thể hiện trên bảng 3 và có khe hở $H = 1 \text{ mm}$ để bảo đảm không có sự tiếp xúc giữa nam châm và đĩa mang MCF (như thể hiện trong hình 1). Quá trình này nhằm duy trì từ trường tác động lên vữa MCF mạnh nhất có thể. Đối với phôi gia công, thép SKD11 dạng trụ kích thước $\phi 16 \text{ mm}$ với lớp bề mặt trên được phủ một lớp mạ Ni-P mạ điện dày 1 mm được sử dụng.

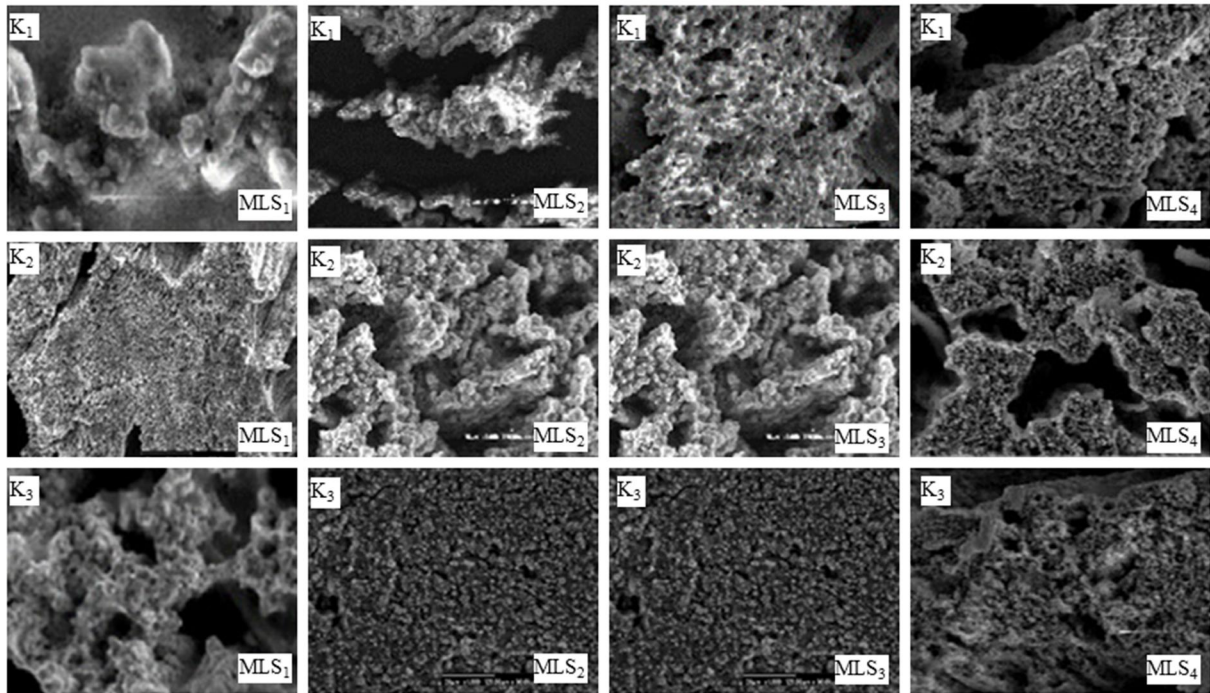


Hình 2. Ảnh thiết lập thí nghiệm đánh bóng

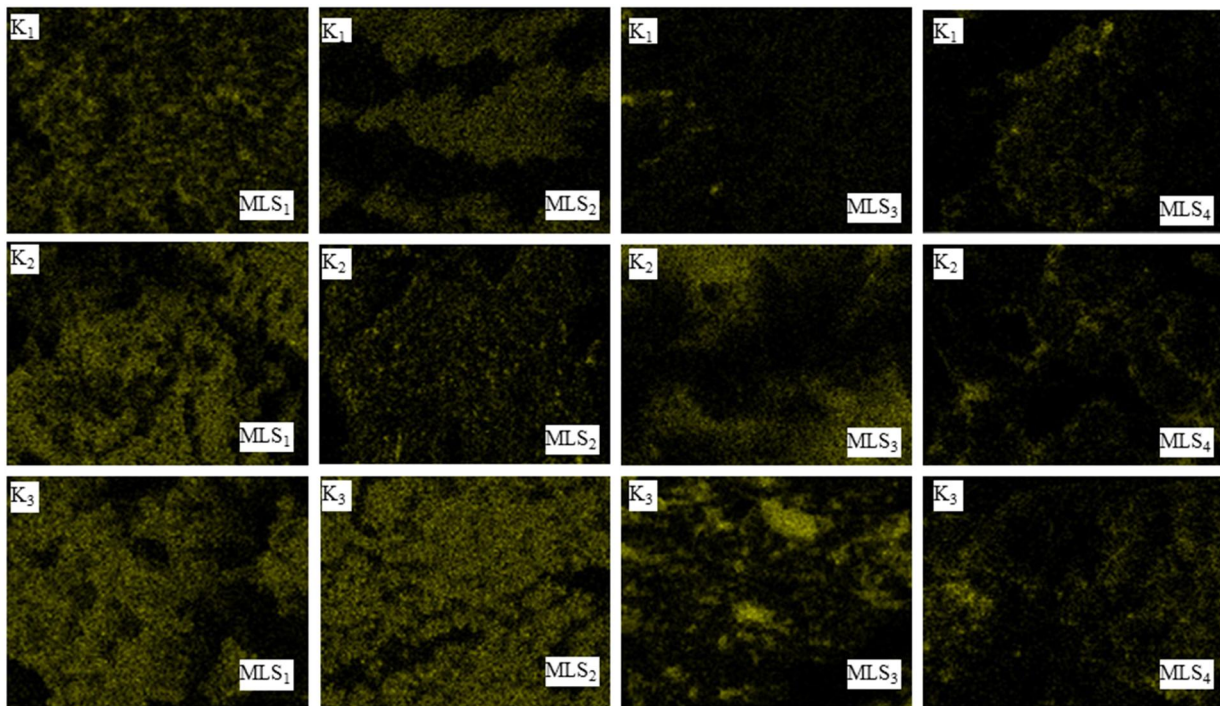
4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các tiến trình thực nghiệm được tiến hành với phôi đánh bóng từ tính (Ni) được phân tích hình ảnh SEM và EDX cho kết quả như trên hình 3, 4 và 5. Từ kết quả phân tích nhận thấy ảnh hưởng của đường kính các MIGs tới tỉ lệ AGs (thông qua phần trăm phân tử Al) và MIGs (thông qua phần trăm Fe) với vật liệu gia công từ tính (Ni) tại các vị trí khác nhau được thu thập như trong hình 6. Qua kết quả phân tích nhận thấy: Với các hỗn hợp đánh bóng MLS_1 , MLS_2 , MLS_2 (tương ứng với đường kính MIGs tăng dần), hàm lượng của nguyên tử Al trên bề mặt đánh bóng tăng lên, trong khi đó hàm lượng nguyên tử Fe giảm. Tỉ lệ phân bố của Al và Fe đều tăng lên ở những khoảng cách đánh bóng K lớn hơn. Cũng cần chú ý rằng tỉ lệ phần trăm của Al nhỏ hơn 25% bất kể đường kính các MIGs hoặc khoảng cách làm việc khi vật liệu từ tính được sử dụng

