

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ MÀI MÒN ỨNG DỤNG KIỂM TRA ĐỘ BỀN MÒN TRỤC HÀN ĐẮP PHỤC HỒI

STUDY ON FABRICATION OF ABRASIVE EQUIPMENT FOR TESTING WEAR RESISTANCE RESTORED STEEL SHAFT

Nguyễn Minh Tân*, Ngô Thị Thảo, Nguyễn Văn Nhất, Nguyễn Anh Tuấn
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

TÓM TẮT

Đánh giá độ bền mòn của các chi tiết làm từ vật liệu phủ cứng kim loại thường gặp khó khăn trong việc lựa chọn cặp vật liệu mài mòn. Đặc biệt các bề mặt cần đánh giá mài mòn có độ cứng cao, để đảm bảo độ chính xác cần được thử nghiệm trong khoảng thời gian dài. Do đó, vật liệu tương ứng để đánh giá mòn phải có tính chịu mòn cao trong nhiều giờ. Máy phải hoạt động ổn định liên tục trong suốt thời gian thử nghiệm. Bài báo này tập trung vào nghiên cứu chế tạo thiết bị kiểm tra mài mòn bề mặt trục thép hàn đắp phục hồi. Thiết bị này được ứng dụng để đánh giá độ bền mòn lớp hàn đắp phục hồi của trục thép C45 bằng phương pháp hàn lặn vật liệu hàn phụ dây thép C70. Các mẫu hàn được thử mòn dựa trên tiêu chuẩn ASTM G99-17 nhằm đánh giá các thông số cơ bản của chế độ hàn như I_p , F , Q_n đến chất lượng bền mòn của mẫu trục hàn phục hồi.

Từ khóa: Trục thép; Hàn đắp; Hàn lặn; Dây thép C70; Trục thép C45; Độ bền mòn.

ABSTRACT

Evaluating the wear resistance of hardfacing parts often involves difficulties in choosing abrasive material pairs. Especially, the surfaces that need to be evaluated for abrasion have high hardness. In order to ensure accuracy, they need to be tested over a long period of time. Therefore, high wear resistance over a long time is a requirement of abrasion evaluation materials. The machine must operate continuously throughout the testing time. This article focuses on researching and manufacturing equipment that test the wear of restored welded steel shafts. This equipment is used to evaluate the wear resistance of the restoration layer of the C45 steel shaft by resistance seam welding using the C70 steel filler wire. The wear test samples were prepared based on ASTM G99-17 standard to evaluate the influence of welding parameters such as I_p , F , Q_n on the wear resistance of the restored welded shaft.

Keywords: Steel shaft; Hardfacing; Resistance seam welding; C70 steel wire; C45 steel shaft; Wear resistance. 

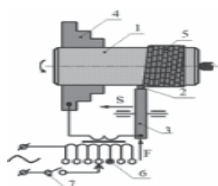
1. TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về hàn đắp phục hồi chi tiết dạng trục bằng phương pháp hàn lăn vật liệu phụ dây thép

Hàn phục hồi chi tiết máy dạng trục là phương pháp cải tiến thiết bị dựa trên phương pháp hàn điện tiếp xúc đường gián đoạn, trên phương diện kết hợp với đồ gá xoay. Ngoài việc con lăn điện cực lăn, ép và cấp dòng điện gián đoạn thì đồ gá kẹp phôi cũng xoay tròn. Đồng thời, con lăn điện cực hoặc phôi, một trong hai phải tịnh tiến theo phương dọc trục phục hồi để tạo ra vòng xoắn ốc [1].

Hàn phục hồi chi tiết tròn xoay bằng phương pháp hàn điện tiếp xúc được nhà khoa học Klimenko Y.V nghiên cứu đầu tiên vào những năm 70, sau đó được nghiên cứu và mở rộng rất mạnh bởi các nghiên cứu của ông và các nhà khoa học khác như: Dubrovsky, Karakozov E. S, Nafikov M. Z, Nurtdinov D. M [2], [3], [4], [5], [6].

Bản chất của quá trình hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết tròn xoay với vật liệu phụ dây kim loại là sự biến dạng dẻo đồng thời của dây kim loại phụ và bề mặt chi tiết trục phục hồi đều được nung nóng đến trạng thái chảy dẻo bởi xung điện có cường độ cao trong khoảng thời gian 0,02-0,06s. Sau mỗi chu kỳ nhiệt và ép nén thì dây kim loại sẽ bị chôn lún đạt khoảng 40÷60 % [7]. Nguyên lý của phương pháp được thể hiện như (Hình 1).

