

## Ảnh hưởng của chế độ hàn hồ quang đến lớp hàn đắp bằng điện cực EFeCr-A1 trên nền thép không gỉ austenite

Effect of the Arc Welding Parameters on the Built-Up Layer by EFeCr-A1 Electrode on Austenitic Stainless Steel

Vũ Đình Toại\*

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội - Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội  
Đến Tòa soạn: 10-7-2018; chấp nhận đăng: 20-3-2019

### Tóm tắt

Hàn đắp tạo bề mặt cứng chống mài mòn cho các chi tiết máy bằng thép không gỉ austenite trong các nhà máy hóa chất là một giải pháp hữu ích giúp tăng tuổi thọ của chi tiết máy và giảm chi phí vận hành thiết bị. Bài báo này nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ hàn (năng lượng đường) SMAW đến chất lượng của lớp hàn đắp bằng điện cực EFeCr-A1 trên nền thép không gỉ SUS304 để thông qua đó chọn được chế độ hàn hợp lý. Nghiên cứu chỉ ra rằng khi hàn đắp que hàn EFeCr-A1 đường kính  $\phi=3,2\text{mm}$  thì năng lượng đường phù hợp là  $q=1056,52\text{ J/mm}$ . Ở chế độ này, độ cứng của pha cacbit trong lớp đắp đạt 672 HV (tương đương 59 HRC). Nếu hàn với năng lượng đường  $q\leq 940,97\text{ J/mm}$  thì sẽ không hình thành được lớp đắp, còn nếu hàn với năng lượng đường  $q\geq 1207,50\text{ J/mm}$  thì kim loại cơ bản sẽ hòa tan vào lớp đắp quá nhiều làm cho độ cứng của lớp đắp không cao.

Từ khóa: Hàn đắp, Thép không gỉ austenite, Năng lượng đường, Chế độ hàn.

### Abstract

Hardfacing of the details by austenitic stainless steel in chemical plants is a useful solution to increase the working life of details and reduce the operating costs of the equipment. This paper investigates the effect of the SMAW welding parameters (heat input) on the quality of the built-up layer by EFeCr-A1 welding electrode on SUS304 stainless steel, through which the suitable welding parameter is selected. Research has shown that when welding the EFeCr-A1 welding electrode with a diameter of  $\phi=3.2\text{mm}$ , the suitable heat input is  $q=1056.52\text{ J/mm}$ . With these parameters, the hardness of the carbide phase in the weld metal is 672 HV (equivalent to 59 HRC). If welding with a heat input of  $q\leq 940.97\text{ J/mm}$ , the weld bead will not be formed, and if welding with a heat input of  $q\geq 1207.50\text{ J/mm}$  then the base metal will dissolve too much into the built-up layers, therefore the hardness of the hard surface layer is not high.

Keywords: Hardfacing, Austenitic stainless steel, Heat input, Welding parameters.

### 1. Giới thiệu

Thép không gỉ austenite được sử dụng chủ yếu trong các nhà máy hóa chất, phân bón, được phẩm nhờ đặc tính chống gỉ tốt của nó. Tuy nhiên do độ cứng không cao ( $<200\text{ HV}$ ) nên các chi tiết máy trong các thiết bị động thường bị mài mòn rất nhanh, làm giảm tuổi thọ và tăng chi phí vận hành. Do vậy việc nghiên cứu giải pháp tạo lớp phủ cứng chịu mài mòn cho các chi tiết máy như băng tải, con lăn, cánh khuấy, lưỡi trộn, gàu xúc,... từ thép không gỉ austenite có ý nghĩa thực tiễn cao. Trong số các phương pháp tạo lớp phủ cứng chịu mài mòn thì hàn đắp có ưu thế vượt trội vì nó tạo được lớp đắp dày, liên kết kim loại bền vững nên lớp đắp sẽ chịu được tải trọng mài mòn lớn.

