

PHỤC HỒI TRỤC MÁY XẼ ĐÁ BẰNG PHƯƠNG PHÁP HÀN ĐẮP**Tổng Ngọc Tuấn^{1*}, Lê Văn Tuấn², Nguyễn Hữu Hường^{1*}**¹*Khoa Cơ - Điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam*²*Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Thanh Hóa*Email*: tntuan@vnua.edu.vn/nhhuong@vnua.edu.vn

Ngày gửi bài: 04.04.2015

Ngày chấp nhận: 12.07.2016

TÓM TẮT

Trục máy xẻ đá trong quá trình làm việc thường xuất hiện các hư hỏng. Dạng hư hỏng thường gặp là các cổ trục bị hao mòn quá các kích thước giới hạn. Một trong những phương pháp đem lại hiệu quả kinh tế cao và đáp ứng kịp thời cho sản xuất là phục hồi trục bằng phương pháp hàn đắp, sau đó gia công đạt kích thước. Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết về công nghệ hàn, lựa chọn phương pháp hàn hồ quang tay để hàn đắp. Đây là một trong những phương pháp có thể thực hiện một cách dễ dàng với các trang thiết bị hiện có. Lựa chọn trang thiết bị, chế độ hàn, quy trình gia công hợp lý, chế độ gia công, đánh giá chất lượng đảm bảo chi tiết làm việc tốt sau khi được lắp vào máy. Trục được kiểm tra kích thước bằng các dụng cụ đo khác nhau, kiểm tra độ nhám, kiểm tra độ cứng, đánh giá chất lượng bằng chạy thử. Chọn ra 5 mẫu đã được phục hồi để đánh giá chất lượng. Dựa trên các phương pháp đánh giá, tất cả các mẫu đều có chất lượng đảm bảo.

Từ khóa: Máy xẻ đá, trục máy xẻ đá, phương pháp phục hồi, phương pháp hàn đắp.

Restoring Shaft of Stone Sawing Machine Using Build - Up Welding Method**ABSTRACT**

The shaft of stone sawing machine in working process often occurs faulty. Common form of fault is the wornness over limited dimension at the center shaft. One of the methods that brings high efficiency and meeting in time for manufacturing might be restoration of the shaft using build - up welding method to achieve the desired dimension. Based on theoretical research on welding technology, shielded metal arc welding for building - up weld was selected. This is one of the methods that can be easily used with available equipments. Equipment selection, welding condition, manufacturing process, manufacturing condition, and quality evaluation were done to ensure good operation after machine assemblage. Different equipments were used to test the shaft for roughness and hardness and the shaft quality was checked by operation trials. Five samples were selected for restoration and quality evaluation. Relying on all evaluating methods, all shafts have good quality.

Keywords: Stone sawing machine, shaft of stone sawing machine, restoring method, building - up welding method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với đặc thù của ngành khai thác đá, sau khi đá được khai thác từ núi xuống sẽ vận chuyển đến các máy xẻ đá để xẻ thành hình dạng và kích thước mong muốn phục vụ cho các bước gia công tiếp theo. Trong quá trình làm việc thường xảy ra các hư hỏng đột ngột ở một số chi tiết của máy làm ảnh hưởng đến năng suất và thời gian sử dụng

máy. Do đó việc phục hồi các chi tiết đó có ý nghĩa rất to lớn.

Qua quá trình tìm hiểu và tổng hợp tài liệu tại các nhà máy, xí nghiệp, doanh nghiệp khai thác đá cũng như các cơ sở chế tạo, sửa chữa, bảo dưỡng máy xẻ đá trên địa bàn tỉnh Thanh Hóa thì máy xẻ đá có khá nhiều hư hỏng, như hỏng hệ thống dẫn động chuyển động bàn máy, mặt dẫn hướng bàn máy, xe goong, bi, cổ trục,...

Trong đó trục máy xẻ đá là chi tiết quan trọng của máy với yêu cầu kỹ thuật cao như độ đồng tâm 0,02 mm, độ trụ 0,04 mm, độ nhẵn bóng phần cổ trục từ cấp 8 ($R_a \approx 0,63 \mu\text{m}$) đến cấp 9 ($R_a \approx 0,32 \mu\text{m}$), cấp độ cứng phần cổ trục 48 ÷ 52 HRC,... Qua quá trình làm việc, trục của máy xẻ đá thường xuất hiện các hư hỏng như hỏng các mặt ren, trục bị xoắn, bị cong vênh,... trong đó trục bị hao mòn quá kích thước giới hạn là dạng hỏng thường hay gặp nhất.

