

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA NĂNG LƯỢNG ĐƯỜNG ĐẾN MỐI HÀN ĐẮP TRONG QUÁ TRÌNH PHỤC HỒI CHI TIẾT BÁNH RĂNG

STUDY OF THE EFFECT OF HEAT INPUT ON THE WELD OVERLAY IN THE GEAR RESTORATION PROCESS

VŨ ANH TUẤN^{1*}, TRẦN THỂ NAM², NGUYỄN HẢI YẾN¹

¹Khoa Cơ sở - Cơ bản, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Phòng Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: anhtuan.cscb@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này sẽ thảo luận về các yếu tố tác động gây ra hư hỏng bánh răng và công nghệ hàn đắp để sửa chữa các hư hỏng bề mặt. Nghiên cứu sẽ thực hiện ở ba chế độ hàn đắp với sự thay đổi của cường độ hàn và tiến hành tính toán các thông số liên quan tới trường nhiệt độ như năng lượng đường, nhiệt độ lớn nhất tại các điểm và tốc độ nguội. Mục đích chính của nghiên cứu là tìm hiểu mối quan hệ giữa năng lượng đường tới sự hình thành hình dáng, tổ chức tế vi và cơ tính của mối hàn đắp.

Từ khóa: Năng lượng đường, tốc độ nguội, hàn đắp, bánh răng, thông số hàn.

Abstract

This article will discuss the factors causing gear damages and the weld overlay technology to repair gear surface damage. This work was carried out in three different welding parameters with the change of welding current, and then calculate the heat source parameters such as heat input, peak temperature, and cooling rate. The main purpose is to study the relationship between the heat input and the formation of weld shapes, microstructure and mechanical properties in the weld overlay process.

Keywords: Heat input, cooling rate, weld overlay, gears, welding parameters.

1. Mở đầu

Bánh răng là một bộ phận truyền lực, truyền chuyển động hoặc thay đổi hướng chuyển động. Độ chính xác, chất lượng và đặc tính làm việc của bánh răng sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất làm việc, độ mòn, độ rung, tiếng ồn cũng như tuổi thọ của chúng. Các hiện tượng hư hỏng nhỏ của bánh răng như nứt, trầy xước, gãy cạnh, biến dạng, mòn bề mặt, ăn mòn,... thường xảy ra trên bề mặt ở vị trí tiếp xúc, ghép nối giữa bánh răng với các chi tiết khác. Nguyên nhân dẫn tới hư hỏng là do tác động của tải trọng tác dụng, ứng suất nhiệt trong quy trình xử lý và làm việc, ăn

mòn do ứng suất, mài mòn hoặc do môi gây lên. Các hư hỏng này sẽ làm giảm độ chính xác, thay đổi hình dạng bánh răng, dẫn tới phát sinh rung động trong quá trình làm việc, giảm hiệu suất và hình thành thời gian chết trong quá trình sản xuất.

Quy trình sửa chữa các hư hỏng nhỏ trên bề mặt bánh răng thường tiến hành loại bỏ phần thể tích bị hư hỏng hoặc mài, phay các vết nứt xuất hiện trên bề mặt, sau đó sẽ bổ sung phần kim loại thích hợp để hồi phục hình dáng bánh răng ban đầu. Hiện nay, có rất nhiều phương pháp kỹ thuật được sử dụng để bù đắp vật liệu bị hao mòn. Một số nghiên cứu đã áp dụng phương pháp phủ laze để sửa chữa các bánh răng có hình dạng phức tạp [1-6]. Ví dụ, trong nghiên cứu của J.Shi và cộng sự [1] đã sử dụng lớp phủ laze với vật liệu phủ là bột Ni45 lên trên bề mặt bánh răng làm bằng thép C45, trong khi đó Lida và cộng sự [2] sử dụng bột thép H13 lên cùng vật liệu nền và cả hai đều cho kết quả tốt. Tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi thiết bị đắt tiền và giá thành sản phẩm khá cao. Đối với các chi tiết không quan trọng hoặc sửa chữa tạm thời, công nghệ hàn hồ quang là phương pháp phổ biến nhất được sử dụng hiện nay nhằm giảm giá thành sản xuất. Để đảm bảo được liên kết hàn đạt chất lượng tốt nhất thì cần phải kiểm soát thông số công nghệ hàn từ giai đoạn chuẩn bị đến giai đoạn xử lý nhiệt. Trong đó, cần tránh sự xuất hiện vết nứt do môi hoặc ảnh hưởng của nguồn nhiệt cung cấp cũng như tốc độ nguội trong suốt quá trình hàn. Hai yếu tố này khi tác động vào mối hàn thì không chỉ ảnh hưởng tới hình dáng của mối hàn mà còn tác động tới sự thay đổi tổ chức và tính chất của liên kết hàn. Do đó, để tạo ra chất lượng mối hàn tốt trong quá trình sửa chữa các hư hỏng bề mặt thì cần kiểm soát nguồn nhiệt và sự thay đổi của trường nhiệt độ trong suốt quá trình hàn.