Hiện nay có nhiều phương pháp hàn đắp như SMAW, SAW, FCAW, PTAW,... [1] nhưng do thiết bị động có tính đa dạng về chủng loại và kích cỡ nên tác giả lựa chọn phương pháp hàn đắp bằng SMAW để có được tính linh hoạt cao nhất (có thể thao tác được trong các vùng không gian hẹp và tư thế khó).

Để hàn đắp thép không gỉ austenite, người ta thường sử dụng 2 loại que hàn hệ Ni-Cr và Co-Cr do khả năng tạo ra liên kết tốt [2, 3] nhưng giá thành của 2 hệ que hàn này rất cao. Với mục tiêu giảm giá thành chế tạo, tác giả nghiên cứu sử dụng que hàn hệ Fe-Cr (dùng để đắp lên thép cacbon [4]) để tạo lớp đắp trên thép không gỉ austenite. Để tìm ra chế độ hàn hợp lý nhất, nghiên cứu này xem xét ảnh hưởng của chế độ hàn đến ngoại dạng, tổ chức tế vi và độ cứng tế vi của

\* Địa chỉ liên hệ: Tel.: (+84) 904053990  
Email: toai.vudinh@hust.edu.vn

lớp đắp từ vật liệu thép giàu cacbit (que hàn hệ Fe-Cr) lên thép không gỉ austenite.

**2. Vật liệu nghiên cứu và thí nghiệm**

Kim loại cơ bản (KLCB) được sử dụng làm thí nghiệm trong nghiên cứu này là thép không gỉ austenite (nhóm thép Cr-Ni), mác SUS304 có thành phần hóa học thể hiện trong bảng 1. Các mẫu thí nghiệm được cắt với kích thước 250x200x5mm.

Theo tiêu chuẩn về vật liệu hàn đắp của Hiệp hội hàn Mỹ (tiêu chuẩn AWS A5.13), có rất nhiều hệ que hàn đắp SMAW như Fe-W, Fe-Mn, Co-Cr, Ni-Cr, Fe-Cr,... nhằm đáp ứng các ứng dụng khác nhau. Do nền thép nghiên cứu có tổ chức là austenite cho nên để tạo được liên kết kim loại thuận lợi [4] tác giả lựa chọn điện cực là loại EFeCr-A1 có cấu trúc gồm các hạt cacbit crôm thô trên nền austenite.

**Bảng 1.** Thành phần hóa học của thép SUS304 (%) [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni
≤0,08	≤ 1,0	≤ 2,0	18 ~ 20	8 ~ 10,5

Mác thương mại của điện cực được lựa chọn là Philhard 711 (hãng PhilArc) – tương đương que hàn OK 84.78 của hãng ESAB. Que hàn được sử dụng làm thí nghiệm có đường kính φ3,2mm, vỏ bọc thuộc hệ rutil-basic (RB). Ngoài chức năng chính là chịu mài mòn, lớp kim loại đắp từ que hàn Philhard 711 còn có khả năng chống gỉ [6] nên rất phù hợp với mục tiêu nghiên cứu. Thành phần hóa học của lớp đắp bằng que Philhard 711 (theo công bố của nhà sản xuất) được thể hiện trong bảng 2 dưới đây.

**Bảng 2.** Thành phần hóa học của lớp đắp bằng que hàn Philhard 711 (%) [7]

C	Si	Mn	Cr	Fe
3,5	1,0	0,14	35	Còn lại

**Bảng 3.** Chế độ hàn thí nghiệm

Chế độ hàn	$I_h$ [A]	$U_h$ [V]	$V_h$ [mm/s]	$q$ [J/mm]
1	91	23,3	1,75	848,12
2	103	23,1	1,77	940,97
3	116	22,9	1,76	1056,52
4	125	22,8	1,76	1133,52
5	114	23,0	1,21	1516,86
6	114	23,0	1,52	1207,50
7	114	23,0	2,03	904,14
8	114	23,0	2,51	731,24