Hiện nay có rất nhiều phương pháp phục hồi chi tiết máy như: phục hồi bằng phương pháp hàn đắp, phun kim loại, mạ,... (Đình Minh Diệm, 2007). Trong đó hàn đắp là phương pháp thường được sử dụng để phục hồi các chi tiết bị mài mòn. Đây là một trong những phương pháp đem lại hiệu quả kinh tế cao vì trục được phục hồi thường có chất lượng tốt, không phải mua trục mới để thay thế, tiết kiệm được thời gian vận chuyển và việc phụ thuộc vào nguồn cung cấp phụ tùng của các công ty. Hàn đắp tạo ra lớp kim loại phủ trên bề mặt chi tiết nhằm tăng kích thước, tăng chất lượng bề mặt (độ cứng, khả năng chống ăn mòn,...). Các phương pháp hàn đắp để phục hồi trục xẻ đá rất đa dạng: hàn hồ quang tay, hàn tự động dưới lớp thuốc bảo vệ,

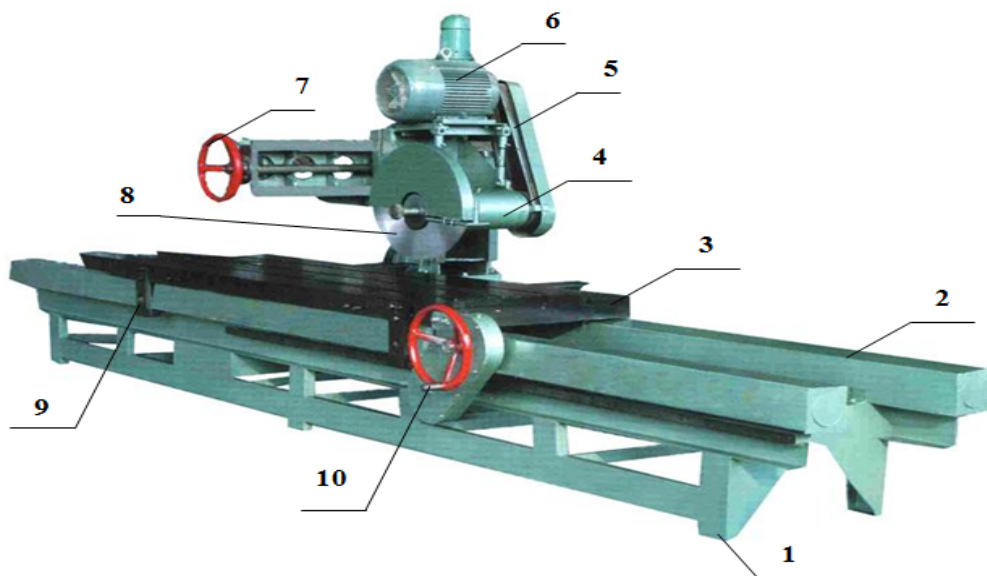
hàn trong môi trường khí bảo vệ,... Trong số những phương pháp phục hồi trên, mỗi phương pháp đều có những ưu và nhược điểm riêng, nhưng trên cơ sở trang thiết bị sẵn có, lựa chọn phương pháp hàn hồ quang tay để hàn đắp là phương án đem lại hiệu quả tốt (Đình Minh Diệm, 2007).

Sau khi trục được hàn đắp tại các cổ trục, tiến hành gia công trên các máy công cụ và tiến hành đánh giá chất lượng (Trần Văn Địch, 2003). Quá trình gia công gồm: tiện thô, tiện tinh và mài cổ trục. Trong đó quá trình tiện tinh phải được tính toán, lựa chọn các chế độ phù hợp vì nó ảnh hưởng rất nhiều đến chất lượng của trục. Trên cơ sở lựa chọn phương pháp đánh giá chất lượng hợp lý có thể giúp phát hiện được một số thiếu sót ở các công đoạn gia công trước đó để điều chỉnh cho hợp lý.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Máy xẻ đá một trụ hiện đang được dùng ở các cơ sở sản xuất ở Thanh hóa (Hình 1) và được sử dụng để tiến hành chạy thử trục đã được phục hồi.



