

NGHIÊN CỨU NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG THIẾT BỊ CÔNG TÁC MÁY XÂY DỰNG

A STUDY ON IMPROVING THE QUALITY THE WORKING EQUIPMENT OF CONSTRUCTION MACHINES

Nguyễn Lan Hương

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: huongnlvck@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT

Các máy xúc, đào thường phải làm việc trong điều kiện khắc nghiệt, nên các chi tiết kim loại như trục, bánh răng chịu tải va đập, cọ sát với nhau, hoặc các lưỡi răng gầu xúc phải cắt xén những tảng đất, đá cứng... dẫn đến việc thiết bị công tác nhanh bị mòn sau một thời gian khai thác và cần được phục hồi hoặc thay thế mới.

Việc thay thế mới thường sẽ tốn kém về chi phí hơn so với phục hồi nâng cao chất lượng. Do vậy tìm kiếm giải pháp sửa chữa các thiết bị công tác là rất cần thiết khi khai thác máy xây dựng. Hàn phục hồi là một trong những phương pháp nâng cao chất lượng, độ cứng thiết bị công tác. Các yếu tố ảnh hưởng lớn tới quá trình hàn phục hồi gồm có vật liệu hàn, phương pháp và điều kiện hàn. Bài báo đưa ra các giải pháp lựa chọn vật liệu và phương pháp hàn tối ưu dựa trên điều kiện khai thác trong thực tế.

Từ khóa: Máy xây dựng; Gầu xúc; Răng gầu; Bánh răng; Hàn phục hồi.

ABSTRACT

Excavator often have to work in harsh conditions, so metal parts such as shafts and gears are subjected to impact and rub against each other, or bucket blades have to cut hard rocks and soil... cause work equipment quickly wearing out after a period of exploitation and needing to be restored or replaced.

Replacing equipment with new parts is often more costly than restoring and improving its quality. Therefore, finding solutions to repair working equipment is essential when operating construction machinery. Welding restoration is one of the methods to enhance the quality and hardness of the working equipment. Factors that greatly affect the regenerative welding process include welding materials, welding methods and conditions. The article offers solutions for selecting optimal materials and welding methods based on actual mining conditions.

Keywords: Construction machinery; Bucket; Bucket teeth; Gear; Rebuilding welding.



1. MỞ ĐẦU

Máy xây dựng là các loại máy móc, thiết bị được sử dụng để thực hiện các công việc trong lĩnh vực xây dựng như đào, đắp, vận chuyển, nâng hạ, trộn và đầm nén vật liệu. Việc sử dụng máy xây dựng giúp tăng năng suất lao động, giảm chi phí nhân công và đảm bảo tiến độ thi công. Một số loại máy phổ biến bao gồm máy xúc, máy ủi, máy trộn bê tông, cần cẩu và máy lu... Thiết bị công tác bao gồm gầu xúc, răng gầu, các chi tiết bản lề, trục quay... thường xuyên chịu tải trọng động, mài mòn, va đập và ảnh hưởng của môi trường làm việc khắc nghiệt. Theo thời gian, các chi tiết này bị hao mòn, nứt gãy, làm giảm hiệu quả vận hành, tăng chi phí vận hành và tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn lao động. Tuy nhiên, việc thay thế toàn bộ thiết bị công tác là rất tốn kém, đặc biệt đối với các máy chuyên dụng nhập khẩu.

Do đó, việc nghiên cứu giải pháp phục hồi thiết bị công tác là cần thiết nhằm kéo dài tuổi thọ thiết bị, giảm chi phí sản xuất và nâng cao hiệu quả sử dụng. Bài báo tập trung nghiên cứu quy trình phục hồi thông qua công nghệ hàn đắp hợp kim chống mài mòn kết hợp với gia công cơ khí, kiểm tra chất lượng sau phục hồi và đánh giá hiệu quả kinh tế – kỹ thuật.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nhiệm vụ của sửa chữa phục hồi là sửa chữa hình dáng, kích thước, phục hồi lại các bề mặt bị hỏng,... đảm bảo mối lắp ghép tốt, vận hành bình thường. Do những yêu cầu về kỹ thuật, thẩm mỹ, nâng cao khả năng chống mòn hoặc phải thay thế kim loại hiếm bằng kim loại dễ tìm hay thỏa mãn những yêu cầu vật lý - cơ học,... nên để sửa chữa - phục hồi tốt, trước tiên phải nắm được quá trình sản xuất và quá trình công nghệ chế tạo, phân tích những hiện tượng mài mòn hư hỏng và các yêu cầu của