Các mẫu hàn được tiến hành thí nghiệm trên máy hàn SMAW hiệu GoldSeal 320 DC của hãng Miller – Mỹ. Để đo dòng điện hàn ( $I_h$ ) tác giả sử dụng ampe kim Kyoritsu 2009R AC/DC. Để đo điện áp hàn ( $U_h$ ) tác giả sử dụng vôn kế điện tử DC. Vận tốc hàn ( $V_h$ )

sẽ được xác định bằng cách đo chiều dài đường hàn chia cho thời gian hàn. Kết quả đo đặc các thông số chế độ hàn thực tế được ghi lại trong bảng 3.

Năng lượng đường được xác định bởi công thức

$$q = \eta \frac{U_h \cdot I_h}{V_h} \tag{1}$$

với  $\eta$  là hiệu suất của quá trình hàn (theo tài liệu [8], quá trình hàn SMAW có  $\eta = 0,7$ ).

Để khảo sát ảnh hưởng của chế độ hàn đến chất lượng của lớp đắp khi hàn que φ3,2mm, tác giả thực nghiệm ở 8 chế độ hàn khác nhau (tương ứng với 8 giá trị năng lượng đường khác nhau, bảng 3) với việc thay đổi  $I_h$  (chế độ 1÷4) và thay đổi  $V_h$  (chế độ 5÷8). Ở đây  $U_h$  phụ thuộc vào  $I_h$  thông qua đường đặc tuyến ngoài của máy hàn, sẽ đo thực tế mà không điều chỉnh được.

**3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận**

Tiến hành thí nghiệm hàn đắp que hàn EFeCr-A1 đường kính φ3,2mm lên trên tấm thép không gỉ austenite SUS304 với từng chế độ hàn trong bảng 3, mỗi chế độ hàn thực hiện 5 lần rồi lấy kết quả trung bình ta thu được các kết quả thể hiện trong hình 1 dưới đây.

Ở chế độ hàn 1: Với dòng điện hàn 91 [A] ( $q = 848,12$  [J/mm]) thì hồ quang cháy không ổn định nên mỗi hàn bị ngắt quãng, bề rộng và chiều cao của mỗi hàn không đều. Theo tiêu chuẩn chấp nhận khuyết tật hàn (ISO 5817) thì mỗi hàn này không đạt yêu cầu hay chế độ hàn này không phù hợp.

Ở chế độ hàn 2: Khi hàn với năng lượng đường 940,97 [J/mm] ( $I_h = 103$  [A]) thì mỗi hàn hình thành tốt hơn so với chế độ 1, tuy nhiên do hồ quang chưa thực sự ổn định nên mỗi hàn thu được vẫn bị khuyết tật về hình dáng: bề rộng và chiều cao không đều, có vết lõm trên bề mặt. Theo ISO 5817 thì mỗi hàn này cũng không đạt yêu cầu – tức là chế độ hàn 2 cũng không phù hợp.

Với chế độ hàn 3: Khi hàn que Philhard 711 φ3,2mm với dòng điện 116 [A] ( $q = 1056,52$  [J/mm]) thì hồ quang ổn định, mỗi hàn có bề rộng và chiều cao đều. Theo ISO 5817 thì mỗi hàn này đáp ứng tiêu chuẩn về ngoại dạng nghĩa là chế độ hàn 3 đạt yêu cầu về ngoại dạng.

Khi hàn ở chế độ 4: Năng lượng đường ở mức 1133,52 [J/mm] ( $I_h = 125$  [A]) thì hồ quang vẫn ổn định; bề rộng và chiều cao mỗi hàn khá đều. Theo tiêu chuẩn ISO 5817 thì mỗi hàn này cũng được chấp nhận về ngoại dạng (chế độ hàn 4 đạt yêu cầu ngoại dạng).