Hình 1. Máy xẻ đá một trụ

Ghi chú: 1 - đế máy; 2 - mặt dẫn hướng bàn máy; 3 - bàn máy mang đá xẻ; 4 - gối đỡ trục xẻ đá; 5 - đai truyền; 6 - động cơ điện 3 pha; 7 - tay quay điều chỉnh bàn máy ngang; 8 - lưỡi cưa xẻ đá; 9 - cửa hành trình; 10 - tay quay bàn máy

Trong các máy xẻ đá, trục là chi tiết làm việc trong điều kiện nặng nề nhất: tải trọng cao, chịu mô men xoắn do lưỡi cắt và truyền động đai tạo ra. Để chế tạo trục, sử dụng loại thép với hàm lượng carbon trong khoảng $0,4 \div 0,5\%$ bảo đảm có tính chống mài mòn nhất định. Với loại trục máy xẻ đá thì vật liệu chế tạo trục là thép 40Cr theo tiêu chuẩn (Bảng 1 và 2).

Trên cơ sở nghiên cứu thực nghiệm hàn đắp trên các chi tiết mẫu, sau đó gia công phục hồi để đạt được kích thước mong muốn. Chọn 5 mẫu trục được phục hồi để đánh giá chất lượng. Trục được phục hồi lắp trên các máy xẻ đá trên địa bàn Thanh Hóa.

Máy hàn sử dụng để hàn đắp là máy hàn của hãng Lincoln (R3R - 400 K1285-16) với các thông số: Chu kỳ tải 60%, dải cường độ dòng điện hàn

60 - 500 A, hiệu điện thế không tải 67 V, đường kính que hàn tối đa 7 mm; kích thước 841 x 566 x 699 (LxWxH), trọng lượng 183 kg.

Loại que hàn được sử dụng để hàn E10-UM-60-GRS theo tiêu chuẩn DIN của Đức. Đây là loại que hàn chuyên để hàn đắp, có tính hàn tốt, chịu được mài mòn cao. Lõi que hàn có đường kính $\varnothing 3,2$ mm. Chiều dài của que hàn $L = 350$ mm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Nghiên cứu lý thuyết

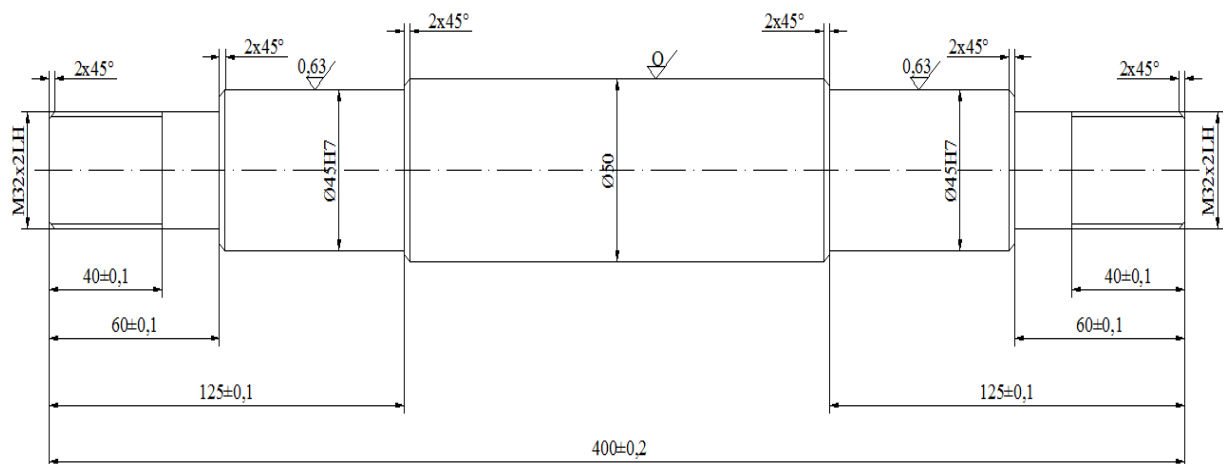
Nghiên cứu lý thuyết về phương pháp hàn đắp, chế độ gia công sau khi hàn đắp làm cơ sở cho quá trình thực nghiệm phục hồi trục máy xẻ đá. Nghiên cứu lựa chọn các phương pháp đánh giá chất lượng chi tiết sau khi đã được phục hồi.

Bảng 1. Thành phần hóa học của thép 40Cr (Trần Văn Định và Ngô Trí Phúc, 2003)

Mác thép	Hàm lượng các nguyên tố, (%)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
40Cr	0,36 ÷ 0,44	0,17 ÷ 0,37	0,5 ÷ 0,8	0,8 ÷ 1,1	≤ 0,3	≤ 0,035	≤ 0,035

Bảng 2. Cơ tính của thép 40Cr (Trần Văn Định và Ngô Trí Phúc, 2003)

Mác thép	Giới hạn bền σ_b (MPa)	Giới hạn bền chảy quy ước $\sigma_{0,2}$ (MPa)	Độ giãn dài tương đối δ (%)	Độ dai va đập a_k (J/cm ²)
40Cr	980	785	10	59



Hình 2. Trục máy xẻ đá

2.2.2. Nghiên cứu thực nghiệm

Để chi tiết sau khi phục hồi đảm bảo chất lượng tốt thì phải trải qua nhiều công đoạn khác nhau. Thực nghiệm xác định lượng kim loại phải hàn đắp, các thông số cơ bản của quá trình hàn, các chế độ gia công khi tiện thô, tiện tinh, mài cổ trục.

Trên cơ sở chi tiết mới xây dựng bản vẽ và tiến hành đo để xác định các thông số chính như độ cứng, độ nhám để làm cơ sở đánh giá chi tiết sau khi phục hồi.

Các chi tiết bị hao mòn được gia công sơ bộ để đảm bảo độ đồng tâm và tiến hành đo lượng hao mòn trên 20 chi tiết. Từ kích thước danh nghĩa của cổ trục là $\Phi 45_{-0,00}^{+0,25}$, kết quả đo kích thước sau mòn, lượng mòn so với kích thước danh nghĩa. Cũng từ kích thước danh nghĩa, lượng dư cho mài là 0,3 mm (mài thô và mài tinh), lượng dư cho tiện tinh là 0,12 mm, tiện thô là 2 mm (Trần Văn Định, 2003). Xác định được kích thước phôi tối thiểu để gia công cổ trục là:

$$45,025 + (0,3 + 0,12 + 2) \times 2 \approx 49,87 \text{ (mm)}$$

Từ kết quả kích thước phôi tối thiểu và kết quả đo chi tiết sau mòn, xác định được chiều cao lớp đắp tối thiểu, số lượng chi tiết (tần suất tuyệt đối của chiều cao lớp đắp tối thiểu với các giá trị tương ứng H_j), tần suất tương đối của sự kiện $h_j = \frac{H_j}{20}$. Từ đó, xác định được hàm phân phối của chiều cao lớp đắp tối thiểu $F_n(x)$: $F_n(x) = \frac{m_x}{20}$ (Bảng 4), với m_x là số giá trị đếm được có giá trị nhỏ hơn hoặc bằng giá trị đang xét tương ứng

Khi tiến hành hàn thì hàn 02 lớp: lớp lót và lớp đắp (Đỗ Minh Diệm, 2007). Qua quá trình hàn thực nghiệm trên các mẫu thử và qua các tài liệu (Nguyễn Văn Thông, 2011; KOBE STEEL, LTD, 2015 và CAERT, Inc., 2009) nhóm tác giả lựa chọn được bộ thông số hàn hợp lý. Hàn lớp lót với các thông số chế độ hàn: $I_h = 90A$, $U_h = 23V$. Hàn lớp đắp với các thông số chế độ hàn: $I_h = 100A$, $U_h = 23V$.

Bảng 3. Bảng xác định hao mòn cổ trục máy xẻ đá

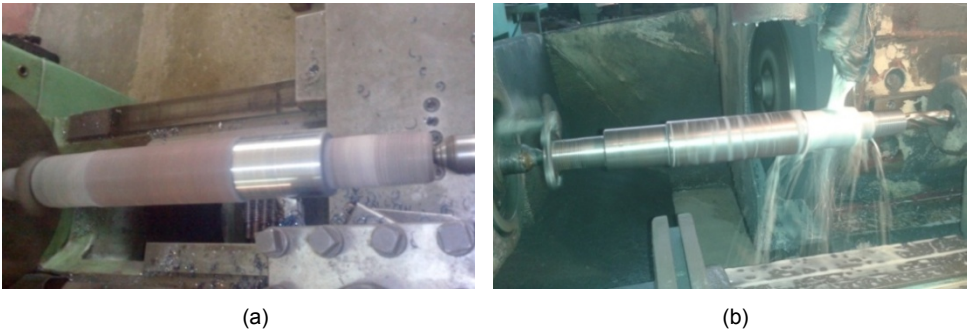
Số hiệu	Kích thước danh nghĩa	KT đo thực tế	Ghi chú
T 01	$\Phi 45$	$\Phi 44,5$	
T 02		$\Phi 44,7$	
T 03		$\Phi 44,6$	
T 04		$\Phi 44,5$	
T 05		$\Phi 44,82$	
T 06		$\Phi 44,85$	
T 07		$\Phi 44,6$	
T 08		$\Phi 44,6$	
T 09		$\Phi 44,7$	
T 10		$\Phi 44,91$	
T 11		$\Phi 44,75$	
T 12		$\Phi 44,6$	
T 13		$\Phi 44,55$	
T 14		$\Phi 44,7$	
T 15		$\Phi 44,6$	
T 16		$\Phi 44,7$	
T 17		$\Phi 44,83$	
T 18		$\Phi 44,75$	
T 19		$\Phi 44,84$	
T 20		$\Phi 44,5$	

Bảng 4. Hàm phân phối thực nghiệm chiều cao lớp đắp tối thiểu
(Nguyễn Doãn Ý, 2003)

Chiều cao lớp đắp tối thiểu (mm)	H_j	h_j	$F(x)$
2,480	1	0,05	0,05
2,510	1	0,05	0,1
2,515	1	0,05	0,15
2,520	1	0,05	0,2
2,525	1	0,05	0,25
2,560	2	0,1	0,35
2,585	4	0,2	0,55
2,635	5	0,25	0,8
2,660	1	0,05	0,85
2,685	3	0,15	1



Hình 3. Trục máy xẻ đá sau khi hàn



Hình 4. Quá trình gia công trên các máy công cụ

Ghi chú: a - tiện thô và tinh trên máy tiện; b - mài đánh bóng cổ trục



Hình 5. Kiểm tra kích thước và độ đảo cổ trục

Ghi chú: a - kiểm tra kích thước; b - kiểm tra độ đảo cổ trục

- Kiểm tra kích thước và độ đảo cổ trục

Dùng panme đo ngoài độ chính xác 0,01 mm kiểm tra kích thước đường kính cổ trục. Để kiểm tra độ đảo cổ trục, gá chi tiết lên đồ gá, dùng đồng hồ so độ chính xác 0,01 mm, sau đó cho chi tiết quay tròn và điều chỉnh cho kim đồng hồ tiếp xúc với phần cổ trục ta cần đo.

- Kiểm tra độ nhám

Sử dụng máy đo độ nhám SJ-201 Mitutoyo, Nhật Bản để kiểm tra độ nhám bề mặt.

- Kiểm tra độ cứng

Kết quả kiểm tra: giá trị độ cứng phải trong khoảng $48 \div 52$ HRC mới đạt yêu cầu

Trong quá trình tiến hành thực nghiệm, tác giả đã chuẩn bị 5 mẫu trục máy xẻ đá sau khi phục hồi bằng công nghệ hàn đắp và tiến hành đo độ cứng tại Trung tâm thí nghiệm - Nhà máy Z111 - Bộ Quốc phòng, mỗi mẫu tiến hành đo 5 lần trên các vị trí khác nhau.

- Chạy thử trục trên máy xẻ đá

Trục máy xẻ đá sau khi được phục hồi và kiểm tra các thông số về kích thước, độ cứng, độ nhám thì được lắp vào máy xẻ đá một trụ để tiến hành chạy thử tại công ty cơ khí Phương Thắng - Thanh Hóa (khai thác tại Yên Lâm - Yên Định - Thanh Hóa) trong thời gian 01 tháng với định mức thời gian 8 giờ /1 ngày x 30 ngày = 240 giờ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Chiều cao lớp đắp tối thiểu

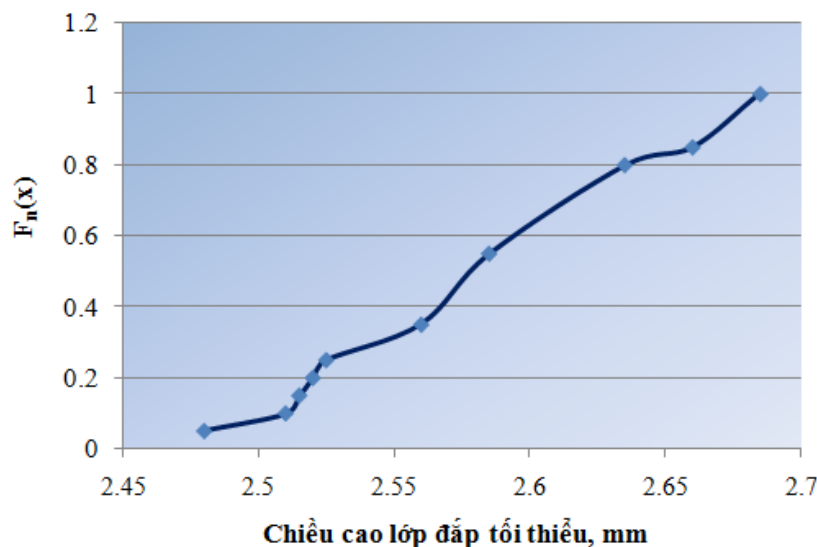
Dựa vào bảng 4 ta xây dựng được đồ thị hàm phân phối thực nghiệm chiều cao lớp đắp tối thiểu (Hình 6).

Dựa vào đồ thị hàm phân phối thực nghiệm chiều cao lớp đắp tối thiểu, nhận thấy chiều cao lớp đắp tối thiểu tăng lên từ 2,480 mm đến 2,685 mm, trong đó phổ biến là chiều cao lớp đắp tối thiểu trong khoảng 2,560 mm đến 2,685 mm.

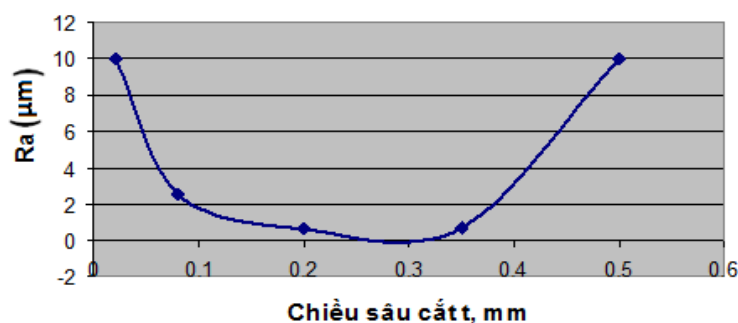
3.2. Ảnh hưởng của chế độ khi tiện tinh đến độ nhám bề mặt

3.2.1. Ảnh hưởng của chiều sâu cắt

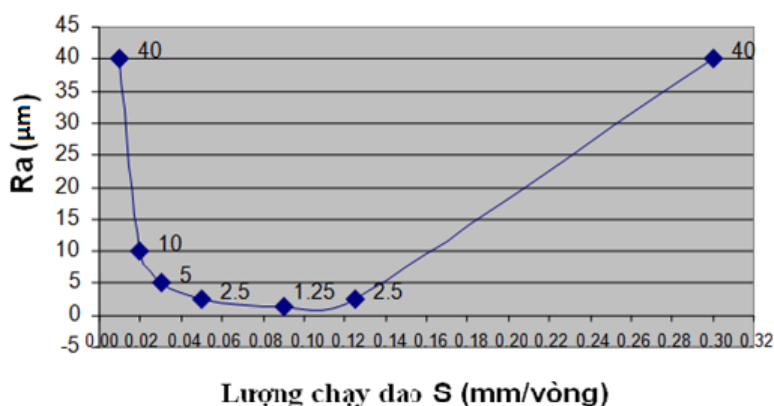
Qua biểu đồ (Hình 7) ta thấy trong giới hạn chiều sâu cắt từ $0,1 \div 0,4$ mm cho chất lượng bề mặt tương đối ổn định. Tuy nhiên nếu chiều sâu cắt quá lớn sẽ dẫn đến rung động trong quá trình cắt, do đó tăng độ nhám. Người lại chiều sâu cắt quá nhỏ sẽ làm dao bị trượt trên bề mặt gia công. Khi cắt với chiều sâu cắt $t < 0,1$ mm thường xảy ra hiện tượng trượt dao. Khi đó kim loại chủ yếu bị nén chặt làm cho chiều cao nhấp nhô (độ nhám) tăng lên và lớp bề mặt bị biến cứng, gây khó khăn cho lần gia công tiếp theo.



Hình 6. Hàm phân phối thực nghiệm chiều cao lớp đắp tối thiểu



Hình 7. Biểu đồ ảnh hưởng của chiều sâu cắt t đến chất lượng bề mặt



Hình 8. Biểu đồ ảnh hưởng của lượng chạy dao S tới chất lượng bề mặt

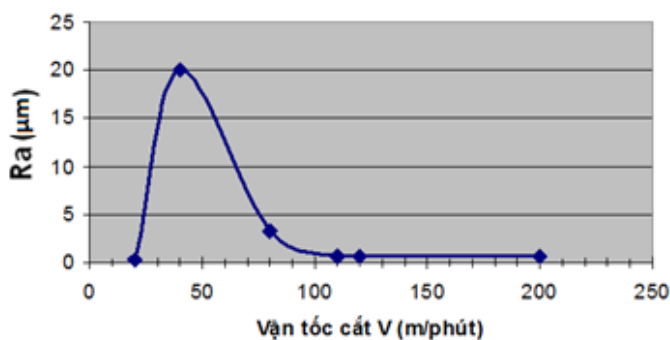
3.2.2. Ảnh hưởng của lượng chạy dao

Khi gia công với lượng chạy dao 0,02 ÷ 0,125 mm/vòng thì bề mặt gia công có chất lượng tốt và tương đối ổn định. Nếu $S < 0,02$ mm/vòng thì độ nhấp nhô tế vi sẽ tăng lên tức là độ nhẵn bóng sẽ giảm xuống. Nếu lượng chạy dao $S > 0,125$ mm/vòng thì trong quá trình gia công hình thành các nhấp nhô đồng thời kết hợp với ảnh hưởng của các yếu tố hình học làm tăng giá trị độ nhám, do đó chất lượng bề mặt kém. Để

đảm bảo độ nhẵn bóng bề mặt và năng suất gia công, đối với lớp hàn đắp nên chọn giá trị của lượng chạy dao trong khoảng 0,03 ÷ 0,125 mm/vòng.

3.2.3. Ảnh hưởng của vận tốc cắt V

Nhìn vào biểu đồ (Hình 9) ta thấy rằng với tốc độ cắt < 100 m/phút khi tốc độ cắt thay đổi thì độ nhám cũng thay đổi lớn và không ổn định. Khi cắt với tốc độ cắt từ 100 m/phút trở lên,



Hình 9. Biểu đồ ảnh hưởng của vận tốc cắt V tới chất lượng bề mặt

nhiệt cắt cao, kim loại dễ biến dạng, lớp kim loại giữa mặt trước của dao và phoi bị nóng chảy làm giảm ma sát, giảm lực cắt, khó hình thành phoi bám, do đó chiều cao nhấp nhô lớp bề mặt giảm, độ nhẵn bề mặt tăng lên.

3.3. Đánh giá chất lượng của trục máy xẻ đá sau phục hồi

3.3.1. Đánh giá thông qua việc kiểm tra kích thước trục

Tiến hành đo kích thước cổ trục cho thấy các giá trị đều nằm trong giới hạn cho phép ($\Phi 45^{+0,25}_{-0,00}$) và độ đảo của cổ trục đảm bảo yêu cầu đã đặt ra ($\leq 0,02\text{mm}$).

3.3.2. Đánh giá kết quả thông qua kiểm tra độ nhám (R_a)

Dựa vào biểu đồ (Hình 10) ta thấy đường biểu thị chất lượng bề mặt sau phục hồi nằm trong giới hạn R_{amin} và R_{amax} của mẫu chuẩn. Điều đó chứng tỏ sau khi phục hồi bằng hàn đắp, trục được gia công đảm bảo chất lượng tốt.

3.3.3. Đánh giá kết quả thông qua kiểm tra độ cứng

Qua kết quả đo (Bảng 6 và Hình 11) cho thấy rằng trục máy xẻ đá sau khi phục hồi mặc dù giá trị độ cứng có sự thay đổi giữa các mẫu nhưng chúng vẫn nằm trong giới hạn cho phép từ $48 \div 52\text{HRC}$. Tuy nhiên, độ cứng trên cùng một mẫu thử còn có sự chưa đồng đều do ảnh hưởng của quá trình hàn đắp và quá trình gia công.

3.3.4. Đánh giá chất lượng chi tiết bằng chạy thử

Trục máy xẻ đá sau thời gian 01 tháng chạy thử nghiệm với chế độ làm việc 8 giờ /1 ngày có một số nhận xét như sau:

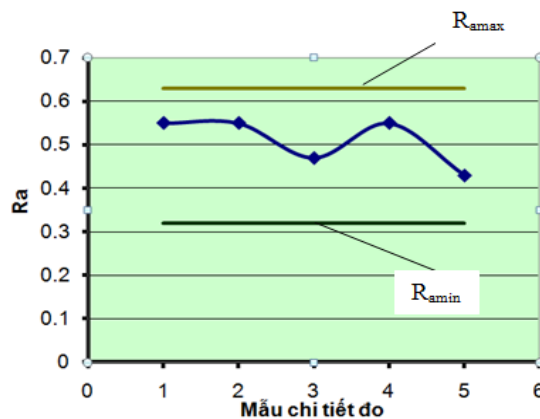
- Máy làm việc êm, ổn định.

- Năng suất cắt ổn định.

- Bề mặt cổ trục nói chung cũng như các bề mặt khác trên trục nói riêng vẫn giữ được hình dáng và chất lượng bình thường, không xuất hiện một dấu hiệu nào về hiện tượng mài mòn hay cong vênh.

Bảng 5. Kết quả đo độ nhám bề mặt của 5 mẫu thử trục máy xẻ đá

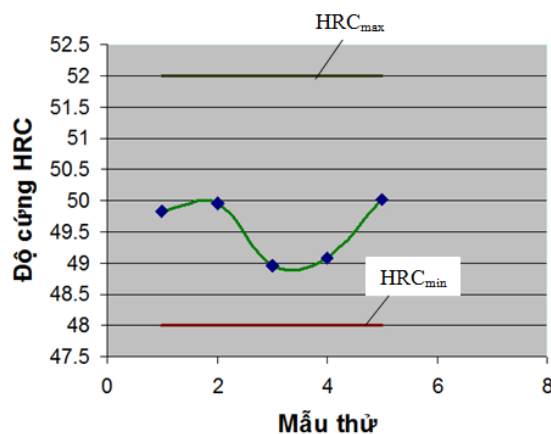
Tên mẫu	Kết quả đo độ nhám R_a (μm)				Độ nhám trung bình (μm)
	Lần đo 1	Lần đo 2	Lần đo 3	Lần đo 4	
Mẫu 1	0,63	0,63	0,32	0,63	$\approx 0,55$
Mẫu 2	0,32	0,63	0,63	0,63	$\approx 0,55$
Mẫu 3	0,63	0,32	0,32	0,63	$\approx 0,48$
Mẫu 4	0,63	0,32	0,63	0,63	$\approx 0,55$
Mẫu 5	0,63	0,16	0,32	0,63	$\approx 0,43$
Mẫu chuẩn					0,63



Hình 10. Biểu đồ độ nhám bề mặt sau phục hồi của cổ trục so với mẫu chuẩn

Bảng 6. Kết quả đo độ cứng của 5 mẫu thử trục máy xẻ đá

Tên mẫu	Kết quả đo độ cứng (HRC)					Độ cứng trung bình (HRC)
	Lần đo 1	Lần đo 2	Lần đo 3	Lần đo 4	Lần đo 5	
Mẫu 1	48,3	51,4	49,0	52,0	48,5	49,84
Mẫu 2	49,0	48,8	50,4	51,4	50,2	49,96
Mẫu 3	49,5	49,2	48,8	48,6	48,7	48,96
Mẫu 4	48,95	49	48,7	48,8	50,0	49,09
Mẫu 5	48,5	50,1	51,0	49,5	51,0	50,02
Mẫu chuẩn						48 - 52



Hình 11. Biểu đồ độ cứng sau phục hồi của cổ trục so với mẫu chuẩn

4. KẾT LUẬN

Sử dụng phương pháp hàn đắp để phục hồi trục của máy xẻ là một trong những phương pháp đem lại hiệu quả tốt. Trục sau khi được phục hồi, tiến hành đánh giá kiểm tra chất lượng, chạy thử trục trên máy với kết quả làm việc ổn định, qua đó giúp tiết kiệm được thời gian và chi phí khi phải thay thế trục hư hỏng bằng trục mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Đình Minh Diệm (2007). Công nghệ phục hồi, Nhà xuất bản Đại học Đà Nẵng.

Trần Văn Địch (2003). Công nghệ chế tạo máy, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

Trần Văn Địch, Ngô Trí Phúc (2003). Sổ tay sử dụng thép thế giới. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

Nguyễn Văn Thông (2011). Sổ tay công nghệ hàn, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

Nguyễn Doãn Ý (2003). Giáo trình quy hoạch thực nghiệm. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

KOBE STEEL, LTD (2015). The ABC's of arc welding and inspection.

CAERT, Inc (2009). Applying shielded metal arc welding (SMAW) techniques.