chi tiết, từ đó lập nên các phương án và chọn phương án sửa chữa phục hồi hợp lý.

Việc sửa chữa phục hồi phải đạt được hiệu quả kinh tế kỹ thuật, ngoài ra áp dụng phương pháp sửa chữa phục hồi hiện đại có thể làm cho một số chi tiết làm việc tốt hơn. Giá thành phục hồi thường bằng $15 \div 46\%$ giá thành chi tiết mới. Người ta chia phương pháp phục hồi ra ba nhóm chính tùy thuộc vào các hư hỏng; hồi phục chi tiết bị mòn, mối kim loại, các hư hỏng do cơ học và ăn mòn. Việc khắc phục các hư hỏng tiến hành bằng các phương pháp khác nhau như hàn và hàn đắp, hàn vẩy, biến dạng dẻo, phun kim loại, sử dụng chất dẻo, gia công nguội. Các hư hỏng chi tiết do ăn mòn ở dạng rỗ, ôxy hóa, tróc lớp kim loại bề mặt được phục hồi bằng các phương pháp nguội cơ khí. Hồi phục lại kích thước ban đầu được tiến hành bằng cách đắp lên bề mặt chi tiết bị mòn một lớp kim loại và sau đó gia công cơ để đạt được kích thước như yêu cầu. Đắp lớp kim loại lên bề mặt chi tiết được thực hiện bằng các phương pháp như: hàn đắp, mạ, phun kim loại...

Hàn là quá trình liên kết các phần kim loại với nhau thông qua sự chảy lỏng của kim loại bằng nhiệt độ. Hàn đắp là phủ lớp kim loại hàn lên bề mặt chi tiết nhằm làm tăng kích thước, tăng chất lượng bề mặt (độ cứng, khả năng chống mòn...), thường dùng để phục hồi các bề mặt chi tiết bị mòn của máy [3].

Bên cạnh đó hàn còn một số nhược điểm như: vì phạm nhiệt luyện và cấu trúc kim loại, giảm độ bền mỏi, khó hàn cho thép chứa nhiều các bon, thép hợp kim và kim loại màu, gây ra ứng suất tập trung, gây ra nứt và cong vênh chi tiết, cháy cục bộ các thành phần vật liệu kim loại.

Dựa vào nguồn nhiệt cung cấp, người ta

chia ra hàn hơi và hàn điện hồ quang. Ngoài ra, tùy theo tính chất đặc trưng của quá trình hàn còn chia ra các loại như: hàn tiếp xúc, hàn điểm, hàn với tần số cao, hàn ma sát, hàn dùng siêu âm. Trong thực tế sửa chữa, người ta thường dùng hàn điện và hàn hơi để phục hồi các chi tiết chế tạo bằng gang và thép.

Đối với những chi tiết nhỏ lẻ, và vị trí hàn phức tạp thì lựa chọn hàn que (SMAW) là một lựa chọn hợp lý. Trong khi những chi tiết dễ thao tác hơn, chi tiết lớn và số lượng nhiều thì có thể lựa chọn hàn dây (GMAW/FCAW). Đối với chi tiết lớn thuận lợi cho thao tác tự động thì có thể xem xét sử dụng hàn dưới lớp thuốc (SAW) [1].

Hàn đắp là quá trình phủ một hoặc nhiều lớp kim loại có thành phần hợp kim đặc biệt lên bề mặt chi tiết nền nhằm phục hồi hình dạng ban đầu và/hoặc tăng khả năng chịu mài mòn, chịu tải, chống ăn mòn và kéo dài tuổi thọ làm việc của chi tiết.