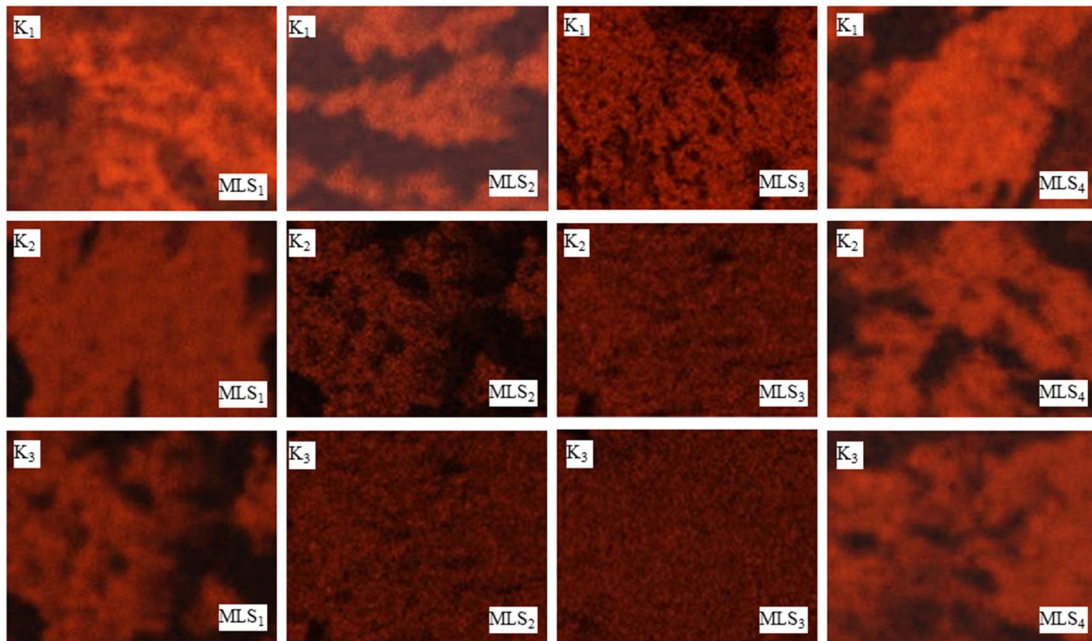
làm phôi gia công. Tỷ lệ phần trăm của Al là cao nhất ở khoảng cách làm việc lớn nhất với MLS₁, trong đó chứa các MIGs với đường kính khảo sát lớn nhất.



Hình 3. Hình ảnh SEM của bề mặt làm việc MLS với phôi gia công từ tính

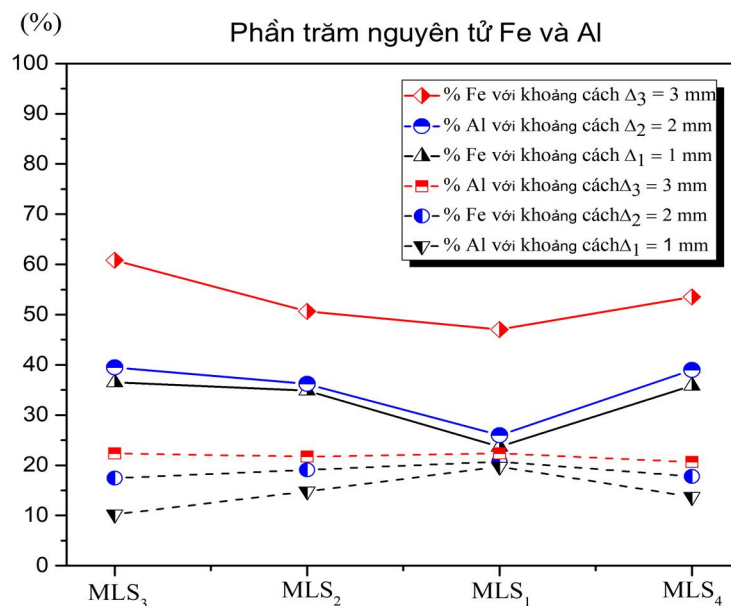


Hình 4. Nhôm được phân bố trên bề mặt làm việc MLS với phôi gia công từ tính



Hình 5. Sắt được phân bố trên bề mặt làm việc MCF với phi gia công từ tính

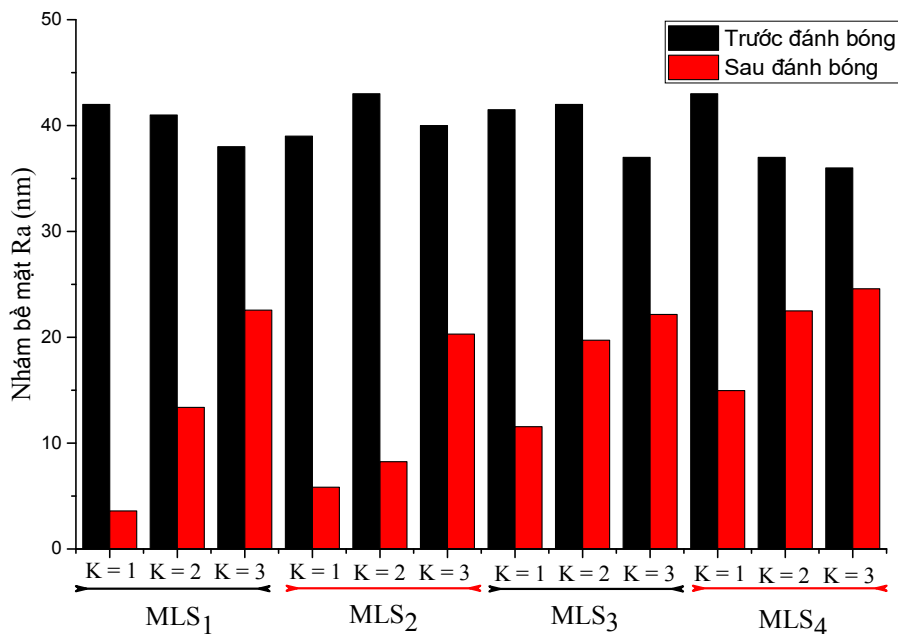
Tỉ lệ phần trăm của Al phân bố trên bề mặt đánh bóng của MLS₄ với vật liệu từ tính tại các vị trí khác nhau được so với MLS₂ hai hỗn hợp đánh bóng cùng có tỉ lệ đường kính kính MIGs/đường kính AGs bằng nhau nhưng kích thước các hạt là khác nhau, như được biểu diễn trên hình 6. Xét về mặt lý thuyết, số lượng các AGs khi tham gia vào quá trình đánh bóng nhiều hơn thì tỉ lệ loại bỏ lượng dư vật liệu gia công cao và bề mặt làm việc tốt hơn so với số lượng ít các AGs tham gia vào quá trình đánh bóng; có nghĩa là, một bề mặt tốt hơn đã thu được ở khoảng cách đánh bóng K lớn được thể hiện như hình 6.



Hình 6. Tỷ lệ phần trăm của phần tử Al và Fe phân bố trên bề mặt làm việc từ tính

Tuy nhiên công trình trước đó [12] đã chứng minh rằng việc tăng khoảng cách làm việc sẽ làm giảm lực đánh bóng, cuối cùng giảm tốc độ loại bỏ vật liệu và hạn chế cải thiện chất lượng bề mặt trong việc đánh bóng MCF của phôi gia công không từ tính. Điều này muốn nói lên hiệu suất của vữa MCF trong quá trình đánh bóng vật liệu từ tính phụ thuộc vào hai yếu tố: Khoảng cách làm việc và số lượng AGs hoạt động tác động lên bề mặt đánh bóng.

Từ kết quả thực nghiệm và phân tích cho thấy bề mặt trước khi đánh bóng và sau khi đánh bóng 60 phút tại khoảng cách $K = 1$ mm với MLS_1 - MLS_4 được thể hiện trên hình 7. Rõ ràng ban đầu bề mặt thô $Ra = 40$ nm được làm mịn đáng kể $Ra < 22$ nm sau khi đánh bóng bằng bất kể loại vữa MLS. Tuy nhiên kết cấu và độ nhám của bề mặt làm việc khác nhau với các loại vữa MLS khác nhau; bề mặt làm việc có độ nhẵn cao nhất đạt được với MLS_1 tương ứng cho $Ra = 3,6$ nm. Nhìn chung, với bất kỳ một loại hỗn hợp MLS nào tham gia vào quá trình đánh bóng đều cho độ nhám bề mặt làm việc lớp mạ Ni-P giảm, tuy nhiên tỉ lệ giảm độ nhám bề mặt là khác nhau với các MLS khác nhau tương ứng với các vị trí làm việc khác nhau. So sánh độ nhám trước và sau đánh bóng trong hầu hết các trường hợp đều nhận thấy bề mặt được đánh bóng có chất lượng tốt hơn trước đánh bóng. Mặc dù như đã đề cập ở trên số lượng AGs hoạt động giảm khi khoảng cách K giảm, được cho là giảm khả năng loại bỏ vật liệu trên bề mặt gia công thấp hơn. Tuy nhiên kết quả nhận thấy trên hình 7, với khoảng cách K nhỏ hơn cho chất lượng bề mặt cao hơn. Nguyên nhân này xảy ra do với khoảng cách làm việc nhỏ hơn cho lực đánh bóng cao hơn, làm tăng đáng kể khả năng đánh bóng cho MLS.



Hình 7. Độ nhám bề mặt ban đầu và cuối cùng sau quá trình đánh bóng bằng cách sử dụng các loại vữa MLS khác nhau ở các vị trí làm việc khác nhau

Như trên hình 7 cho thấy chất lượng bề mặt đánh bóng giảm theo trình tự sau: $MLS_1 > MLS_2 > MLS_3 > MLS_4$. Xem xét tỉ lệ đường kính CIP đến đường kính AP giảm từ $\frac{7 \mu m}{1 \mu m}$ trong MLS_1 xuống còn $\frac{3 \mu m}{1 \mu m}$ với MLS_2 và xa hơn $\frac{1 \mu m}{1 \mu m}$ với MLS_3 , không gian lưu trú của các AGs mở rộng theo thứ tự $MLS_1 > MLS_2 > MLS_3$; dẫn đến tăng số lượng AGs hoạt động theo cùng thứ

tự $MLS_1 > MLS_2 > MLS_3$. Đây là lý do tại sao độ nhám giảm theo thứ tự $MLS_1 > MLS_2 > MLS_3$. Tuy nhiên với MLS_2 và MLS_4 có tỉ lệ đường kính MIGs/đường kính AGs gần giống nhau và tỉ lệ phần trăm của Al trên bề mặt đánh bóng gần tương đương nhau (hình 6), tuy nhiên độ nhám bề mặt với MLS_4 thấp hơn nhiều so với MLS_2 . Nguyên nhân là do lực tác động lên các MIGs trong MLS_2 lớn hơn nhiều so với tác động lên các MIGs trong MLS_4 dẫn đến áp lực lên các AP tăng lên, vì vậy khả năng loại bỏ vật liệu được cải thiện đáng kể. Như vậy từ các quá trình phân tích ảnh hưởng của vữa MLS với khoảng cách đánh bóng K khác nhau trong quá trình đánh bóng với phối gia công từ tính, đã cho thấy MLS chứa CL có đường kính MIGs 7 μm và đường kính AGs 1 μm nên được sử dụng cùng với khoảng cách đánh bóng $K = 1 \text{ mm}$ nên được thiết lập để thực hiện hoàn thiện bề mặt gương của thép 20CrNi₂Mo mạ Ni-P bằng sử dụng vữa MLS dựa trên MIGs cơ bản.

5. KẾT LUẬN

Các thí nghiệm đánh bóng được thực hiện trên phôi từ tính, một mẫu thép 20CrNi₂Mo mạ Ni-P, sử dụng các MLS chứa các MIGs và hạt mài AGs với các đường kính khác nhau với các khoảng cách K khác nhau để tìm ra sự phân bố hạt mài trên bề mặt đánh bóng. Các kết luận chính được tóm tắt như sau:

Hỗn hợp MLS có chứa CS đường kính MIGs 7 μm và đường kính AGs 1 μm nên được sử dụng và khoảng cách làm việc $K = 1 \text{ mm}$ phải được thiết lập để thực hiện hoàn thiện bề mặt gương của thép 20CrNi₂Mo với lớp mạ Ni-P bằng cách sử dụng CIP thông thường dựa trên vữa MLS. Trong điều kiện thí nghiệm của công trình này, chất lượng bề mặt mạ Ni-P được cải thiện đáng kể và độ nhám bề mặt gương $Ra = 3,6 \text{ nm}$ đã đạt được thành công mà không để lại vết trầy xước hoặc hạt mài bám dính với vữa MCF trên bề mặt gia công.

Các kết quả trên đã chứng minh rằng việc sử dụng vữa MCF chứa các MIGs thương mại là một phương pháp thực tế để tạo ra bề mặt gia công có độ chính xác nano cho các phôi từ khi các đường kính MIGs lớn hơn đường kính các AGs. Đánh bóng bởi hỗn hợp MLS này có tiềm năng lớn trong các ứng dụng về công nghệ, về chi phí và hiệu suất so với các MLS đắt tiền có chứa các MIGs được phủ ZrO₂.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. De Cristofaro, N. Funaro, G.C. Feriti, M. Rostagno, M. Comoglio, A. Merlo, C. Stefanini, P. Dario, *High-speed micro-milling: Novel coatings for tool wear reduction*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 63 (2012) 16-20.
- [2]. F.C. Tsai, B.H. Yan, C.Y. Kuan, F.Y. Huang, *A Taguchi and experimental investigation into the optimal processing conditions for the abrasive jet polishing of SKD61 mold steel*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 48 (2008) 932-945.
- [3]. J. Gäbler, S. Pleger, *Precision and micro CVD diamond-coated grinding tools*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 50 (2010) 420-424.
- [4]. C. Kuo, Y. Hsu, C. Chung, C.-C.A. Chen, *Multiple criteria optimisation in coated abrasive grinding of titanium alloy using minimum quantity lubrication*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 115 (2017) 47-59.
- [5]. N. Chen, J. Ai, Y. Chen, P. He, J. Ren, D. Ji, *Multilayer strategy and mechanical grinding for smoothing CVD diamond coated defective substrate*, Materials & Design, 103 (2016) 194-200.

- [6]. M. Li, B. Lyu, J. Yuan, W. Yao, F. Zhou, M. Zhong, *Evolution and equivalent control law of surface roughness in shear-thickening polishing*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 108 (2016) 113-126.
- [7]. E.-S. Lee, J.-W. Cha, S.-H. Kim, *Evaluation of the wafer polishing pad capacity and lifetime in the machining of reliable elevations*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 66 (2013) 82-94.
- [8]. F. Chen, S. Hao, X. Miao, S. Yin, S. Huang, *Numerical and experimental study on low-pressure abrasive flow polishing of rectangular microgroove*, Powder Technology, 327 (2018) 215-222.
- [9]. G.S. Prihandana, M. Mahardika, M. Hamdi, Y.S. Wong, K. Mitsui, *Effect of micro-powder suspension and ultrasonic vibration of dielectric fluid in micro-EDM processes-Taguchi approach*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49 (2009) 1035-1041.
- [10]. C.-W. Chang, C.-P. Kuo, *Evaluation of surface roughness in laser-assisted machining of aluminum oxide ceramics with Taguchi method*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47 (2007) 141-147.
- [11]. M. Vijay Kumar, B.J. Kiran Kumar, N. Rudresha, *Optimization of Machining Parameters in CNC Turning of Stainless Steel (EN19) By TAGUCHI'S Orthogonal Array Experiments*, Materials Today: Proceedings, 5 (2018) 11395-11407.
- [12]. M.S. Niranjana, K.P. Singh, Q. Murtaza, *Characterization of magnetic abrasive particles based Magnetorheological polishing fluid*, Materials Today: Proceedings, 4 (2017) 752-757.
-