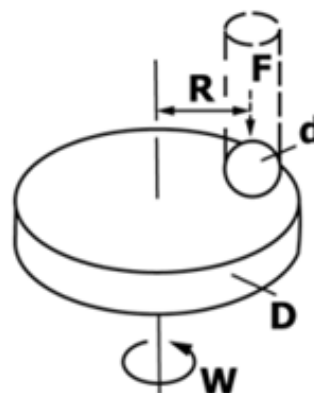


1 – Chi tiết trục;
2 – Dây hàn;
3 – Điện cực hàn kiểu con lăn;
4 – Mâm cấp;
5 – Lớp phủ kim loại.

Hình 1. Sơ đồ hàn điện tiếp xúc phục hồi chi tiết tròn xoay vật liệu phụ dây thép [1]

1.2. Tổng quan về phương pháp kiểm tra độ bền mòn

Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp kiểm tra độ bền mòn theo tiêu chuẩn ASTM G99-17 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk. Phương pháp thử này bao gồm quy trình trong phòng thí nghiệm để xác định độ mòn của vật liệu trong quá trình trượt bằng thiết bị dạng Pin được ghim trên đĩa. Vật liệu được thử nghiệm theo cặp trong điều kiện không mài mòn thông thường. Các yếu tố được quan tâm trong thử nghiệm là độ hao mòn của cặp vật liệu mài mòn và hệ số ma sát sẽ được xác định. Tiêu chuẩn phương pháp thử này sử dụng một bộ thông số thử cụ thể (tải trọng, tốc độ trượt, vật liệu, v.v.). Mô hình thử nghiệm được mô tả như (Hình 2).



F là lực pháp tuyến tác dụng lên chốt; d là đường kính chốt hoặc bi; D là đường kính đĩa; R là bán kính vết mòn và w là tốc độ quay của đĩa.

Hình 2. Sơ đồ hệ thống kiểm tra độ mòn của Pin-on-Disk [8]

2. QUÁ TRÌNH THỰC NGHIỆM HÀN MẪU

Nghiên cứu này lựa chọn quy trình hàn phục hồi chi tiết trục thép C45 với vật liệu phụ là dây thép C70 với các chế độ hàn chọn như trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng thông số chế độ hàn thực nghiệm [9]

Thông số công nghệ	Ký hiệu	Đơn vị	Mức 1	Mức 2	Mức 3
Đường kính trục hàn	D_t	mm	99	99	99
Đường kính dây hàn	d_d	mm	1,8	1,8	1,8
Dòng điện hàn	I_h	kA	6,5	7,5	8,5
Đường kính điện cực	D	mm	220	220	220
Lực ép điện cực	F	kN	1,7	2,0	2,3
Thời gian xung điện	t_i	s (giây)	0,04	0,04	0,04
Thời gian dừng xung điện	t_n	s (giây)	0,08	0,08	0,08
Vận tốc hàn	V_h	cm/s	1,5	1,5	1,5
Bước tiến theo vòng xoắn ốc	S_t	mm/vòng	2,5	2,5	2,5
Lưu lượng nước làm mát	Q_n	Lít/phút	1,0	1,5	2,0

Các thông số biến động bao gồm Cường độ dòng điện hàn I_h , lực ép con lăn điện cực F , lưu lượng nước làm mát Q_n được bố trí gồm 9 thí nghiệm theo ma trận thực nghiệm Taguchi như trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số hàn các mẫu thực nghiệm bố trí theo ma trận thực nghiệm Taguchi

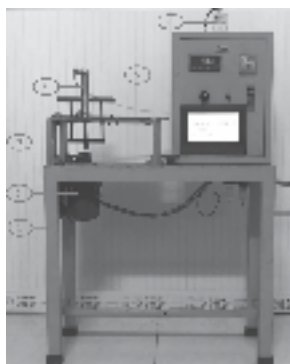
Số thí nghiệm	Mẫu số	I_h (kA)	F (kN)	Q_n (L/phút)
1	M1	6,5	1,7	1,0
2	M2	6,5	2,0	1,5
3	M3	6,5	2,3	2,0
4	M4	7,5	1,7	1,5
5	M5	7,5	2,0	2,0
6	M6	7,5	2,3	1,0
7	M7	8,5	1,7	2,0
8	M8	8,5	2,0	1,0
9	M9	8,5	2,3	1,5



3. NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ KIỂM TRA MÀI MÒN

Dựa trên nguyên lý của phương pháp ASTM G99-17 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk mà thiết bị được chế tạo có kết cấu như trên Hình 3.