Mục đích nghiên cứu trong bài báo này sẽ tính toán năng lượng đường, sự phân bố nhiệt độ, tốc độ nguội trong quá trình hàn đắp ứng dụng trong sửa chữa các chi tiết bánh răng, đồng thời đưa ra mối quan hệ giữa năng lượng đường tới sự hình thành hình dạng, tổ chức và cơ tính của mối hàn.

2. Phân tích nguyên nhân dẫn tới hư hỏng của bánh răng

Việc tìm hiểu nguyên nhân dẫn tới hư hỏng có một vai trò quan trọng khi lựa chọn phương án sửa chữa phù hợp. Trên thực tế, các dạng hư hỏng của bánh răng được chia thành ba nhóm: Hư hỏng nghiêm trọng, hư hỏng trong quá trình sản xuất và hư hỏng trong quá trình vận hành [7]. Nguyên nhân chính gây ra hư hỏng nghiêm trọng là do thiết kế bị lỗi, quá tải, chọn sai vật liệu hoặc quy trình xử lý vật liệu không đúng. Nguyên nhân chính gây ra hư hỏng trong quá trình sản xuất chủ yếu là do sử dụng quy trình sản xuất không phù hợp hoặc không tuân thủ các thông số kỹ thuật thiết kế. Cuối cùng, dạng hư hỏng xảy ra trong quá trình vận hành phải kể đến tác động của môi trường làm việc bất lợi như phản ứng hóa học, kiểm soát mạnh, axit hoặc khí, độ ẩm cao, nhiệt độ cao và tác động của tải va đập. Dưới tác động của môi trường, bề mặt của bánh răng dễ bị oxy hóa, ăn mòn hoặc hao mòn bề mặt, nếu xử lý sai có thể xuất hiện các vết nứt gây ra các hỏng hóc sớm cho bánh răng. Bên cạnh đó, trong quá trình bánh răng làm việc, một số loại vật liệu nóng chảy còn bám dính vào bề mặt, làm thay đổi kích thước và giảm chất lượng bề mặt. Biểu đồ xương cá trong Hình 1 đưa ra cái nhìn tổng quan về các yếu tố tác động tới hiệu suất làm việc và gây hư hỏng bánh răng.

Từ Hình 1 cho thấy, có rất nhiều nguyên nhân dẫn tới hư hỏng bánh răng, cụ thể gồm bốn nhóm chính như chọn sai vật liệu, thiết kế không tối ưu, tính toán không phù hợp và vận hành hoặc sửa chữa sai. Khi xét tác động của quá trình sửa chữa, việc lựa chọn hoặc áp dụng sai quy trình cũng sẽ làm giảm

khả năng làm việc hoặc gây hư hỏng nặng hơn cho bánh răng. Trong nghiên cứu này chỉ tập trung xét ảnh hưởng một yếu tố là nguồn nhiệt trong quy trình công nghệ hàn sửa chữa bánh răng.