Khi hàn ở chế độ 5: Dòng điện tuy nhỏ xấp xỉ với chế độ 3 ( $I_h = 114$  [A]), nhưng do tốc độ hàn nhỏ (1,21 [mm/s]) nên năng lượng đường khá lớn ( $q = 1516,86$

[J/mm]). Ở chế độ này hồ quang vẫn cháy ổn định và êm, mỗi hàn thu được có bề rộng đều. Chiều cao mỗi hàn đều nhưng lớn hơn các chế độ 3 và 4 do lượng đắp lớn (chế độ hàn 5 cũng đạt yêu cầu về ngoại dạng).

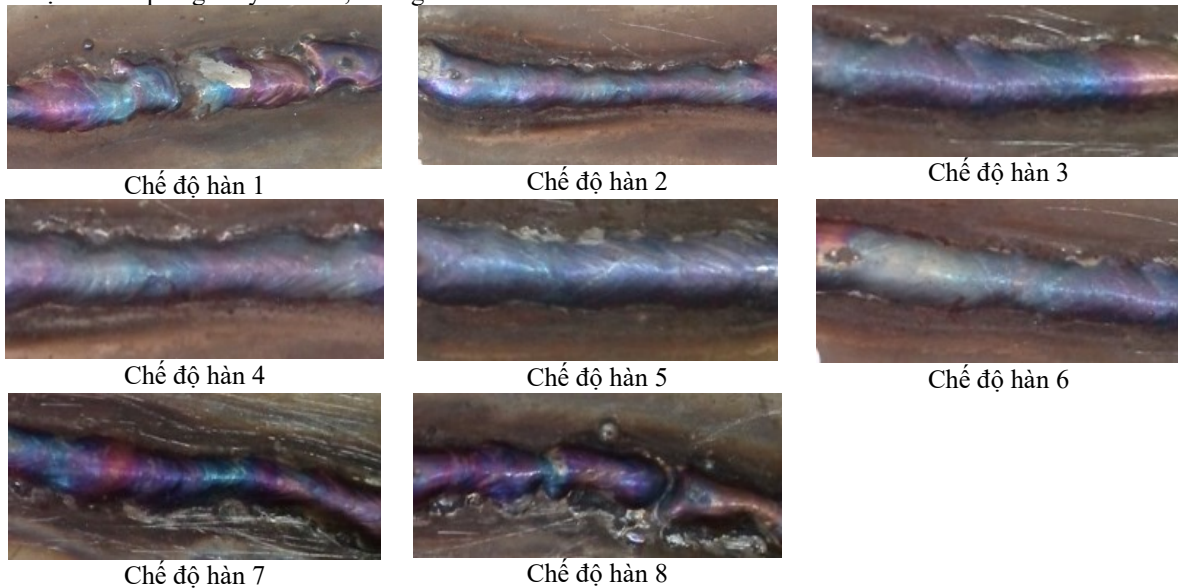
Với chế độ hàn 6: Giữ nguyên dòng điện và điện áp hàn như chế độ hàn 5, nhưng tăng vận tốc hàn lên 1,52 [mm/s] (khi đó  $q = 1207,50$  [J/mm]) thì hồ quang vẫn cháy ổn định, hình dáng mỗi hàn đều nhưng lượng đắp lớn hơn chế độ 3 và 4, nhỏ hơn chế độ 5. Tham chiếu tiêu chuẩn đánh giá ngoại dạng mỗi hàn thì chế độ hàn 6 cũng khả thi.

Khi hàn ở chế độ 7: Cũng giữ nguyên dòng điện và điện áp hàn như các chế độ hàn 5 và 6, nhưng tăng vận tốc hàn lên đến 2,03 [mm/s] ( $q = 904,14$  [J/mm]) thì mặc dù hồ quang cháy vẫn êm, nhưng mỗi hàn hình

thành kém. Kích thước mỗi hàn có xu hướng không đều. Bề rộng thất lại, chiều cao vòng lên. Theo ISO 5817 thì chế độ hàn này không đạt yêu cầu.