1) Khung máy được kết cấu bằng thép hộp 20x40x1.5; 2) Động cơ được gắn trực tiếp phía dưới mặt bàn gá, trục của động cơ nhô cao lên phía trên mặt bàn gá để lắp ghép với đĩa mài; 3) Giá đỡ piston được chế tạo bằng nhôm hình chữ nhật để đảm bảo độ chính xác và dẫn hướng của piston khí nén; 4) Piston khí nén được gắn trên một phiến trượt bằng nhôm có thể điều chỉnh được thông qua chi tiết vít chỉnh nhằm thay đổi bán kính quét của pin trên đĩa mài thông qua thước chỉnh (Hình 5); 5) Tủ điều khiển là phần quan trọng nhất của hệ thống bao gồm một màn hình hiển thị HDMI (Hình 4) kết nối với PLC để cài đặt và lựa chọn thông số, đồng thời có thêm đồng hồ hiển thị số vòng quay của đĩa mài và thời gian thử nghiệm (Hình 4) thông qua hệ cảm biến đếm và một nút kim loại được gắn ở phía bên của các đĩa mài (Hình 6); 6) Để duy trì áp lực của pin lên đĩa mài thì máy có sử dụng một van khí nén tuyến tính SMC ITV1030-212CL (Hình 7).

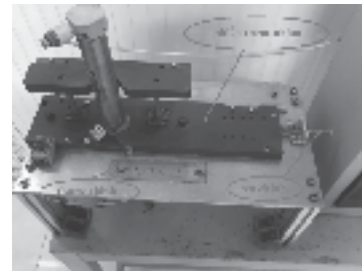


1 – Khung và bàn máy; 2 – Động cơ servo; 3 – Giá đỡ piston;
4 – Piston khí nén; 5 – Tủ điều khiển và hiển thị;
6 – Van ổn định áp suất khí nén

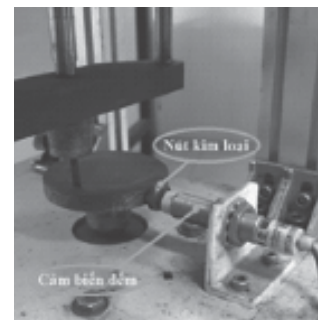
Hình 3. Thiết bị kiểm tra độ mòn của Pin-on-Disk



Hình 4. Tủ cài đặt và hiển thị chế độ kiểm tra thử mòn



Hình 5. Bộ phận điều chỉnh bán kính quét



Hình 6. Bộ đếm vòng quay đĩa mài

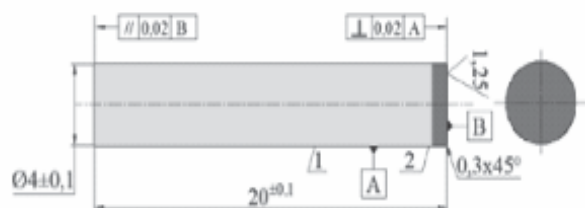


Hình 7. Van tuyến tính SMC ITV1030-212CL

4. QUÁ TRÌNH GIA CÔNG MẪU KIỂM TRA VÀ TIẾN HÀNH THỬ NGHIỆM

• Chế tạo mẫu Pin mài mòn

Pin kiểm tra mài mòn được cắt dây từ các mẫu hàn thực nghiệm có kích thước như Hình 8. Đường kính $\varnothing 4$ có tiết diện tương đương với diện tích một điểm hàn. Các Pin kiểm tra mài mòn sau cắt dây được đánh số thứ tự theo các mẫu hàn được cắt ra như Hình 11.