Hàn đắp hợp kim chống mài mòn là một dạng hàn đắp sử dụng vật liệu hàn có độ cứng cao và khả năng chống mài mòn vượt trội. Sau khi hàn, lớp phủ bảo vệ giúp chi tiết hạn chế sự hao mòn do ma sát, va đập hoặc cắt gọt vật liệu cứng, đặc biệt phù hợp với các thiết bị công tác của máy làm đất, đá, khai thác mỏ và xây dựng [2].

Cơ chế làm việc của lớp đắp là tạo một lớp “áo giáp” bảo vệ bề mặt chi tiết nền, giảm tốc độ mài mòn và kéo dài tuổi thọ làm việc mà không cần thay thế toàn bộ chi tiết.

Lớp kim loại hợp kim hàn đắp thường có:

- Độ cứng bề mặt cao giúp chống xước, cắt và va đập.

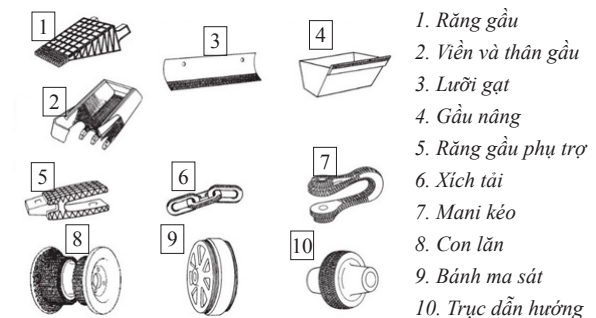
- Cấu trúc tế vi có nhiều cacbit hoặc borit phân tán, giúp chống mài mòn do ma sát.

- Lớp nền dẻo dai, hấp thụ va đập, hạn chế nứt vỡ lớp phủ.

Một số nghiên cứu về quá trình hàn như “Đánh giá khả năng tăng tuổi thọ mỏi của kết cấu hàn khi được xử lý bằng phương pháp rung khử ứng suất dư” của tác giả Bùi Mạnh Cường, Khoa Cơ khí, Học viện Kỹ thuật quân sự; “Nghiên cứu và ứng dụng công nghệ hàn để hàn thép không gỉ SUS304 với thép các bon A53” của Ngô Hữu Mạnh, Trường Đại học Sao Đỏ... nhưng dùng phương pháp hàn để sửa chữa thiết bị công tác còn ít tác giả đề cập đến.

3. HIỆN TRẠNG HƯ HỎNG THIẾT BỊ CÔNG TÁC

3.1. Các chi tiết dễ bị mòn



Hình 1. Các chi tiết dễ bị mòn của máy xúc, ủi

Trên đây là hình ảnh các chi tiết thường bị mòn và cần phải phục hồi sau thời gian dài làm việc, như: lưỡi, thân gầu xúc, lưỡi máy ủi, răng gầu xúc, trục dẫn hướng. Các chi tiết này thường được làm từ thép cacbon, thép hợp kim hoặc thép mangan cao, có thể chia ra làm ba nhóm chính [5]:

Nhóm 1: Gồm các chi tiết chịu mòn do cọ xát với nhau khi làm việc (nhóm Metal-to-Metal) ➡

metal friction) như các bánh răng, con lăn, trục cán..., ma sát giữa các chi tiết sẽ gây mòn do thiếu hoặc không có bôi trơn giữa các chi tiết.

Nhóm 2: Gồm các chi tiết bị mòn do điều kiện chịu va đập mạnh như các răng gầu xúc hoặc lưỡi máy xúc, ủi... trong điều kiện làm việc thường xuyên chịu va đập mạnh (trong ngành khai thác mỏ, hoặc các máy mài, máy nghiền), các phần tiếp xúc dễ bị đập, nứt mẻ hoặc vỡ.

Nhóm 3: Nhóm các chi tiết sử dụng trong thiết bị xúc, đào đất, nhóm này bao gồm các chi tiết có thể chịu mài mòn, chịu va đập hoặc cả hai.