Khi hàn ở chế độ 8: Dòng điện và điện áp tương tự các chế độ 5, 6 và 7 nhưng vận tốc hàn được tăng đến 2,51 [mm/s] ( $q = 731,24$  [J/mm]). Ở chế độ này, hồ quang vẫn cháy đều nhưng bắt đầu có tiếng kêu lạ. Đặc biệt là mỗi hàn bị khuyết tật gần giống với chế độ hàn 1. Như vậy chế độ hàn 8 cũng không đạt yêu cầu.

Đánh giá kết quả của 8 chế độ hàn ở trên theo tiêu chuẩn ISO 5817 ta thấy rằng chỉ có 4 chế độ hàn số 3, 4, 5 và 6 là đạt yêu cầu về ngoại dạng. Các chế độ hàn với năng lượng đường  $q \leq 940,97$  J/mm là không phù hợp đối với trường hợp hàn đắp này.



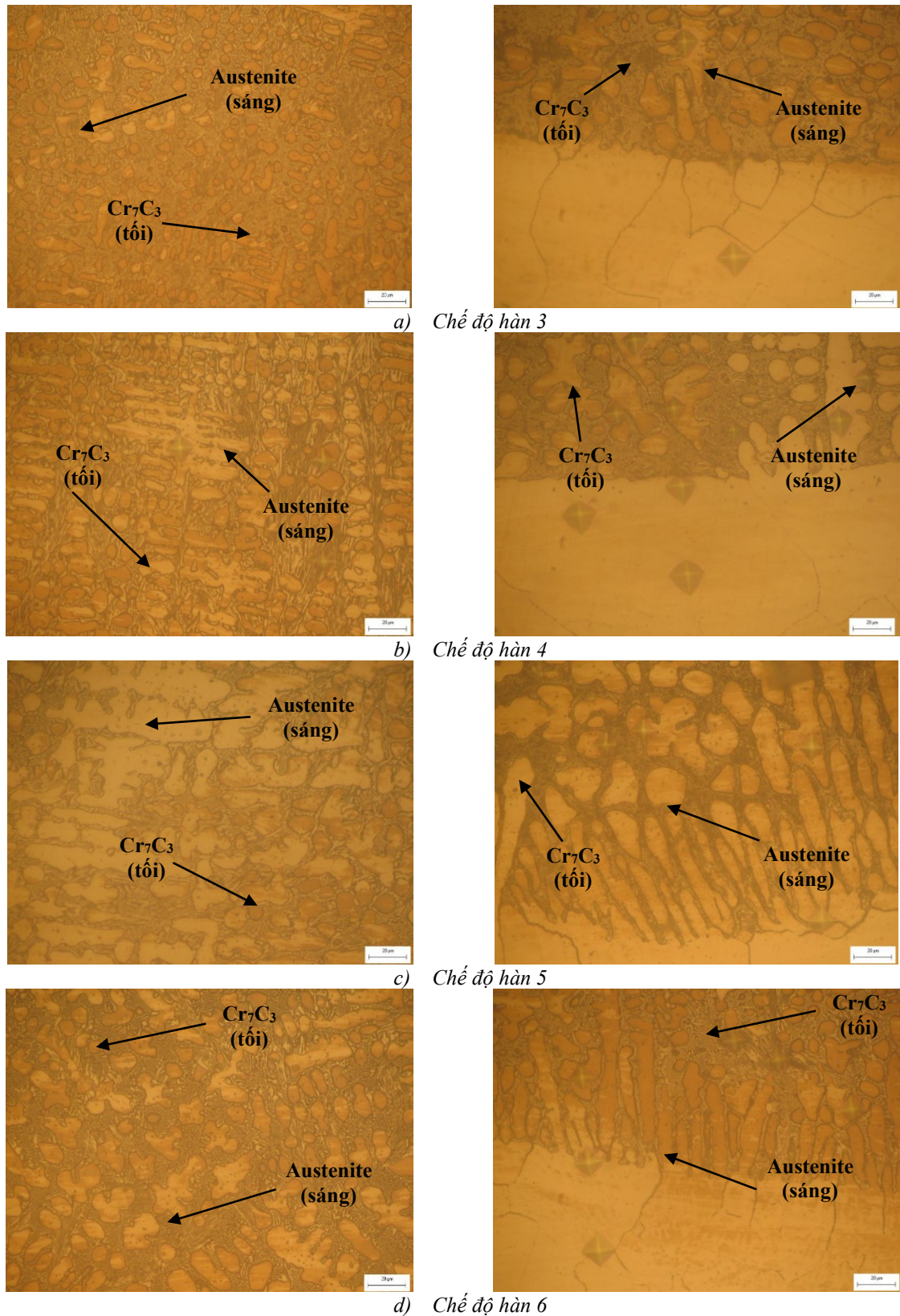
**Hình 1.** Hình dáng lớp hàn đắp bằng điện cực EFeCr-Al trên nền thép SUS304 ở các chế độ hàn khác nhau.

**Bảng 4.** Kết quả đo tỷ lệ các pha trong lớp hàn đắp (%)

Chế độ hàn	3	4	5	6
Pha austenite	37	42	56	47
Pha cacbit Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	63	58	44	53

Đối với 4 mỗi hàn đạt yêu cầu về ngoại dạng (tương ứng với 4 chế độ hàn khả thi) ở hình 1, tiến hành cắt mẫu bằng máy cắt dây, mài phẳng, đánh bóng và tẩm thực rồi soi tổ chức ở độ phóng đại 500 lần trên kính hiển vi quang học Axiovert 25 của hãng Carl Zeiss (Đức) ta thu được các kết quả thể hiện trên hình 2. Các hình ảnh ở cột bên trái là tổ chức tế vi của kim loại lớp đắp bằng que hàn EFeCr-Al trên nền thép SUS304, các hình ảnh ở cột bên phải là tổ chức tế vi của vùng liên kết giữa kim loại đắp và kim loại cơ bản. Sử dụng phần mềm phân tích ảnh Image-Pro Plus của hãng Media Cybernetics (USA) để xác định tỷ lệ các pha trong kim loại lớp đắp ta thu được kết quả thể hiện trong bảng 4.

Từ các kết quả thu được ở bảng 4 và hình 2 ta thấy rằng: Khi hàn ở chế độ 3 thì kim loại lớp đắp có tổ chức 2 pha (hình 2a). Theo tài liệu [4] thì đó là cacbit Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> (màu tối) trên nền austenite (màu sáng) và sở dĩ nền austenite trong kim loại đắp có màu khác (sẫm hơn) so với austenite của KLCB là vì austenite trong kim loại đắp có hàm lượng cacbon cao hơn. Tổ chức cacbit trong kim loại đắp phát triển liên tục liền nhau tạo thành cấu trúc san hô, trong khi nền austenite lấp đầy vào chỗ trống của cấu trúc san hô với hình dáng tròn cạnh (37%). Ở chế độ hàn này mật độ của tổ chức cacbit rất mau thể hiện hàm lượng cacbit lớn (63%). Tại vùng biên giới giữa lớp đắp với KLCB: Liên kết kim loại được tạo thành; không có nứt, rỗ khí hay ngậm xỉ; phân cách hai vùng kim loại đắp và KLCB rõ rệt chứng tỏ lượng KLCB tham gia vào mỗi hàn là rất ít – đây là một tiêu chí quan trọng của liên kết hàn đắp.



**Hình 2.** Tổ chức tế vi của lớp hàn đắp và vết đo độ cứng Vickers ở 4 chế độ hàn có ngoại dạng đạt yêu cầu.  
 A. Tổ chức tế vi vùng lớp đắp (x500)      B. Tổ chức tế vi vùng biên giới lớp đắp và nền (x500)

Ở chế độ hàn 4: Cấu trúc và tổ chức của kim loại đắp tương tự như chế độ hàn số 3. Khác biệt ở đây là số lượng các hạt austenite trong kim loại đắp nhiều hơn (42%) và kích thước to hơn (hình 2b). Điều này thể hiện rằng lượng KLCB tham gia vào mỗi hàn ở chế độ hàn 4 là nhiều hơn so với chế độ hàn 3 – phản ánh đúng với thực tế năng lượng đường của chế độ hàn 4 lớn hơn chế độ hàn 3. Tại vùng biên giới giữa lớp đắp với KLCB: Liên kết kim loại được tạo thành; không có nứt, rỗ khí hay ngậm xỉ; phân cách hai vùng kim loại đắp và KLCB cũng rõ rệt. Xét về cấu trúc lớp đắp thì chế độ hàn này có thể được chấp nhận.

Khi hàn ở chế độ 5: Kim loại đắp cũng có tổ chức 2 pha tương tự như chế độ hàn số 3 và số 4. Tuy nhiên tổ chức cacbit mảnh hơn và nhiều chỗ bị ngắt quãng hay cấu trúc san hô không liên tục (hình 2c). Tại vùng biên giới giữa lớp đắp với KLCB ta thấy rõ lượng KLCB đi chuyển vào kim loại mỗi hàn rất lớn, cho nên không có sự phân định biên giới rõ nét như khi hàn ở các chế độ số 3 và số 4. Ở trường hợp này hàm lượng các hạt austenite trong kim loại đắp nhiều hơn (56%) và kích thước to hơn nên độ cứng của lớp đắp sẽ thấp hơn. Theo yêu cầu của mỗi hàn đắp thì chế độ hàn này là không hợp lý.

Kết quả thu được khi hàn ở chế độ hàn số 6 được thể hiện trên hình 2d. Ở trường hợp này, hàm lượng cacbit trong mỗi hàn tuy có nhiều hơn so với chế độ hàn số 5 nhưng vẫn thấp hơn so với các chế độ hàn 4 và 3. Vùng biên giới giữa lớp đắp với KLCB có sự phân biệt rõ nét hơn so với chế độ hàn 5, nhưng vẫn thể hiện lượng KLCB tham gia vào mỗi hàn tương đối nhiều. So với các chế độ hàn 3 và 4 thì chế độ hàn này vẫn chưa thật hợp lý.

Sử dụng máy đo độ cứng tế vi VH3300 của hãng Wilson để đo độ cứng tại các vùng trong kim loại đắp và KLCB ta thu được kết quả thể hiện trong bảng 5. Kết quả đo chỉ ra rằng thép không gỉ austenite SUS304 có độ cứng rất thấp (khoảng 183 HV), trong khi pha cacbit ở lớp đắp đạt độ cứng đến 672 HV (chế độ hàn 3). Pha austenite trong kim loại đắp có độ cứng lớn hơn độ cứng của KLCB là do chúng có chứa hàm lượng cacbon lớn hơn và hạt mịn hơn bởi chế độ nguội nhanh hơn.

Bảng 5 còn cho thấy rằng kết quả đo độ cứng thực tế tại các vị trí biên giới lớp đắp, pha cacbit, pha nền austenite trong kim loại đắp có sự khác nhau khá nhiều. Nguyên nhân là vì vị trí đâm của mũi đo Vicker không được đặt đúng chính giữa của pha cần đo vì diện tích của nó rất mảnh.

Kết quả đo độ cứng cũng chỉ ra rằng hàn ở chế độ hàn số 3 cho độ cứng của pha cacbit trong lớp đắp cao nhất (đạt 672 HV, tương đương 59 HRC) – điều này cũng phản ánh đúng với kết quả phân tích tổ chức tế vi của mỗi hàn đắp ở hình 2.

