

## Công nghệ chế tạo điện cực hàn cho dây chuyền hàn bán tự động xích neo tàu hải quân

Welding Electrode Manufacturing Technology  
for Marine Anchor Chain Flash Butt Welding Machine

**Phùng Tuấn Anh**

Học viện Kỹ thuật Quân sự - 236 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội.  
Đến Tòa soạn: 20-9-2016; chấp nhận đăng: 20-12-2016

### Tóm tắt

Bài báo này tiến hành nghiên cứu thực nghiệm chế tạo các điện cực hàn từ bronze BCuNi3Si (BpKH 1-3) cho dây chuyền hàn tiếp xúc bán tự động xích neo tàu hải quân. Thông qua thực nghiệm các chế độ nấu luyện và nhiệt luyện hợp kim BCuNi3Si đã được xác định. Nhiệt độ đúc được xác định trong khoảng (1170 °C - 1200 °C). Nhiệt độ ủ đồng đều hóa thành phần thỏi đúc khoảng 900±10 °C với thời gian giữ nhiệt 4 h. Nhiệt độ rèn phôi điện cực hàn (750-900) °C. Sau rèn, phôi được ủ kết tinh lại ở nhiệt độ 600±10 °C trong 2 h. Nhiệt luyện kết thúc bao gồm tôi và hóa già, trong đó, nguyên công tôi được thực hiện ở nhiệt độ 850 °C, hóa già ở nhiệt độ 450 °C với thời gian giữ nhiệt 4 h. Khi đó độ cứng của hợp kim đạt 240 HV5, giới hạn bền nhỏ nhất đạt 757,9 MPa, giới hạn chảy nhỏ nhất đạt 559,8 MPa, độ giãn dài tương đối nhỏ nhất đạt 8,5 %, độ dẫn điện nhỏ nhất đạt 35,4 % IACS. Các điện cực hàn đều đạt chất lượng tương đương điện cực hàn nhập khẩu đi kèm theo dây chuyền hàn.

Từ khóa: điện cực hàn, hợp kim BCuNi3Si (BpKH 1-3), cơ tính, độ cứng, độ dẫn điện.

### Abstract

In this paper, a study on manufacturing technology of welding electrodes from CuNi3Si alloy for marine anchor chain flash butt welding machine was reported. Remelting regime and heat treatment are clearly determined through experimental process. Casting temperature was established in the range of (1170-1200) °C. After casting, the alloy was homogenized at temperature 900±10 °C for 4 hours. Forging temperature for casting blank was in the range of (750-900) °C. After forging, the electrode blank was recrystallization annealed at 600±10 °C for 2 hours. Finish heat treatments for electrode blank consisted of solution heat treatment and aging. The solution treatment temperature was set at 850 °C. Optimum aging temperature appeared to be 450 °C and time at this temperature was 4 hours long. Then alloy reached the hardness of 240 HV5, minimum tensile strength of 757.9 MPa, minimum yield strength of 549.8 MPa, elongation at fracture of 8.5 % and minimum electrical conductivity of 35.4 % IACS. Welding electrodes had absolutely equivalent quality in comparison with accompaniment standard ones of butt welding machine.

Keywords: welding electrode, CuNi3Si alloy, mechanical properties, hardness, electrical conductivity.

### 1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây ở Việt Nam, nhu cầu về điện cực hàn cho các máy hàn tiếp xúc của các nhà máy chế tạo ô tô, nhà máy cơ khí ngày càng lớn. Tùy theo nhu cầu sản phẩm mà điện cực hàn có các hình dạng khác nhau. Vật liệu điện cực của các máy hàn tiếp xúc được chế tạo từ các hợp kim đồng bền nhiệt và dẫn điện cao hoặc các hợp kim bột. Thuộc về các hợp kim đồng có thể kể đến như hệ Cu-Ni, Cu-Cr, Cu-Cr-Zr, Cu-Cd, Cu-Be, Cu-Ni-Si [1,2]... Tuy nhiên, hiện nay mặt hàng này chủ yếu được nhập khẩu để phục vụ sản xuất. Đã có một số công trình trong nước nghiên cứu về các hệ hợp kim Cu-Cr, Cu-Cr-Zr.. [3-5], nhưng chưa có công trình nào nghiên cứu về hợp kim hệ Cu-Ni-Si. Đây là hợp kim có độ

bền và độ dẫn điện cao sau nhiệt luyện thích hợp, có thể thay thế cho hợp kim Cu-Be có nhược điểm là nguyên tố berili khá độc mặc dù hợp kim độ bền và độ dẫn điện cũng khá cao [6,7]. Bài báo này sẽ tiến hành nghiên cứu thực nghiệm và chế tạo điện cực hàn từ hợp kim Cu-3,0Ni-1,0Si (BCu3NiSi) cho dây chuyền hàn tiếp xúc bán tự động xích neo tàu hải quân.