3.2. Đối tượng khảo sát và giải pháp công nghệ phục hồi

Qua khảo sát tại một số công trình xây dựng và mỏ khai thác đá, than, các dạng hư hỏng chủ yếu được ghi nhận:

- Mòn cơ học: Mép cắt, thành gầu, cang bị mòn mỏng (tốc độ mòn trung bình 0,5-1,2 mm/100 giờ làm việc).
- Nứt gãy kết cấu: Tại các mối hàn nối tấm, góc gầu, gây rò rỉ vật liệu.
- Biến dạng dẻo: Thân gầu bị cong vênh do va chạm đá lớn.
- Hỏng ổ, chốt, trục: Khe hở tăng, gây rung lắc trong quá trình xúc.

Nguyên nhân chủ yếu: Tải trọng va đập lớn, vật liệu xúc có độ mài mòn cao, công nghệ chế tạo chưa đồng bộ, và chế độ bảo dưỡng chưa phù hợp.

Các phương pháp phục hồi được áp dụng gồm:

- Hàn đắp hợp kim chịu mòn: Sử dụng que hàn chịu mài mòn (EFe8, EDCr-A) hoặc dây hàn lõi thuốc, tăng độ bền mép gầu.

- Gia công cơ khí: Tiện, doa, mạ phục hồi kích thước trục, bạc lót.

- Gia cường kết cấu: Bổ sung tấm thép chịu lực, hàn gia cường tại các vị trí nứt gãy.

- Thay thế chọn lọc: Thay các chi tiết hỏng nặng (chốt, bạc lót) kết hợp với phục hồi chi tiết có thể tái sử dụng.

4. VẬT LIỆU HÀN ĐẮP CHỐNG MÀI MÒN VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP HÀN

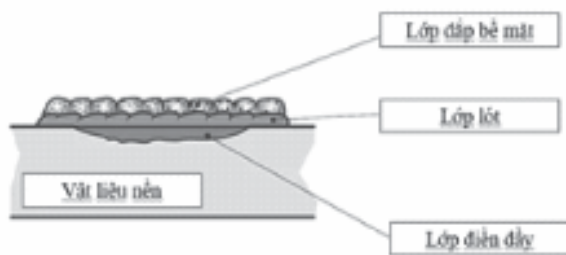
4.1. Lựa chọn vật liệu hàn

Vật liệu hàn được hiểu như là điện cực (que hàn, dây hàn) và thuốc hàn (hoặc vỏ que hàn). Vật liệu hàn có công dụng gây và duy trì hồ quang, bổ sung kim loại cho mối hàn, bảo vệ vùng hàn khỏi tác động của môi trường xung quanh, hợp kim hóa mối hàn, tinh luyện kim loại, bảo đảm hình dạng cần thiết của mối hàn. Để lựa chọn được vật liệu hàn đắp phù hợp, cần phải lưu ý xem vật liệu cơ bản là gì, điều kiện làm việc của chi tiết ra sao, và sử dụng loại quá trình hàn cũng như quy trình hàn nào để đạt được hiệu quả nhất. Cụ thể, trước khi lựa chọn vật liệu hàn cần phải thực hiện xác định vật liệu cơ bản trước. Đây là bước rất quan trọng, cần xác định được loại vật liệu cơ bản cũng như thành phần hóa học để có thể lựa chọn được vật liệu hàn phù hợp nhất. Với vật liệu cơ bản là thép cacbon hoặc thép hợp kim thấp thì sẽ sử dụng loại vật liệu hàn là que hàn đắp hoặc dây hàn đắp cacbon thấp, hoặc hợp kim thấp. Còn đối với vật liệu cơ bản là thép mangan cao thì cần dùng que hàn đắp hoặc dây hàn đắp hợp kim mangan. Ví dụ lựa chọn vật liệu hàn đắp cho răng gầu xúc như dưới đây [4].