**Bảng 5.** Kết quả đo độ cứng tế vi [HV]

Chế độ hàn	3	4	5	6
Kim loại cơ bản	183	185	182	181
Biên giới lớp đắp	293	284	279	273
Pha cacbit (tối)	672	669	620	651
Pha austenite (sáng)	285	287	282	291

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này đã chứng minh rằng hoàn toàn có thể sử dụng que hàn có vỏ bọc thuốc loại EFeCr-A1 để hàn đắp lên trên nền thép không gỉ austenite tạo bề mặt cứng vừa chống ăn mòn, vừa chống mài mòn. Pha cứng của lớp đắp có thể đạt độ cứng đến 672 HV (tương đương 59 HRC).

Ảnh hưởng của chế độ hàn (năng lượng đường) đến tổ chức tế vi và độ cứng của lớp hàn đắp phủ cứng chống mài mòn bằng que hàn EFeCr-A1 là rất lớn. Với que hàn đường kính  $\phi=3,2\text{mm}$ , nếu hàn với năng lượng đường  $q \leq 940,97 \text{ [J/mm]}$  thì sẽ không hình thành được lớp đắp (các chế độ hàn 1, 2, 7 và 8).

Đối với que hàn EFeCr-A1 đường kính  $\phi = 3,2\text{mm}$ , muốn tạo lớp đắp trên thép SUS304 có độ cứng cao nhất thì nên hàn ở năng lượng đường khoảng  $q = 1056,52 \text{ [J/mm]}$  (chế độ hàn 3). Khi hàn với năng lượng đường  $q \geq 1207,50 \text{ [J/mm]}$  (chế độ hàn 6) thì mặc dù tạo được lớp đắp nhưng do lượng KLCB tham gia (hòa tan) vào mỗi hàn quá nhiều, hàm lượng austenite trong lớp đắp quá nhiều dẫn đến độ cứng của lớp đắp không cao hay hiệu quả của giải pháp hàn đắp phủ cứng chống mài mòn thấp.

#### Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã cung cấp tài chính cho đề tài T2016-PC-076 để nghiên cứu này thực hiện thành công.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] J.R. Davis, Davis & Associates (1993) Hardfacing, weld cladding, and dissimilar metal joining, ASM Handbook, Vol. 6, pp. 789-829
- [2] A.K. Bhaduri, Shaju K Albert, Chitta Ranjan Das. Hardfacing of austenitic stainless steel with nickel-base NiCr alloy. International Journal of Microstructure and Materials Properties 6(1). May 2011.
- [3] R. V. Sharples and T. G. Gooch. Effect of Welding Variables on Cracking in Cobalt-Based SMA Hardfacing Deposits. Welding Research Supplement / 195-s. 72<sup>nd</sup> Annual AWS Meeting, held April 14-19, 1991, in Detroit, Mich.
- [4] American Welding Society, Inc. AWS A5.13-80 – Specification for Solid Surfacing Welding Rods and Electrodes, 2501 NW 7th Mami FL 33125, 1980

- [5] Tokushu Kinzoku Excel Co., Ltd. Certificate of austenitic stainless steels, 6F Mejiro Hakubutsukan Bldg., 4-25 Mejiro1-chome, Toshima-ku, Tokyo 171-0031, Japan 2017.
- [6] ESAB Inc. Welding Consumables – Covered Electrodes (SMAW) – Hardfacing Electrodes. <https://www.esabasia.com/asia/en/products/index.cfm>
- [7] PhilArc Co. Welding Electrodes Data Sheets. [http://philarc.com/products.do?item\\_id=36732](http://philarc.com/products.do?item_id=36732)
- [8] Ngô Lê Thông. Công nghệ hàn điện nóng chảy. Tập 1 – Cơ sở lý thuyết. NXB Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội 2007.