### 2. Thực nghiệm

Điện cực hàn của dây chuyền thiết bị hàn tiếp xúc giáp mối xích neo tàu hải quân gồm 4 chi tiết có kích thước ngoài 165x85x50 mm (hình 1), được chế tạo từ hợp kim BpKH 1-3 (theo tiêu chuẩn Nga), tương ứng với bronze BCuNi3Si. Đây là các chi tiết làm việc trong điều kiện khắc nghiệt, nhiệt độ tiếp xúc với chi tiết hàn lên đến (700-900) °C nên đòi hỏi cần có độ dẫn điện cao và độ bền phải đủ cao. Thành phần hóa học của hợp kim BCuNi3Si chế tạo điện

\* Địa chỉ liên hệ: Tel.: 0932.277.676;  
Email: phungtuananhmta@gmail.com

cực hàn được cho trong bảng 1. Cơ tính yêu cầu của sản phẩm điện cực hàn được cho trong bảng 2 [1].



Hình 1. Bộ điện cực hàn xích neo tàu hải quân

Bảng 1. Thành phần hóa học hợp kim BCuNi3Si (BpKH 1-3 theo ГОСТ 18175-78)

Thành phần hóa học, %								
Fe	Si	Mn	Ni	Al	Pb	Zn	Sn	Cu
0,1	0,6-1,1	0,1	2,4-3,4	0,02	0,15	0,1	0,1	Còn lại

Bảng 2. Cơ tính yêu cầu của hợp kim BpKH 1-3 làm điện cực hàn

Độ cứng HV5	$\sigma_{0,2}$ , MPa	$\sigma_b$ , MPa	$\delta$ , %	Độ dẫn điện, % IACS
170-220	-	500-600	6-8	34-38

Bảng 3. Thành phần hóa học trung bình của bề mặt hợp kim nghiên cứu

Zn	Pb	Sn	Fe	Ni	Si	Cr	Al	Ti	Cu
0,10	0,01	0,01	0,05	3,07	1,00	0,01	0,03	0,02	95,7

Quá trình thực nghiệm bắt đầu bằng việc tính toán phối liệu, nấu luyện và đúc thỏi hợp kim BCuNi3Si trong lò nấu điện trở Nabertherm (Đức). Phôi đúc sau khi cắt đầu rút được ủ đồng đều hóa thành phần, sau đó tiến hành rèn nóng và ủ kết tinh lại để chuẩn bị tổ chức cho nghiên cứu xác định chế độ nhiệt luyện kết thúc. Sau nhiệt luyện, tiến hành gia công cơ khí chế tạo hoàn chỉnh bộ điện cực hàn cho thiết bị hàn xích neo tàu hải quân. Phương pháp nghiên cứu chủ yếu gồm đo độ cứng HV5 (được xác định trên máy đo độ cứng Vickers Wilson Wolpert – Trung Quốc), đo độ dẫn điện (được xác định thông qua đo điện trở của mẫu trên thiết bị Megger Digital Microhmmeter DLRO-10 – Anh Quốc) và thử kéo xác định các chỉ tiêu cơ tính (được tiến hành trên máy thử kéo nén vạn năng 60T – Trung Quốc).

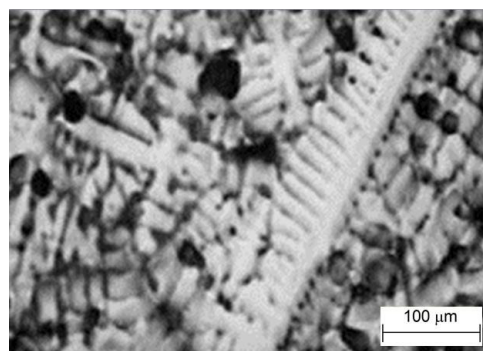
### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Nấu luyện và đúc phối liệu điện cực hàn

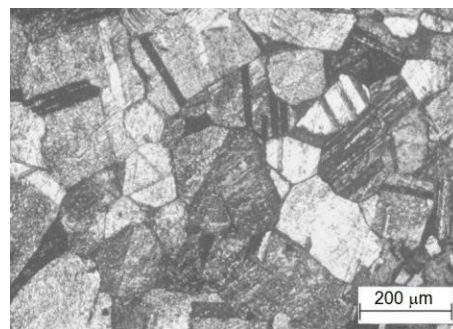
Vật tư nấu luyện bao gồm Cu nguyên chất mác M1 và các hợp kim trung gian CuSi10, CuNi15 có độ sạch cao được nấu luyện trước từ đồng nguyên chất

mác M1 có hàm lượng 99,9 %, niken nguyên chất H-1 có hàm lượng 99,93 %, silic nguyên chất mác Kp00 có hàm lượng 99,0 %. Trong quá trình nấu luyện, trợ dung tạo xỉ bảo vệ và tinh luyện được sử dụng có thành phần [35 % KCl + 25 % criolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) + 28 %  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  + 10 % NaCl + 2 % than gỗ]. Trợ dung sau khi cân theo thành phần phải được nghiền trộn đều và sấy khô ở nhiệt độ 300 °C. Lượng trợ dung được dùng chiếm khoảng 1 % khối lượng mẻ liệu. Than hoa (khoảng 2 % mẻ liệu) được rải lên bề mặt kim loại lỏng trong quá trình nấu luyện để hạn chế lượng không khí xâm nhập vào bên trong kim loại lỏng. Chất tinh luyện khử khí là hợp kim brompho (Cu-P) với hàm lượng P từ (9-15) %. Lượng chất tinh luyện khử khí bằng khoảng (0,1-0,3) % khối lượng mẻ liệu. Nhiệt độ nấu luyện hợp kim được xác định nằm trong khoảng (1170-1200) °C.

Sau khi khử khí đạt yêu cầu, tiến hành vớt xỉ và điều chỉnh nhiệt độ kim loại lỏng ổn định đạt khoảng 1170 °C để chuẩn bị rót khuôn.



Hình 2. Tổ chức tế vi hợp kim BCuNi3Si sau đúc



Hình 3. Tổ chức tế vi hợp kim BCuNi3Si sau ủ đồng nhất

Khuôn kim loại đã được chuẩn bị sẵn và sấy trước đạt nhiệt độ (300-400) °C. Quá trình rót phải rót từ từ để kim loại lỏng điền đầy khuôn và bỏ ngót kịp thời. Do hệ số co ngót của hợp kim khá lớn nên cần rót với tốc độ chậm nhưng liên tục để tránh khuyết tật, giai đoạn cuối tốc độ rót càng chậm càng tốt để đảm bảo đủ lượng kim loại bù ngót, tránh co ngót mạnh tạo lõm co lớn dẫn đến phế phẩm.

Hợp kim nấu luyện được có thành phần hóa học như chỉ ra trong bảng 3, tương đương với hợp kim BpKH 1-3 theo GOCT 18175-78.

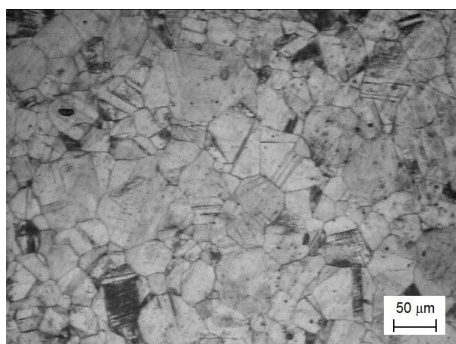
### 3.2. Ủ đồng đều hóa thành phần thỏi đúc

Sau khi rót đúc xong, để phôi đúc nguội dần, sau đó tháo khuôn, cắt đầu ngót và tiến hành ủ đồng đều hóa thành phần. Nhiệt độ ủ đồng đều là  $900 \pm 10$  °C với thời gian giữ nhiệt 4 h, sau đó để nguội theo lò. Tổ chức tế vi sau đúc và sau ủ đồng đều được cho trên hình 2 và hình 3.

### 3.3. Rèn và ủ kết tinh lại phôi điện cực hàn

Phôi sau đúc có kích thước 195x90x55 mm được cắt đầu ngót và chuyển sang rèn tự do theo cả ba chiều nhằm chuẩn bị tổ chức biến dạng cho nguyên công nhiệt luyện kết thúc. Nhiệt độ bắt đầu rèn khoảng 900 °C và nhiệt độ kết thúc rèn không dưới 750 °C. Sau rèn lần 1, phôi có kích thước 167x98x55 mm. Tiếp tục nung nóng trở lại 900 °C và rèn lần 2, kích thước đạt 170x90x59 mm. Nung nóng trở lại 900 °C và rèn lần 3, sau rèn phôi điện cực đạt kích thước 180x90x55 mm.

Sau nguyên công rèn, phôi điện cực hàn bị biến cứng và tồn tại ứng suất dư lớn. Cần tiến hành ủ kết tinh lại để khử ứng suất dư do rèn và tạo tổ chức tốt nhất cho nhiệt luyện kết thúc. Nhiệt độ ủ kết tinh lại là  $600 \pm 10$  °C với thời gian giữ nhiệt là 2 h. Tổ chức tế vi hợp kim sau ủ kết tinh lại được chỉ ra trên hình 4.



**Hình 4.** Tổ chức tế vi hợp kim sau ủ kết tinh lại ở  $600 \pm 10$  °C

### 3.4. Nhiệt luyện kết thúc điện cực hàn

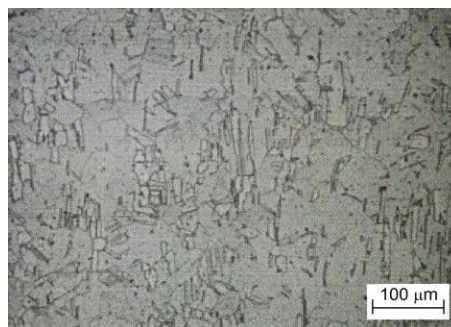
#### 3.4.1. Xác định nhiệt độ tôi

Đối với các hợp kim hệ Cu-Ni-Si, tùy thuộc vào thành phần cụ thể của từng hợp kim mà lựa chọn nhiệt độ tôi thích hợp, tuy nhiên, khoảng nhiệt độ được lựa chọn thường nằm trong khoảng (800-900) °C [8]. Đối với vật liệu chế tạo chi tiết điện cực hàn từ hợp kim BCuNi3Si, để xác định nhiệt độ tôi tối ưu, tiến hành thực nghiệm tôi ở các nhiệt độ 825, 850, 875 và 900 °C trong lò tôi Nabertherm (Đức). Thực nghiệm cho thấy, khi tôi ở nhiệt độ 825 °C, các pha

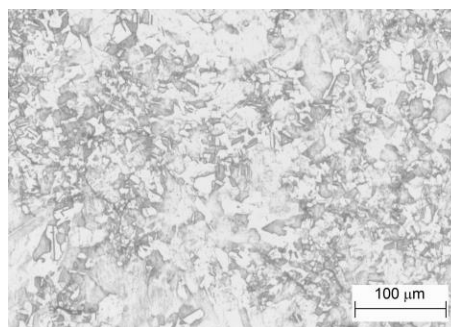
thứ hai hòa tan với mức độ hòa tan khá ít vào pha nền giàu đồng và chưa tạo thành dung dịch rắn quá bão hòa, độ cứng sau tôi khoảng 95 HV5 (hình 5). Khi nung tôi ở nhiệt độ 850 °C, mức độ hòa tan các pha thứ hai tăng lên rõ rệt, độ cứng giảm xuống còn 90,1 HV5 (hình 6), tổ chức một pha khá đồng đều. Tăng nhiệt độ tôi lên 875 và 900 °C, mức độ hòa tan của các pha thứ hai đạt cao nhất, độ cứng của hợp kim giảm xuống còn 85,1 và 79,8 HV5 tương ứng, tuy nhiên các hạt trở nên thô to, ảnh hưởng xấu đến cơ tính sau cùng của sản phẩm. Do vậy, nhiệt độ tôi tốt nhất nên chọn là 850 °C.

#### 3.4.2. Xác định nhiệt độ hóa già

Đối với các hợp kim hệ Cu-Ni-Si, nhiệt độ hóa già thường lựa chọn trong khoảng (400-550) °C [8]. Đối với hợp kim nghiên cứu BCuNi3Si, để xác định nhiệt độ hóa già tối ưu, tiến hành thực nghiệm hóa già ở các nhiệt độ lựa chọn là 425, 450, 475, 525 °C trong lò ram, hóa già Nabertherm (Đức). Các tham số đánh giá chất lượng hóa già bao gồm độ cứng HV5 được đo trên máy đo độ cứng Vickers Wilson Wolpert (Trung Quốc) và độ dẫn điện (% IACS) được đo thông qua thiết bị đo điện trở Megger Digital Microhmmeter DLRO-10 (Anh).

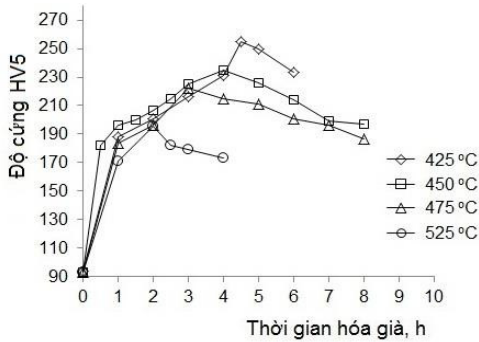


**Hình 5.** Tổ chức tế vi mẫu hợp kim khi tôi ở nhiệt độ 825 °C

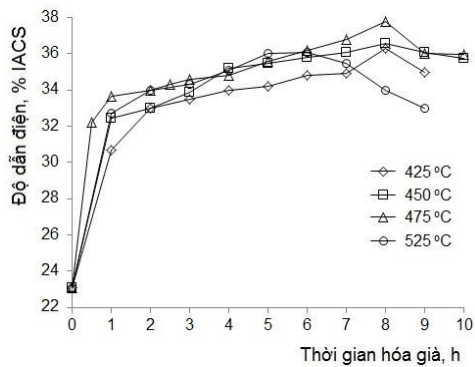


**Hình 6.** Tổ chức tế vi mẫu hợp kim khi tôi ở nhiệt độ 850 °C

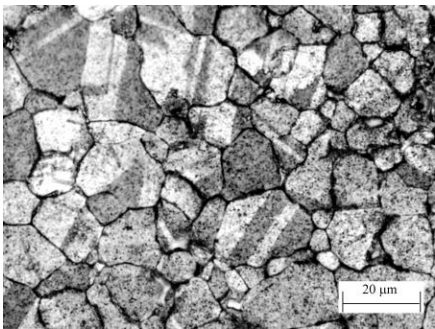
Khi hóa già ở nhiệt độ 425 °C, độ cứng của mẫu hợp kim tăng dần theo thời gian và đạt giá trị cực đại, sau đó giảm xuống, tương ứng với giai đoạn thái bền.



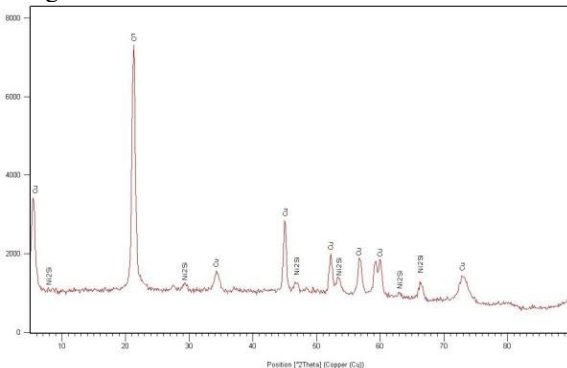
**Hình 7.** Độ cứng của hợp kim sau tôi ở 850 °C và hóa già ở các nhiệt độ khác nhau



**Hình 8.** Độ dẫn điện của hợp kim sau tôi ở 850 °C và hóa già ở các nhiệt độ khác nhau



**Hình 9.** Tổ chức tế vi của hợp kim điện cực hàn khi hóa già ở 450 °C sau 4 h



**Hình 10.** Giảm đồ nhiễu xạ tia X của hợp kim điện cực hàn khi hóa già ở 450 °C sau 4 h

Trên hình 7, giá trị cực đại độ cứng của mẫu đạt 255 HV5 khi hóa già ở 425 °C sau 4,5 h.

Khi hóa già ở các nhiệt độ cao hơn 425 °C, độ cứng của hợp kim vẫn tăng lên theo thời gian và đạt đỉnh cực đại sớm hơn, nhưng giá trị cực đại độ cứng khi hóa già ở nhiệt độ cao đều thấp hơn và giảm dần. Ở nhiệt độ 450 °C, cực đại độ cứng đạt 240 HV5 sau 4 h hóa già, ở 475 °C đạt 221 HV5 sau 3h hóa già. Ở 525 °C, cực đại độ cứng đạt 196 HV5 sau 2 h hóa già.

Sự thay đổi độ dẫn điện của hợp kim sau hóa già ở các nhiệt độ và thời gian khác nhau được chỉ ra trên hình 8. Ở cùng nhiệt độ hóa già, độ dẫn điện tăng lên theo thời gian hóa già và sau khi đạt giá trị cực đại, độ dẫn điện lại giảm xuống. Khi hóa già ở 425 °C, cực đại độ dẫn điện đạt 36,3 % IACS sau 8h hóa già. Ở 450 °C, độ dẫn điện đạt giá trị cực đại 36,7 % IACS sau 6 h hóa già. Độ dẫn điện đạt giá trị cao nhất 37,8 % IACS khi hóa già ở 475 °C sau 8 h hóa già do sự tiết ra pha hóa bền  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Si với số lượng nhiều. Chính điều này làm cho nền đồng trở nên sạch hơn dẫn đến độ dẫn điện của hợp kim tăng lên. Tuy nhiên ở 500 °C và lớn hơn, ngoài các pha  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Si còn có lượng nhỏ pha  $\gamma$ -Ni<sub>5</sub>Si<sub>2</sub> được tiết ra, độ dẫn điện của hợp kim lại giảm xuống [9]. Ở 525 °C độ dẫn điện đạt cực đại 36,1 % IACS sau 6 h hóa già.

Như vậy có thể thấy, độ cứng của hợp kim BCuNi3Si đạt giá trị cao nhất khi hóa già ở 425 °C sau 4,5 h, còn độ dẫn điện đạt giá trị cao nhất khi hóa già ở nhiệt độ 475 °C sau 8 h. Lựa chọn chế độ nhiệt luyện thích hợp cho các chi tiết chế tạo từ hợp kim này sẽ được căn cứ vào điều kiện làm việc cụ thể của chi tiết đó. Khi áp dụng đối với chi tiết điện cực hàn cho dây chuyền hàn xích neo, yêu cầu về tính bền nhiệt được đặt lên cao hơn do điện cực thường xuyên tiếp xúc với chi tiết có nhiệt độ lên đến (700-900) °C, bên cạnh đó tính dẫn điện cũng phải đủ cao, do đó nhiệt độ hóa già lựa chọn tốt nhất là 450 °C với thời gian giữ nhiệt ở nhiệt độ hóa già là 4 h. Khi đó, độ cứng hợp kim đạt 240 HV5, độ dẫn điện tương ứng đạt giá trị 36,5 % IACS.

Tổ chức tế vi và ảnh nhiễu xạ tia X của hợp kim điện cực hàn khi hóa già ở 450 °C sau 4 h được chỉ ra trên hình 9 và 10. Theo [9], khi hóa già ở nhiệt độ (425-475) °C, pha hóa bền tiết pha trong hợp kim BCuNi3Si hoàn toàn là pha  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Si. Phân tích ảnh nhiễu xạ tia X (hình 10) cho thấy, trong tổ chức của hợp kim chỉ thấy xuất hiện pha  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Si, không thấy sự có mặt của các pha  $\epsilon$ -Ni<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> và  $\gamma$ -Ni<sub>5</sub>Si<sub>2</sub>.

Các chỉ tiêu cơ tính và độ dẫn điện của hợp kim BCuNi3Si sau tôi ở 850 °C và hóa già 4 h ở 450 °C được cho trong bảng 4 và đều thỏa mãn yêu cầu đối với điện cực hàn (xem bảng 2) khi thử nghiệm trên thiết bị hàn xích neo tàu hải quân.

**Bảng 4.** Cơ tính và độ dẫn điện của điện cực hàn sau nhiệt luyện

TT	Mẫu	Độ cứng HV5	$\sigma_{0,2}$ , MPa	$\sigma_b$ , MPa	$\delta$ , %	Độ dẫn điện, % IACS
1	M1	231,4	560,4	778,7	8,5	35,4
2	M2	228,0	551,1	765,5	9,2	36,3
3	M3	234,5	549,8	757,9	10,0	36,2
4	M4	240,0	555,1	769,5	9,0	35,7

#### 4. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu thực nghiệm đã nấu luyện được mác vật liệu BCuNi3Si tương đương với mác hợp kim БрKH 1-3 (ГОСТ 18175-78) từ các nguyên vật liệu sẵn có trong nước là Cu nguyên chất, Ni nguyên chất, Si nguyên chất và chế tạo bộ điện cực hàn cho thiết bị hàn xích neo tàu hải quân. Công nghệ chế tạo cụ thể như sau:

- Nhiệt độ đúc: (1770-1200) °C.
- Nhiệt độ ủ đồng đều hóa thành phần: 900 °C.
- Nhiệt độ rèn phôi: 900 °C.
- Nhiệt độ ủ kết tinh lại sau rèn: 600 °C.
- Nhiệt luyện kết thúc bao gồm tôi ở 850 °C và

hóa già ở nhiệt độ 450 °C với thời gian giữ nhiệt 4 h.

Sau nhiệt luyện kết thúc, độ cứng của hợp kim đạt 240 HV5, giới hạn bền (min.) đạt 757,9 MPa, giới hạn chảy (min.) đạt 549,8 MPa, độ giãn dài tương đối (min.) đạt 8,5 %, độ dẫn điện nhỏ nhất đạt 35,4 % IACS.

Điện cực đã được lắp đặt và làm việc liên tục trên dây chuyền hàn tiếp xúc bán tự động xích neo trong một thời gian dài trong điều kiện khắc nghiệt, nhiệt độ tiếp xúc với chi tiết hàn lên đến (700-900) °C mà vẫn chưa thấy hiện tượng hồng hóa, biến dạng hay thái bền. Chất lượng điện cực hàn chế tạo được hoàn toàn tương đương với điện cực hàn nhập khẩu đi kèm theo dây chuyền thiết bị hàn.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Слизберг С. К., Чулошников П. Л. Электроды для контактной сварки. Л.: Машиностроение, 1972.
- [2]. Hongyan Zhang, Jacek Senkara. Resistance Welding: Fundamentals and Applications. CRC Press, Second Edition, 2011.
- [3]. Nguyễn Văn Chiến. Nghiên cứu và sản xuất các loại hợp kim đồng bền nóng để làm bánh xe hàn và cực hàn. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công thương 2004.
- [4]. Phạm Bá Kiên. Nghiên cứu công nghệ sản xuất hợp kim trung gian Cu-Zr-Mg, Cu-Cr bằng phương pháp nhiệt nhôm. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công thương 2006.
- [5]. Phạm Bá Kiên. Dự án sản xuất thử nghiệm điện cực hàn từ hợp kim đồng bền nhiệt hệ Cu-Cr-Zr. Báo cáo tổng kết dự án cấp Bộ Công thương 2009.
- [6]. H. Tsubakino, R. Nozato, A. Yamamoto. Precipitation sequence for simultaneous continuous and discontinuous modes in Cu-Be binary alloys. Materials Science and Technology, Volume 9, Issue 4 (1993), pp. 288-294.
- [7]. Djuric B, Jovanovic M, Drobnjak DJ. A study of precipitation in Cu-Be alloys. Metallography, 13 (1980), pp.235-247.
- [8]. Corson M. G. Electrical conductor alloys [J]. Electrical World, 89 (1927), pp. 137-139.
- [9]. Lu, De-ping, Wang, Jun, Atrens, A., Zou, Xing-quan, Lu, Lei and Sun, Bao-de. Calculation of Cu-rich part of Cu-Ni-Si phase diagram (J). Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 17 (2007), pp. 12-15.