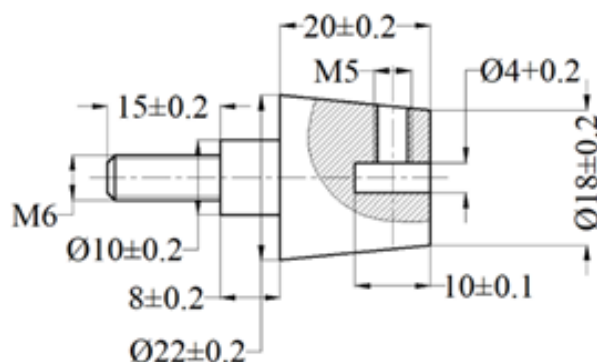


1 – Kim loại nền trực; 2 – Kim loại lớp hàn đắp
Hình 8. Mẫu Pin kiểm tra mài mòn

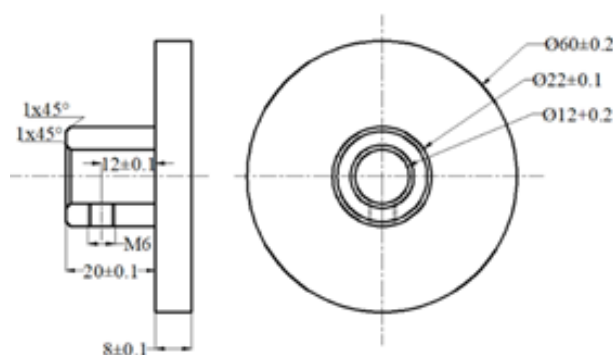
Pin hàn được gắp trên một đầu kẹp Pin được thiết kế và gia công như Hình 9 và cố định trên đầu Piston khí nén (Hình 6).

• Chế tạo mẫu đĩa mài mòn

Đĩa mài cần có bề mặt tạo ma sát cao để có khả năng mài mòn được bề mặt mối hàn đã tôi có độ cứng cao khoảng 50÷55 HRC. Dựa trên các nghiên cứu thì đĩa mài được thiết kế và chế tạo như Hình 9. Trên bề mặt đĩa mài mòn được phun phủ một lớp bột kim loại P216/30 (Aluminium Oxide 87%, Titanium Dioxide 13%) của hãng Metallisation Limited – Anh Quốc sản xuất bằng phương pháp phun Plasma. Lớp phủ có độ cứng khuyến cáo là 65 HRC. Các đĩa được phun phủ với cùng một chế độ tiêu chuẩn khuyến cáo của hãng. Các đĩa sau phun có cấu tạo như trên Hình 10.

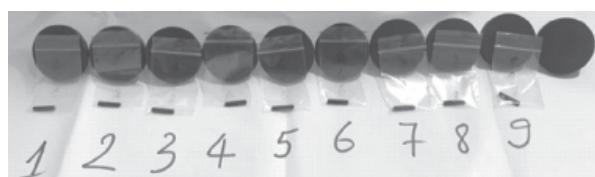


Hình 9. Đầu kẹp và dẫn hướng Pin kiểm tra mài mòn



Hình 10. Bản vẽ đĩa kiểm tra mài mòn

Các cặp Pin và đĩa mài mòn sau khi gia công được xếp và đánh dấu thành từng cặp như Hình 11.



Hình 11. Pin và đĩa kiểm tra mài mòn sau phun phủ

5. KẾT QUẢ KIỂM TRA VÀ BÀN LUẬN

Với chế độ mài mòn được lựa chọn và tiến hành trên thiết bị chế tạo cho kết quả về độ hụt trọng lượng của các Pin mài mòn như trong Bảng 3.



Bảng 3. Kết quả kiểm tra lượng mòn trung bình các mẫu hàn thực nghiệm

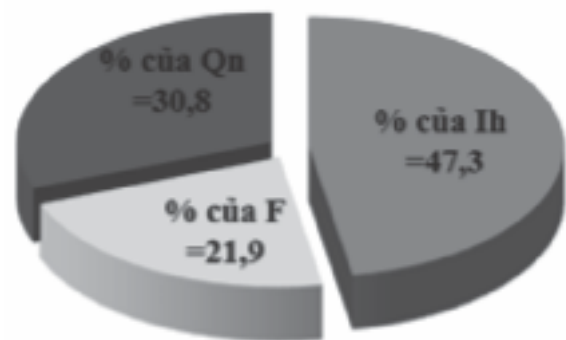
Tên mẫu	Đường kính quét D (mm)	Số vòng quay n (vòng)	Thời gian t (giờ)	Quãng đường trượt S (mm)	Tải trọng nén (N)	Mẫu trước mài (g)	Mẫu sau mài (g)	Độ mòn ΔP (g)
M1	30	2880	16	271296	15	2.057	1.933	0.124
M2	30	2880	16	271296	15	2.13	2.021	0.109
M3	30	2880	16	271296	15	2.18	2.098	0.082
M4	30	2880	16	271296	15	2.088	2.009	0.079
M5	30	2880	16	271296	15	2.163	2.091	0.072
M6	30	2880	16	271296	15	2.076	1.966	0.110
M7	30	2880	16	271296	15	2.099	2.000	0.099
M8	30	2880	16	271296	15	2.1	2.026	0.074
M9	30	2880	16	271296	15	2.122	2.053	0.069