3. Năng lượng đường và tốc độ nguội trong quá trình hàn đắp

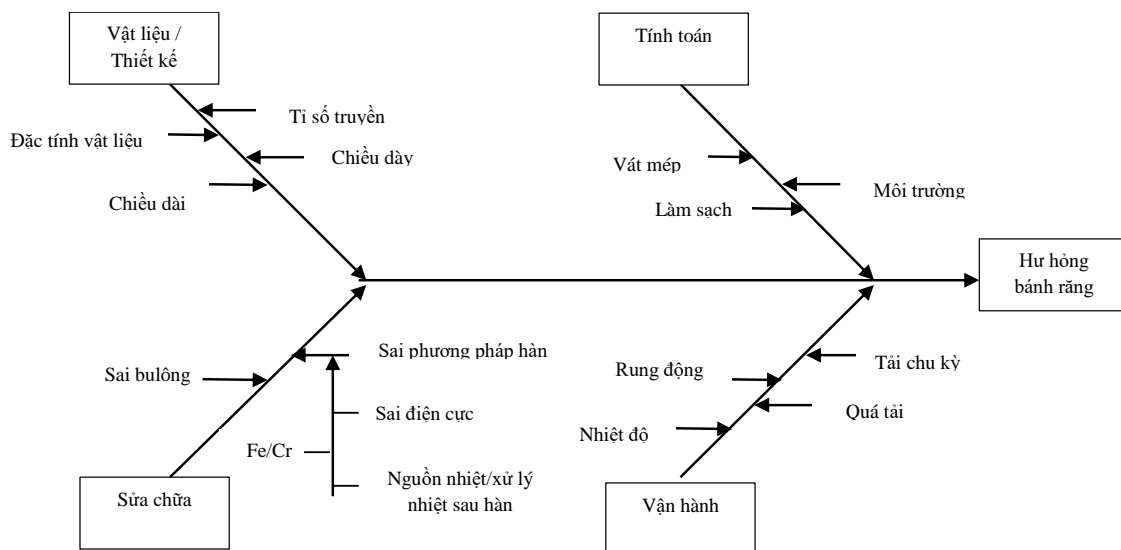
Sự phân bố nhiệt độ trong khi hàn và tốc độ nguội là hai yếu tố chính dẫn tới sự thay đổi tổ chức trong vật liệu, qua đó tác động trực tiếp tới tính chất của mối hàn. Bên cạnh đó, sự thay đổi nhiệt độ tại vị trí hàn và vùng xung quanh là nguyên nhân làm xuất hiện ứng suất dư. Do đó, các nghiên cứu về trường nhiệt độ chiếm vai trò quan trọng trong việc kiểm soát tổ chức hình thành và đưa ra biện pháp xử lý nhiệt sau hàn.

Đại lượng đặc trưng cho nguồn nhiệt cung cấp vào vật liệu là năng lượng đường (q_d) được xác định theo công thức sau:

$$q_d = Q/v = UI\eta/v \text{ [J/m]} \quad (1)$$

Trong đó: U : Là hiệu điện thế (V); I : Là cường độ dòng điện (A); v : Là tốc độ hàn (m/s); η : Là hệ số hiệu suất.

Năng lượng đường tỷ lệ thuận với cường độ dòng điện, hiệu điện thế và tỷ lệ nghịch với tốc độ hàn. Theo một số nghiên cứu cho thấy [8-11], khi năng lượng đường tăng, hình dáng của vũng hàn sẽ bị kéo dài hơn, chuyển từ dạng elip sang dạng giọt nước và sự thay đổi hình dáng này cũng khác nhau đối với từng loại vật liệu. Mặt khác, dưới tác dụng của nhiệt độ, vùng kim loại mối hàn được chia thành ba vùng: vùng nóng chảy, vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ) và vùng kim loại nền. Sự phân chia các vùng dựa trên



Hình 1. Biểu đồ xương cá biểu diễn các yếu tố tác động tới hư hỏng của bánh răng [7]

nhệt độ lớn nhất tại thời điểm nung nóng. Nhiệt độ tối đa là nhiệt độ lớn nhất mà một vị trí trên vùng hàn nhận được trong suốt quá trình hàn. Theo Rodenthal và một số nghiên cứu khác [12, 13], nhiệt độ tối đa được xác định theo công thức sau:

$$T_p - T_0 = \left(\frac{2}{\pi e} \right)^{1/2} \frac{q/v}{d\rho c 2r} \quad (2)$$

Trong đó: T_p : Nhiệt độ lớn nhất tại vị trí đang xét ($^{\circ}\text{C}$); T_0 : Nhiệt độ của phôi trước khi hàn ($^{\circ}\text{C}$); q : Công suất nhiệt hiệu dụng của nguồn hồ quang (J); v : Tốc độ hàn (m/s); d : Chiều dày của phôi (m); ρ : Khối lượng riêng (kg/m^3); c : Nhiệt dung riêng ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$); r : Là khoảng cách bán kính tính từ tâm.

Bên cạnh ảnh hưởng của năng lượng đường và nhiệt độ tối đa, tốc độ nguội cũng chiếm vai trò quan trọng trong tổ chức hình thành sau cùng của mối hàn. Tốc độ nguội là đại lượng đặc trưng cho sự giảm nhiệt độ tính trong một đơn vị thời gian. Theo [8], công thức tính tốc độ nguội được xác định như sau:

$$\frac{dT}{dt} = 2\pi\lambda\rho c \left(\frac{d}{q/v} \right)^2 (T_p - T_0)^3 \quad (3)$$

Thực tế, khi tăng tốc độ nguội sẽ làm tăng độ cứng và giảm độ dẻo dai, độ va đập của thép [12, 14, 15]. Tùy thuộc vào hàm lượng cacbon trong thép, khi tốc độ nguội thay đổi thì tổ chức thu được trong mối hàn thay đổi từ mactenxit, bainit trên và ferit hình kim. Ví dụ, khi nguội trong nước muối, tốc độ nguội lớn, tổ chức đạt được là mactenxit; ngược lại khi làm nguội trong không khí tổ chức đạt được chủ yếu là ferit. Tốc độ nguội còn làm thay đổi hàm lượng pha bainit hình thành trong thép.

4. Phương pháp thực nghiệm

Các mẫu dạng tấm có kích thước 200x200x5mm với thành phần như trong Bảng 1 được dùng để thay thế cho vật liệu làm bánh răng. Bề mặt mẫu được mài và làm sạch giúp loại bỏ hoàn toàn các tạp chất. Để thực hiện quá trình hàn đắp, các mẫu sẽ được hàn bằng quy trình hàn hồ quang tay điện cực không nóng chảy (GTAW) dưới khí bảo vệ argon. Tiến hành thực hiện ba mẫu tương ứng chế độ 1, 2, 3 với cường độ dòng điện thay đổi là 60A, 80A và 100A. Hiệu điện thế không đổi ở 25V và tốc độ hàn là 12cm/ph.

Các mẫu sau khi hàn được cắt nhỏ để soi tổ chức tế vi và đo giới hạn bền kéo. Sau đó, sẽ tiến hành đánh giá ảnh hưởng của năng lượng đường, nhiệt độ và tốc độ nguội tính toán tới sự hình thành tổ chức tế vi và cơ tính mối hàn.

Bảng 1. Thành phần hóa học của kim loại cơ bản (KLCB) và điện cực

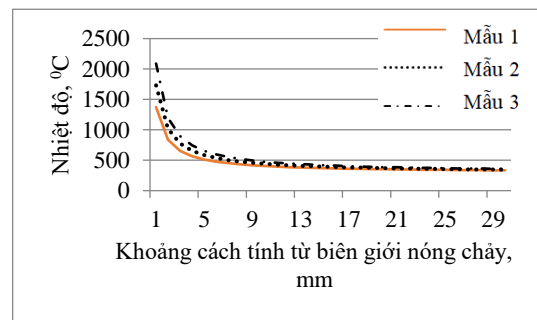
(%)	C	Si	Mn	P	S	Cr
KLCB	0,13	0,30	1,16	0,013	0,004	0,24
Điện cực	0,04	0,19	1,28	0,012	0,003	0,049

5. Kết quả và bàn luận

5.1. Tính toán nhiệt độ và tốc độ nguội trong quá trình hàn đắp

Năng lượng đường ứng với ba chế độ hàn mẫu 1, 2, 3 tương ứng là 6,105J/m, 8,105J/m và 10,105J/m. Nguồn nhiệt tại tâm mối hàn sẽ truyền ra môi trường xung quanh hình thành các vùng có nhiệt độ khác nhau. Hình 2 biểu diễn kết quả tính toán đường nhiệt độ lớn nhất tại các vị trí tính từ tâm mối hàn đến kim loại cơ bản. Nhận thấy, nhiệt độ tại vùng nóng chảy vào khoảng hơn 1500 $^{\circ}\text{C}$ ứng với nhiệt độ nóng chảy của thép. Nếu xét tại cùng một vị trí so với biên giới nóng chảy, khi năng lượng đường càng lớn thì nhiệt độ lớn nhất tại vị trí đó sẽ càng lớn. Cụ thể, ứng với mẫu 1 có năng lượng đường nhỏ nhất, vị trí đạt 500 $^{\circ}\text{C}$ tại điểm cách biên giới nóng chảy 5mm, trong khi ở mẫu 3, vị trí đạt nhiệt độ này là 8mm. Giá trị nhiệt độ lớn nhất tại một vị trí trên vật liệu hàn sẽ quyết định tới sự hình thành pha và kích thước hạt thu được. Nếu nhiệt độ nung vượt quá đường nhiệt độ tới hạn sẽ tạo ra autenit, đặc biệt nhiệt độ càng lớn thì hạt sẽ lớn lên và kết quả là hạt sau khi nguội có kích thước lớn.

Dựa vào đồ thị phân bố nhiệt độ lớn nhất trên Hình 2, bề rộng vùng ảnh hưởng nhiệt của mẫu 1, 2 và 3 tương ứng là 1,77cm, 2,37cm và 2,96cm. Khi năng lượng đường càng lớn, bề rộng vùng ảnh hưởng nhiệt càng lớn.



Hình 2. Sự phân bố nhiệt độ lớn nhất tại vùng ảnh hưởng nhiệt

Kết quả tính toán tốc độ nguội (Bảng 2) tại các vị trí phụ thuộc vào bản chất của vật liệu hàn, điều kiện hàn và nhiệt độ lớn nhất tại đó.

Tại thời điểm bắt đầu hàn, do nhiệt độ cao và vùng xung quanh chưa nóng lên nên tốc độ nguội rất lớn. Lúc này, nhiệt độ tại vị trí gần với vùng nóng chảy sẽ nhanh chóng truyền ra các vị trí xung quanh.

Bảng 2. Tốc độ nguội tại các vị trí khác nhau

Vị trí (mm)	Tốc độ nguội ($^{\circ}\text{C/s}$)					
	5	10	15	20	25	30
Mẫu 1	290	36	11	5,0	2,3	1,3
Mẫu 2	385	48	14	6,0	3,0	1,8
Mẫu 3	480	60	18	7,4	4,0	2,2

Sau khi tấm hàn đã nóng lên thì tốc độ nguội giảm dần và duy trì ở khoảng $1,5^{\circ}\text{C/s}$.

Tốc độ nguội sẽ quyết định tới sự hình thành các pha sau khi hàn. Nếu tốc độ nguội lớn có thể hình thành các pha cứng như mactenxit hoặc bainit. Còn nếu tốc độ nguội nhỏ sẽ tạo ra tổ chức là peclit.

5.2. Ảnh hưởng của năng lượng đường tới hình dáng của mỗi hàn

Xét trong điều kiện hàn với điện thế và tốc độ hàn cố định, nếu cường độ dòng điện tăng, bề rộng mỗi hàn tăng, chiều cao mỗi hàn giảm và ngược lại. Khi tăng cường độ dòng điện, nguồn nhiệt sinh ra tại điện cực lớn làm nung nóng nhanh que hàn và kim loại cơ bản. Lượng kim loại lỏng tạo ra trong một đơn vị thời gian tăng, làm tăng chiều cao và bề rộng mỗi hàn. Tuy nhiên, theo công thức (1), năng lượng đường còn tỉ lệ nghịch với tốc độ hàn. Do đó, để đưa ra được mối liên hệ giữa thông số công nghệ hàn và hình dáng mỗi hàn thì cần xét thêm tác động của tốc độ hàn. Các giá trị về hình dáng kim loại mỗi hàn đo được từ các mẫu tương ứng với chế độ 1, 2, 3 được cho trong Bảng 3.

Bảng 3. Chiều rộng và chiều cao của mỗi hàn

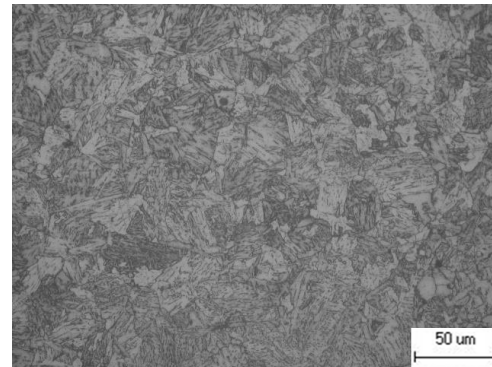
Mẫu hàn	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
Chiều rộng mỗi hàn a (mm)	9,0	11,5	17,0
Chiều cao mỗi hàn h (mm)	2,5	1,8	0,8

5.3. Ảnh hưởng của năng lượng đường tới tổ chức tế vi

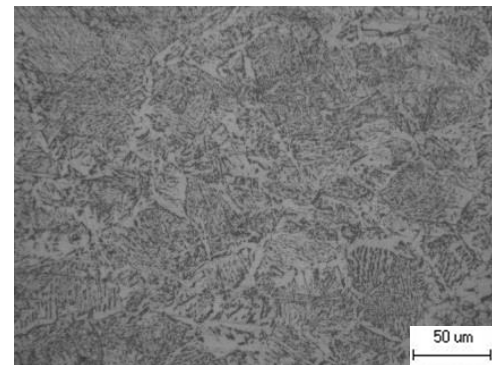
Vùng ảnh nhiệt của mỗi hàn chịu ảnh hưởng mạnh của năng lượng đường. Trên Hình 3 biểu diễn hình ảnh tổ chức tế vi ở cùng một vị trí so với đường biên giới nóng chảy. Trong cả ba trường hợp, tổ chức pha hình thành trên vùng ảnh hưởng

nhiệt đều là ferit (màu trắng) và peclit (màu đen) và có thể xuất hiện mactenxit hoặc bainit. Tuy nhiên, điểm nhận thấy rõ ràng là kích thước hạt có sự thay đổi rõ rệt ở ba chế độ. Khi năng lượng đường tăng, kích thước các hạt lớn hơn, đồng thời các tâm trong peclit thô hơn.

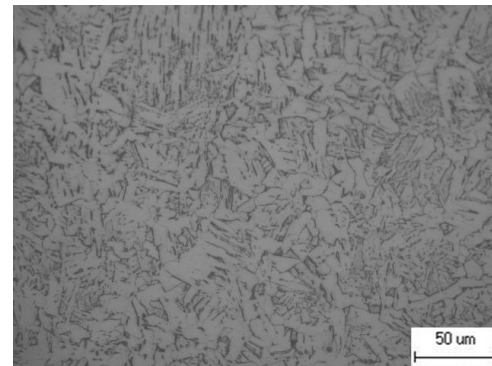
Như đã phân tích ở trên, khi xét tại cùng một vị trí, năng lượng đường càng lớn thì nhiệt độ lớn nhất tại vị trí đó cũng sẽ tăng. Việc nâng cao nhiệt độ khi nung tương ứng thời gian nguội tại đó sẽ dài hơn và điều này tạo điều kiện cho các hạt lớn lên. Đây là một trong các nguyên nhân ảnh hưởng tới cơ tính của mỗi hàn.



a. Mẫu 1

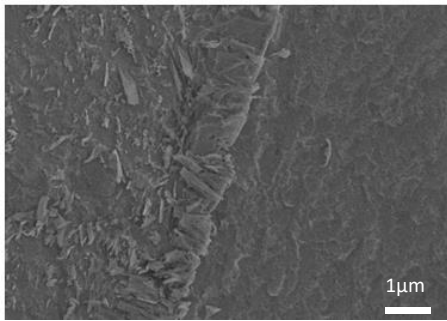


b. Mẫu 2

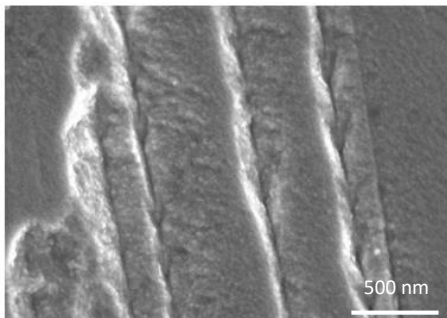


c. Mẫu 3

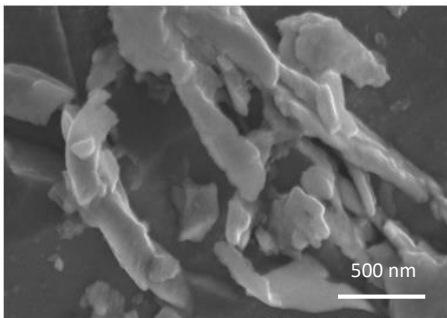
Hình 3. Sự thay đổi độ hạt tại vị trí cách biên giới nóng chảy 2mm thuộc vùng ảnh hưởng nhiệt



a. Sự hình thành mactenxite ở biên giới nóng chảy



b. Pha mactenxite



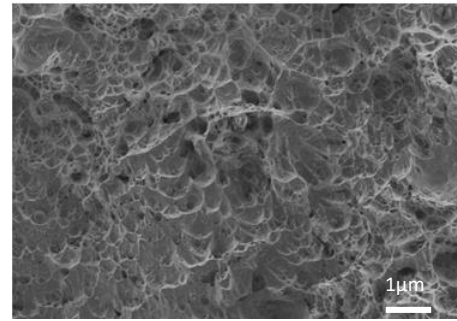
c. Pha bainit

Hình 4. Hình ảnh SEM các pha mactenxite và bainit trong vùng ảnh hưởng nhiệt (Mẫu 2)

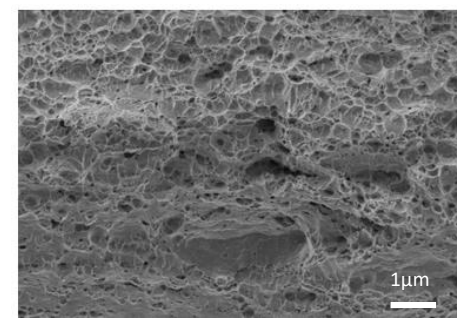
Để phân tích rõ hơn sự hình thành các pha trong vùng ảnh hưởng nhiệt cần phải phân tích sâu hơn bằng SEM. Hình 4 chỉ ra hình ảnh của các pha Mactenxite hoặc Bainit xuất hiện trong tổ chức của vùng ảnh hưởng nhiệt ở mức độ phóng đại cao hơn.

5.4. Ảnh hưởng của năng lượng đường tới cơ tính của mỗi hàn

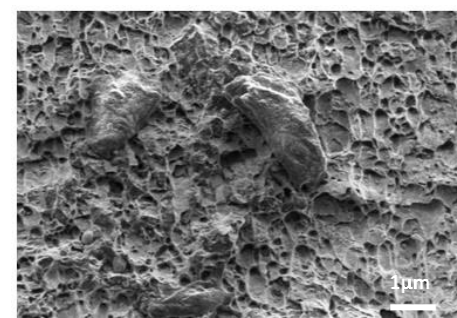
Để nghiên cứu ảnh hưởng của năng lượng đường tới độ cứng tế vi, tiến hành đo độ cứng tại ba vị trí: vùng kim loại mối hàn, vùng ảnh hưởng nhiệt và vùng kim loại cơ bản (Bảng 4). Nhìn chung độ cứng giữa các vùng trong cùng một mẫu không có sự chênh lệch. Tuy nhiên, khi so sánh giữa các mẫu, mẫu 3 có độ cứng cao hơn so với các mẫu còn lại. Điều này cho thấy khi kích thước hạt tăng sẽ làm tăng mạnh độ cứng tại các vùng.



a. Mẫu 1



b. Mẫu 2



c. Mẫu 3

Hình 5. Ảnh SEM bề mặt mẫu bị phá hủy sau khi thử kéo

Từ kết quả thử kéo cho thấy, khi năng lượng đường tăng, giới hạn bền kéo của kim loại mối hàn cũng tăng. Mẫu 3 đạt được giới hạn bền kéo lớn nhất (589N/mm²) và mẫu 1 có giá trị nhỏ nhất (280N/mm²).

Bảng 4. Giá trị độ cứng kim loại mối hàn khi năng lượng đường thay đổi

Mẫu	Mối hàn	Biên giới	Vùng HAZ thép cacbon (µm)				
			200	400	600	900	1200
Mẫu 1 (HV)	188	176	169	172	163	154	160
Mẫu 2 (HV)	165	194	151	167	165	180	182
Mẫu 3 (HV)	234	255	208	214	228	217	207

Hình 5 biểu diễn ảnh SEM tại bề mặt các mẫu sau khi kéo. Cả ba mẫu đều có vị trí phá hủy tại vùng ảnh hưởng nhiệt của mối hàn. Bề mặt phá hủy có dạng gãy khúc, bề mặt thô. Khi so sánh vị trí phá hủy khi thử kéo so với tổ chức tế vi thì vùng này tương ứng với vùng ảnh hưởng nhiệt có tốc độ nguội cao, tổ chức hình thành tương ứng với các pha cứng như mactenxit hay bainít.