Bảng 1. Thành phần của Vật liệu cơ bản (hay vật liệu nền chi tiết)

Thép	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)
35CrMn	0.23-0.26	0.5-0.8	0.17-0.37	0.04	≤0.04	0.25	0.25
15CrMn	0.18-0.22	0.5-0.8	0.17-0.37	≤0.04	0.17-0.37	≤0.25	≤0.25
20XMn	0.17	0.50	≤0.17	≤0.035	≤0.04	0.7-1.1	≤0.3
30XMn	0.17	0.50	≤0.17	≤0.035	0.17-0.37	0.7-1.1	≤0.3

Nếu vật liệu nền cơ bản là thép cacbon thấp hoặc thép hợp kim, vật liệu hàn được chọn thông thường sẽ là thép 15CrMn, còn với thép cacbon cao, vật liệu hàn được chọn sẽ là thép hợp kim từ mức 20 trở lên. Sơ đồ bố trí vật liệu hàn thường được tổ chức như dưới đây.



Hình 2. Sơ đồ bố trí các lớp vật liệu hàn phục hồi

4.2. Phương pháp hàn

Hàn hồ quang tay là phương pháp được áp dụng rộng rãi cho công nghệ phục hồi. Thiết bị phục vụ hàn đắp đơn giản, dễ vận hành, mất ít thời gian công tác chuẩn bị, thao tác rất linh hoạt phù hợp với rất nhiều chi tiết, đặc biệt là đối với những chi tiết có bề mặt phức tạp. Hàn đắp hồ quang điện được áp dụng phổ biến để hàn đắp các bề mặt chịu mài mòn, yêu cầu độ cứng cao, chịu va đập. Ảnh hưởng quan trọng là chọn đúng chủng loại que hàn đặc biệt được chế tạo để phục hồi chi tiết như que hàn cho thép có cường độ cao, thép chống ăn mòn môi trường, thép dùng cho chi tiết làm việc ở nhiệt độ thấp và nhiệt độ cao. Tuy nhiên chất lượng hàn đắp không cao, sức bền mối hàn không cao

và việc hợp kim hóa mối hàn cũng không được đơn giản như các phương pháp khác.

Hàn đắp tự động và bán tự động dưới lớp thuốc bảo vệ sử dụng phương pháp làm tăng năng suất hàn đắp, điều kiện lao động và chất lượng hàn đắp được cải thiện, tiêu hao điện năng và vật liệu hàn ít, phù hợp với chi tiết dạng trục. Hàn tự động và bán tự động có thể hợp kim hóa kim loại mối hàn dễ dàng, do đó làm tăng cơ tính của mối hàn đắp, tăng khả năng chịu mài mòn, va đập của chi tiết sau khi phục hồi. Có thể hợp kim hóa mối hàn bằng các cách: dùng dây hợp kim, dùng dây lõi thuốc hoặc dùng thuốc hàn gồm. Việc lựa chọn phương án hợp kim hóa phụ thuộc vào yêu cầu hợp kim hóa của mối hàn, nguyên tố hợp kim, điều kiện vật liệu, điều kiện thao tác hàn.

Hàn đắp hồ quang trong môi trường khí bảo vệ gồm có hàn điện cực nóng chảy và không nóng chảy, hàn một hồ quang và hàn nhiều hồ quang. Trong phương pháp hàn đắp bán tự động và tự động dùng điện cực nóng chảy được sử dụng rộng rãi nhất. Hàn trong môi trường khí bảo vệ cho phép cơ khí hóa và tự động hóa quá trình hàn trong bất kỳ vị trí không gian nào phù hợp với các bề mặt của chi tiết hàn đắp. Tuy nhiên, hàn đắp trong môi trường khí bảo vệ có một số yêu cầu phức tạp nhất định, nhiệt độ trong khi hàn cao làm cho vật liệu cơ bản thay đổi kết cấu, phát sinh ứng suất, từ đó gây ra nhiều biến dạng như nứt, võ chi tiết.

Hàn điện xỉ thường được áp dụng đối

với các chi tiết có chiều dày lớn với năng suất cao và cho chất lượng mối hàn tốt. Hàn điện xỉ thường dùng để nối các loại thép cacbon, thép hợp kim, nhôm và các loại khác có chiều dày lớn. Trong công nghệ hồi phục hàn điện xỉ được áp dụng hàn mặt phẳng, mặt trụ và mặt côn với chiều dày của lớp đắp lớn như gầu xúc hay lưỡi gạt. Mức tiêu hao thuốc hàn do bay hơi và tạo xỉ không quá 5% khối lượng kim loại đắp. Tiêu thụ điện năng giảm do giảm được năng lượng làm nóng chảy thuốc hàn. Bề hàn với chiều sâu lớn và tồn tại lâu tạo điều kiện cho khí và tạp chất thoát ra, giảm được việc hình thành khuyết tật như rỗ khí hoặc nứt.

Hàn bằng Plasma là phương pháp hàn tiên tiến, có rất nhiều ưu điểm như nhiệt độ cao, tập trung nhiệt nên có thể hàn nối các chi tiết với lớp hàn có chiều dày mỏng (khoảng 0.1 mm). Tuy nhiên, áp dụng phương pháp này sẽ rất tốn kém và khâu chuẩn bị phức tạp, lại chỉ phù hợp thực hiện đơn chiếc.

Hàn Laser là dạng đặc biệt thuộc nhóm hàn nóng chảy, trong đó kim loại ở chỗ nối được nung chảy bằng tia Laser tập trung công suất lớn do máy phát lượng tử quang học tạo ra, thường dùng để nối các chi tiết lắp ở những chỗ khó chạm tới, hàn các chi tiết rất nhỏ và vật liệu có độ chảy cao. Hàn Laser được sử dụng trong công nghiệp điện tử, hàn các thiết bị y tế, đồ trang sức, trong các hệ thống tự động sản xuất ô tô.

Hàn nhiệt nhôm là một dạng hàn nóng chảy. Đây là quá trình hàn dựa trên cơ sở nhiệt được sinh ra từ sự khử oxit kim loại của nhôm. Trong phương pháp hàn này, hỗn hợp bột oxit kim loại và bột nhôm được đốt cháy bằng một phản ứng khởi động mà không cần làm nóng từ bên ngoài. Phản ứng nhiệt nhôm sinh ra tỏa nhiệt rất cao khử oxit kim loại và làm nóng chảy chúng, kim loại nóng chảy sẽ điền đầy

khe hàn. Trong thực tế, phản ứng nhiệt nhôm thường được sử dụng cho các dây nối đồng và hàn khác như thép không gỉ, thép, gang, đồng đỏ, đồng thau... Nó còn rất tốt để hàn hai kim loại khác nhau. Quá trình hàn nhiệt nhôm được cấp bằng sáng chế vào năm 1898 và được sử dụng rộng rãi trong các năm sau để hàn đường sắt.

Hàn chùm tia điện tử là quá trình hàn nóng chảy, sử dụng năng lượng siêu cao của chùm tia điện tử hội tụ ở mật độ lớn để làm nóng chảy mép hàn, sau khi đông đặc ta thu được liên kết hàn. Phương pháp hàn thực hiện nhờ chùm tia điện tử có kích thước tiết diện ngang lớn từ vài chục đến vài trăm mm. Nhưng mật độ năng lượng nhỏ. Công suất tiêu hao năng lượng lại lớn. Chùm tia này được chiếu tới mối ghép giữa các chi tiết và đốt nóng nó đến nhiệt độ nóng chảy. Đường hàn bằng chùm tia điện tử sạch, không bị lẫn khí, tạp chất và các oxit. Năng lượng hàn nhỏ hơn so với các phương pháp hàn khác do sự tập trung năng lượng cao ở tiêu điểm của chùm tia điện tử. Hàn chùm tia điện tử không thể hàn được với các kim loại áp suất hóa hơi cao ở nhiệt độ nóng chảy như hợp kim của kẽm, magie và đa số các chất liệu không phải kim loại.

4.3. Trình tự hàn đắp phục hồi chi tiết chịu mòn

Thông thường với mỗi chi tiết bị mòn, trước khi hàn bề mặt hàn cần được vệ sinh sạch sẽ khỏi dầu mỡ và bụi bẩn. Các vết nứt hoặc vỡ bề mặt cần được mài sạch hoặc dũa bằng điện cực than. Tùy vào từng loại vật liệu cơ bản sẽ có khuyến cáo về việc chuẩn bị và quy trình cũng như kỹ thuật hàn đắp cụ thể. Tuy nhiên, trình tự chung cơ bản khi hàn đắp phục hồi chi tiết một cách chung nhất, bao gồm:

- Hàn lớp lót (buttering): Lớp lót mỏng

này với mục đích hòa tan một lượng nhỏ cacbon và hàm lượng hợp kim từ kim loại cơ bản.

- Hàn lớp điền đầy kích thước (build-up): Đối với các chi tiết bị mòn nghiêm trọng, cần phải hàn đắp một hoặc nhiều lớp để phục hồi lại kích thước làm việc ban đầu cho chi tiết. Thường sử dụng các loại vật liệu hàn có tính dẻo cao, có khả năng chống nứt để hàn lớp đắp đầy này.

- Hàn lớp chống mài mòn (hardfacing): Là lớp vật liệu được hàn lên trực tiếp bề mặt kim loại cơ bản hoặc hàn phủ lên trên lớp build-up, với mục đích tăng khả năng chịu mài mòn, giúp tăng tuổi thọ làm việc cho chi tiết. Với lớp hàn chống mài mòn hay biến cứng bề mặt thường hàn từ 1-3 lớp [2].

5. KẾT LUẬN

Kết quả sau khi phục hồi: Độ mòn trung bình giảm 30-40% so với gầu chưa gia cường. Tuổi thọ làm việc tăng thêm 1,5-2 lần so với trước khi phục hồi. Chi phí phục hồi chỉ bằng 35-45% so với chi phí thay mới toàn bộ thiết bị công tác. Máy làm việc ổn định, đảm bảo yêu cầu về năng suất và an toàn.

Hầu hết các thiết bị công tác của máy xây dựng được sửa chữa, đại tu do hao mòn, mỏi vật liệu, các hư hỏng cơ học và ăn mòn gây mất khả năng làm việc. Tuy nhiên chỉ một số ít chi tiết, linh kiện đơn giản có thể dễ mua,

dễ chế tạo khi nó mất hoàn toàn khả năng làm việc và được yêu cầu phải thay thế. Đa số chi tiết, thiết bị khác có thể được sử dụng lại thông qua công nghệ phục hồi với chi phí ở mức chấp nhận được. Các linh kiện, chi tiết được phục hồi bằng các phương pháp khác nhau có độ tin cậy và có độ bền lâu gần bằng hoặc thậm chí tương đương chi tiết mới. Giá thành phục hồi chi phí thấp một cách đáng kể so với giá thành chế tạo, chi phí phục hồi chi tiết thậm chí với công nghệ hợp lý và tình trạng hao mòn ít chỉ chiếm vào khoảng 35-60% giá mua chi tiết mới. Chi tiết càng phức tạp, càng đắt thì tạo ra hiệu quả khi phục hồi càng cao. ❖

Ngày nhận bài: **26/12/2025**

Ngày phản biện: **05/01/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Uttrachi, Gerald (2012), “*Advanced Automotive Welding*”. North Branch, Minnesota: CarTech. p. 32. ISBN 1934709964.
- [2]. Weman, Klas (2003), “*Welding processes handbook*”. New York, NY: CRC Press LLC. ISBN 0-8493-1773-8.
- [3]. Lincoln Electric (1994), “*The Procedure Handbook of Arc Welding*”. Cleveland: Lincoln Electric. ISBN 99949-25-82-2.
- [4]. Anders, A. (2003), “*Tracking down the origin of arc plasma science-II. early continuous discharges*”. IEEE Transactions on Plasma Science. 31 (5): 1060-9.
- [5]. Lưu Bá Thuận (2011), “*Giáo trình Máy xây dựng*”. NXB. Xây dựng.