Để đánh giá sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ: cường độ dòng điện hàn I_h , lực ép con lăn điện cực F, lưu lượng nước làm mát Q_n , nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm Taguchi và phần mềm Minitab xác định được các mức của thông số công nghệ I_h , F, Q_n để có được độ hao hụt của Pin mài mòn là nhỏ nhất (độ bền mòn lớn nhất). Với chỉ tiêu lượng mòn nhỏ hơn thì tốt hơn được đồ thị phân mức các yếu tố công nghệ đến chất lượng đầu ra mài mòn là: Cường độ dòng điện hàn I_h , lực ép con lăn điện cực F, lưu lượng nước làm mát Q_n tương ứng là mức 3-2-3 như Hình 12.



Hình 12. Biểu đồ phân mức của thông số công nghệ nhằm độ đạt độ bền mòn lớp hàn cao nhất trên Minitab

+ Với phần trăm ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến chất lượng độ cứng đầu ra như trên Hình 13.



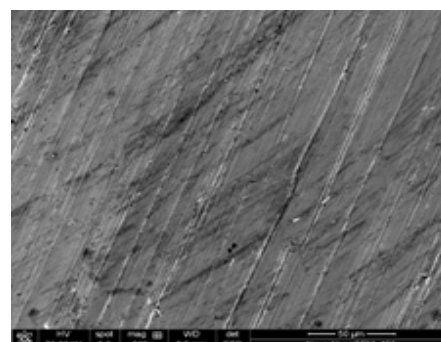
Hình 13. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của các thông số công nghệ I_h , F, Q_n đến độ bền mòn lớp hàn đắp

Để làm rõ về khả năng mài mòn của các mẫu thử, các kết quả đo độ cứng macro của các mẫu hàn cũng đưa ra như trong Bảng 4. Đồng thời, bề mặt pin thử mòn cũng được chụp thông qua hệ thống điện tử quét Sem được thể hiện trên Hình 14 nhằm đánh giá chính xác hơn độ bền mòn cho các mẫu hàn.

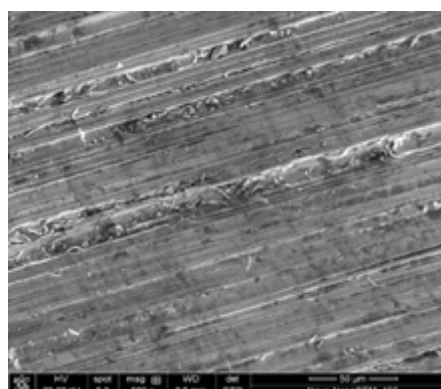
Bảng 4. Kết quả kiểm tra độ cứng macro các mẫu hàn đắp phục hồi

Mẫu	Mẫu 01	Mẫu 02	Mẫu 03	Mẫu 04	Mẫu 05	Mẫu 06	Mẫu 07	Mẫu 08	Mẫu 09
Độ cứng HRC	50,5	50,1	52,2	51,8	52,4	50,4	54,5	51,0	53,9

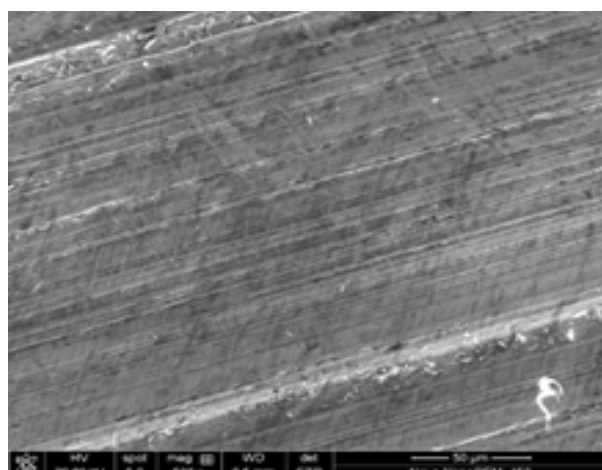
Bảng 4 cho thấy: Các mẫu có độ hạt nhỏ, tức độ bền mòn cao. Các mẫu có độ bền mòn khá tương đồng với độ cứng của các mẫu hàn. Sơ bộ cho thấy các mẫu có độ cứng cao như mẫu M7, M9, M3, M5 tương ứng cho độ bền mòn ở mức trung bình và cao. Tuy nhiên, độ cứng không hoàn toàn quyết định độ bền mài mòn của chi tiết. Đặc biệt trong hàn điện tiếp xúc thì yếu tố rèn dập (lực ép con lăn điện cực theo chu kỳ xung điện) cũng có ảnh hưởng khá nhiều đến độ bền mài mòn của chi tiết. Độ không tương đồng về tổ chức kim loại mỗi hàn, không được đồng đều như chi tiết cơ bản ban đầu cũng được xem là nguyên nhân dẫn đến độ bền mòn mẫu thử thay đổi. Đó cũng là nhược điểm của phương pháp phục hồi so với chế tạo mới. Ngoài ra, nếu độ cứng quá cao, trong quá trình chịu mài mòn mẫu thử chi tiết có xu hướng bị vỡ giòn, gãy hạt. Đây chính là nguyên nhân mẫu hàn M7 có độ cứng cao nhất nhưng lại không phải là mẫu có độ bền mòn cao nhất. Giải thích này còn được thể hiện qua hình ảnh chụp SEM bề mặt các mẫu thử mòn (Hình 14).