6. Kết luận

Ảnh hưởng của năng lượng đường tới hình dáng, tổ chức và tính chất mối hàn đắp tổng kết lại dưới đây:

1. Hình dáng của kim loại mối hàn phụ thuộc vào cường độ dòng điện. Khi cường độ dòng điện tăng sẽ làm tăng bề rộng và chiều cao của mối hàn.

2. Năng lượng đường tăng sẽ làm mở rộng bề rộng và kích thước hạt trong vùng ảnh hưởng nhiệt.

3. Cơ tính của kim loại mối hàn chịu ảnh hưởng của năng lượng đường. Độ cứng, độ bền của mối hàn tăng khi tăng năng lượng đường.

Chế độ hàn đưa ra ở đây chỉ phù hợp khi sửa chữa trên bề mặt phẳng bánh răng. Mặt khác, cần phải có các nghiên cứu về chế độ xử lý nhiệt sau khi hàn để mang lại chất lượng mối hàn tốt nhất.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT21-22.91**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Shi, J., & Bai, S. Q. *Research on gear repairing technology by laser cladding*. In Key Engineering Materials (Vol.546, pp.40-44). Trans Tech Publications Ltd, 2013.
- [2] Zhu, L., Wang, S., Pan, H., Yuan, C., & Chen, X. *Research on remanufacturing strategy for 45 steel gear using H13 steel powder based on laser cladding technology*. Journal of Manufacturing Processes, Vol.49, pp.344-354, 2020.
- [3] ALAM, N. *Laser repair: new application for reducing repair costs*. Materials world, Vol.10(12), pp.32-33, 2002.
- [4] Wu, G. *The scanning techniques and technology for gear laser harden*. Applied Laser-Shanghai-, Vol.18, pp.151-154, 1998.
- [5] Nikam, S. H., & Jain, N. K. *Laser-based repair of damaged dies, molds, and gears*. In Advanced Manufacturing Technologies (pp.137-159). Springer, Cham, 2017.

- [6] Capello, E., & Previtali, B. *The influence of operator skills, process parameters and materials on clad shape in repair using laser cladding by wire*. Journal of Materials Processing Technology, Vol.174(1-3), pp.223-232, 2006.
- [7] Saracoglu, G., & Yapici, A. *Fatigue analysis of girth gear of a rotary dryer*. Engineering Failure Analysis, Vol.68, pp.187-196, 2016.
- [8] Lundin, C., C. Chou, and C. Sullivan. *Hot cracking resistance of austenitic stainless steel weld metals*. Weld. J, Vol.59(8): pp.226-232, 1980.
- [9] Kou, S. *Welding metallurgy*. New Jersey, USA, pp.431-446, 2003.
- [10] Shen, S., Oguocha, I. N. A., & Yannacopoulos, S. *Effect of heat input on weld bead geometry of submerged arc welded ASTM A709 Grade 50 steel joints*. Journal of Materials Processing Technology, Vol.212(1), pp.286-294, 2012.
- [11] Saha, M. K., Hazra, R., Mondal, A., & Das, S. *Effect of heat input on geometry of austenitic stainless steel weld bead on low carbon steel*. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, Vol.100(4), pp.607-615, 2019.
- [12] Tnunes, A, *An extended Rosenthal weld model*. Welding journal. Vol.62(6): pp.165-170, 1983.
- [13] Sharma, N.Y., et al. *A Computational fluid dynamic study on transient thermal characteristics of two-phase gas metal arc welding process*. International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering. Vol.3(2): pp.27-34, 2014.
- [14] Aweda, E., et al. *Effects of Continuous Cooling on Hardness and Microstructural Properties of Low Carbon Steel Welded Plate*. Novi Sad, Vol.16(2), 2013.
- [15] Rrya, H., K. Singh, and S. Singh. *Cooling rate effect on microhardness for SAW welded mild steel plate*. Int. J. Theor. Appl. Res. Mech. Eng. (IJTARME), Vol.2(2): p.71-77, 2013.

Ngày nhận bài:	17/01/2022
Ngày nhận bản sửa:	08/02/2022
Ngày duyệt đăng:	20/02/2022