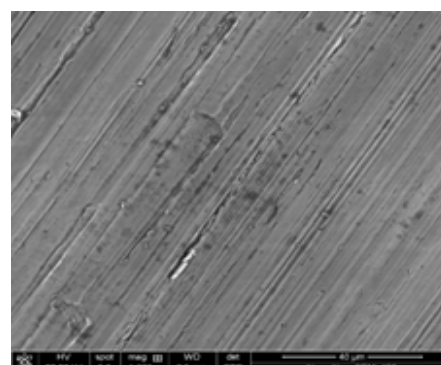
Mẫu 5



Mẫu 7



Mẫu 3



Mẫu 9

Hình 14. Hình ảnh bề mặt pin thử mòn được chụp thông qua hệ thống điện tử quét Sem các mẫu 3, 5, 7, 9



Hình ảnh bề mặt Pin thử mòn các mẫu M3, M5, M9 có bề mặt với các vết mài tương đối đều, ổn định. Bề mặt trơn và bóng đều hơn cả được thể hiện trên mẫu chụp số M9. Mẫu M7 có độ cứng cao nhất nhưng bề mặt không trơn bóng mà có xu hướng bị lầy hạt (các hạt kim loại bị vỡ và tách ra khỏi bề mặt liên kết), đó là hiện tượng bờ ròn khi giá trị độ cứng vượt qua giới hạn khi chịu áp lực của ma sát mài mòn.

Lời cảm ơn:

Bài báo này đã nhận được sự hỗ trợ về tài chính của đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ mã số B2003-SKH-02. ❖

Ngày nhận bài: **22/5/2024**

Ngày phản biện: **18/6/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Minh Tân (2019); “*Nghiên cứu công nghệ hàn lăn tiếp xúc phục hồi chi tiết máy dạng trục*”, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Nghiên cứu Cơ khí.
- [2]. Dubrovsky V. A. (1997); “*Equipment UEN-01 for electric resistance surfacing and surface quenching of shaft-type components*”, Svar Proiz (7) 37-38.
- [3]. Karakozov E. S. (1976); “*Solid phase bonding of metals*”, Moscow: Metallurgiya.
- [4]. Klimenko Y. V. (1978), “*Electric resistance surfacing*”, Moscow: Metallurgiya Publ, 128 pages.
- [5]. Nafikov M. Z. (2009); “*A method for the determination of the plastic deformation resistance of filler wires in electric resistance surfacing*”, Welding International, Vol. 23, No. 11, 861-864.
- [6]. Saifullin R. N., Zaripov A. F. (2013), “*Method of recovery small worn parts electrocontact welding powder*”, All-Russian Scientific and Practical Conference, June 06-07, Bashkir State University, city of Ufa, Pages 276-278.
- [7]. Nafikov M. Z. (2010); “*Process validation and development of technical means to restore tractor parts with electric contact surfacing*”, Abstract of Doct. diss. Saransk, 36 page.
- [8]. ASTM G99 - 17 (2017), “*Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*”.
- [9]. Lê Bá Thảo (2022); “*Nghiên cứu chất lượng lớp hàn đắp chịu mài mòn các chi tiết trục phục hồi bằng phương pháp hàn điện tiếp xúc đường*”, Luận văn Thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên.