

MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC ĐẦU ĐIỆN CỰC TỚI CHÊNH LỆCH ĐIỆN ÁP HỒ QUANG CỦA QUÁ TRÌNH HÀN HỒ QUANG VONFRAM KHÍ (GTAW)

Phạm Nhất Phương¹, Võ Tuyển^{2*}, Đinh Lê Cao Kỳ²

Đặng Văn Hải², Trịnh Tiến Thọ²

¹Công ty TNHH Sản xuất Thương mại và Dịch vụ Việt Phong, TP.HCM

²Khoa Công nghệ Cơ khí, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: tuyenvo@huit.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/7/2024; Ngày chấp nhận đăng: 13/11/2024

TÓM TẮT

Hàn hồ quang vonfram khí (Gas Tungsten Arc Welding – GTAW) là quá trình linh hoạt ở mọi vị trí, có thể được sử dụng để hàn kim loại và nhiều loại kim loại khác nhau. Trong bài báo này, mô hình toán cho hồ quang hàn trong quá trình GTAW sẽ được giới thiệu, mô hình toán mô tả về sự tương tác giữa bề hàn và nguồn năng lượng trong các hoạt động hàn. Đồng thời, phương pháp mô phỏng được thực hiện để xác định ảnh hưởng của góc côn đầu điện cực vonfram không tiêu hao tới độ chênh lệch điện áp hồ quang. Từ đó làm cơ sở xác định giá trị tối ưu và để mài đầu điện cực nhằm tạo ra hồ quang tốt hơn và ổn định hơn. Mô hình GTAW cho khí argon nguyên chất được mô phỏng cho nhiều góc đầu điện cực. Góc của đầu điện cực thay đổi từ 9° đến 150°. Ngoài ra, các tính toán được thực hiện với chiều dài hồ quang 2,0; 5,0 và 10,0 mm và với dòng điện hàn là 100, 200 và 250 A. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra rằng (1) Chênh lệch điện áp hồ quang tăng nhanh khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 9° đến 30° đối với các dòng điện hàn khác nhau; (2) Chênh lệch điện áp hồ quang đạt giá trị cực đại ở góc 150° đối với dòng điện hàn I = 100 A, đạt giá trị cực đại ở góc 60° đối với dòng điện hàn I = 200 A và I = 250 A; (3) Chênh lệch điện áp hồ quang tăng cùng với sự tăng của chiều dài hồ quang và dòng điện hàn; (4) Khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 9° đến 60°, điện áp hồ quang tăng theo góc đầu điện cực; trên 60°, nó phụ thuộc vào nhiệt độ hồ quang và do đó điện áp hồ quang tăng hoặc giảm.

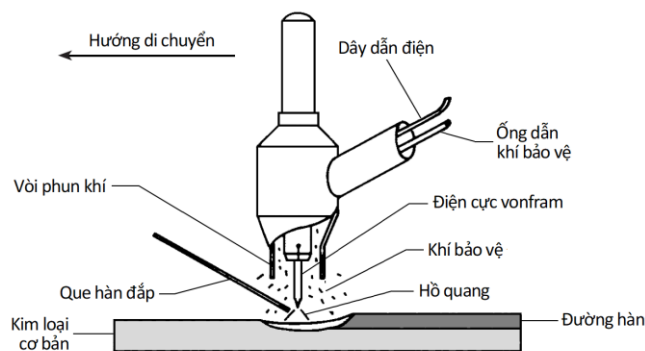
Từ khóa: Mô phỏng, GTAW/TIG, chiều dài hồ quang, dòng điện hàn, góc đầu điện cực, chênh lệch điện áp.

1. GIỚI THIỆU

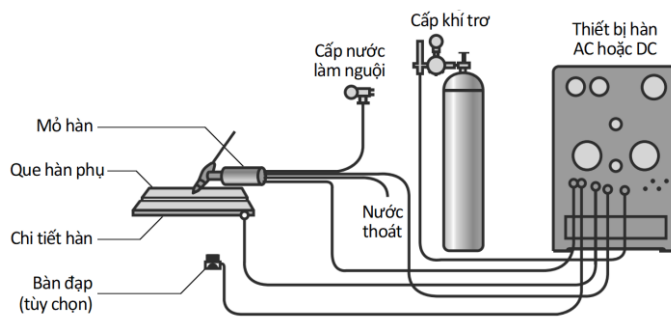
Quá trình hàn hồ quang vonfram khí (Gas Tungsten Arc Welding - GTAW), còn được gọi là hàn khí trơ vonfram (Tungsten Inert Gas - TIG), sử dụng điện cực vonfram không tiêu hao để tạo ra mối hàn [1]. Hồ quang cháy giữa điện cực vonfram không nóng chảy và chi tiết hàn được bảo vệ bởi dòng khí thổi qua mỏ phun, sẽ cung cấp nhiệt làm nóng chảy mép chi tiết, sau đó có hoặc không dùng que đắp tạo nên mối hàn [2]. Hình 1 mô tả quá trình GTAW. Vonfram là vật liệu điện cực tốt do có điểm nóng chảy cao 3410 °C [3]. Khí bảo vệ (thường là khí trơ như argon), bảo vệ khu vực hàn khỏi bị ô nhiễm khí quyển và quá trình này thường sử dụng kim loại phụ, mặc dù một số mối hàn, được gọi là mối hàn tự sinh không yêu cầu kim loại phụ [4, 5].

Bốn thành phần cơ bản chung cho tất cả các thiết lập GTAW là mỏ hàn, điện cực, nguồn điện hàn và khí bảo vệ. Hình 2 thể hiện các thiết bị cho hoạt động GTAW. Nguồn điện hàn có dòng điện không đổi tạo ra năng lượng được truyền qua hồ quang thông qua cột khí và hơi kim loại có độ ion hóa cao được gọi là plasma. Thợ hàn thường sử dụng GTAW để hàn các phần mỏng của thép không gỉ và kim loại màu như nhôm, magie và hợp kim đồng [6]. Với GTAW, mối hàn có thể được thực hiện ở bất kỳ vị trí nào và ứng dụng gần như không giới hạn. Quá trình này có khả năng tạo ra các mối hàn tự sinh đồng nhất có chất lượng vượt trội ở tốc độ cao, không bị bắn tóe và nói chung là có ít khuyết tật. Hầu hết tất cả các kim loại, kể cả các kim loại khác nhau, đều có thể được hàn bằng quá trình GTAW. Quá trình này có thể thực hiện hàn ở mọi vị trí, thợ hàn có thể nhìn thấy rõ hồ quang và bề hàn. Một lợi thế

nữa là có thể sử dụng các nguồn năng lượng tương đối rẻ tiền. Bên cạnh đó, GTAW có một số nhược điểm như tốc độ hàn tương đối chậm, điện cực dễ bị nhiễm bẩn, không hiệu quả lắm khi hàn các chi tiết dày vì tốc độ lắng đọng chậm, thiết bị và nguyên liệu đắt tiền.



Hình 1. Sơ đồ quá trình hàn hồ quang vonfram khí (GTAW) [3]



Hình 2. Thiết bị cho hoạt động GTAW [6]

Tuy nhiên, GTAW mang lại lợi thế cho nhiều ứng dụng, từ các mối hàn chất lượng cao cần thiết trong ngành hàng không vũ trụ và hạt nhân [4] và các mối hàn tự sinh tốc độ cao cần thiết trong sản xuất ống và kim loại tấm [7] cho đến các mối hàn điển hình của các xưởng chế tạo và sửa chữa, nơi mà sự dễ dàng vận hành và tính linh hoạt của quá trình được tiếp nhận [8]. GTAW được sử dụng rộng rãi để nối các kim loại và hợp kim có độ bền cao, dễ phản ứng như thép không gỉ, hợp kim nhôm và. Ngoài ra, các hợp kim đồng, đồng thau, titan, niken và niken, thép không gỉ, inconel, nhiệt độ cao và các hợp kim có bề mặt cứng như zirconium, titan đã được hàn thành công bằng kỹ thuật GTAW [9]. Quá trình này có thể được tự động hóa và có thể lập trình để cung cấp khả năng kiểm soát chính xác các biến số hàn với khả năng điều khiển hàn từ xa. Tính linh hoạt đạt được khi sử dụng GTAW vì quá trình này cho phép nguồn nhiệt và việc bổ sung kim loại phụ được kiểm soát độc lập. Có thể duy trì khả năng kiểm soát tuyệt vời độ nguội của mối hàn qua chân [4].

Tìm hiểu các tài liệu liên quan đến nghiên cứu này cho thấy, có rất ít tài liệu nói về việc mô phỏng quá trình hàn hồ quang vonfram khí (GTAW). Hầu hết các tài liệu chỉ có sẵn về việc mô phỏng hiệu suất nhiệt hàn của quá trình GTAW và trong nghiên cứu gần đây của Bensada và cộng sự [10], mô hình số 2D được phát triển bằng cách tính đến sự truyền nhiệt và phân bố của nguồn nhiệt. Phân bố Gaussian cho nguồn nhiệt được trình bày và mô phỏng bằng cách sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn (Finite Difference Method – FDM), phương pháp này cho phép theo dõi sự tiến triển của trường nhiệt độ trong toàn bộ vật liệu được nghiên cứu trong quá trình hàn. S. Rose và cộng sự [11] đã trình bày các mô phỏng tức thời để tính toán các đặc tính hồ quang bằng cách sử dụng các điều kiện biên phụ thuộc thời gian cho dòng điện và dòng khối bay hơi. Một cách tiếp cận dựa trên mô phỏng để mô tả dao động của hồ quang nóng chảy trong quá trình hàn hồ quang khí vonfram được Amin Ebrahimi và cộng sự [12] thực hiện, kết quả xác nhận rằng tần số dao động của bề nóng chảy ngẫu nhiên hoàn toàn thấp hơn bề nóng chảy ngẫu nhiên một phần với sự thay đổi đột ngột từ ngẫu nhiên một phần sang ngẫu nhiên hoàn toàn. Về điện áp hồ quang, trong [4] chỉ ra rằng, điện áp hồ quang tỷ lệ thuận với chiều dài hồ quang, là một thông số phụ thuộc bị ảnh hưởng với mức độ giảm dần như sau: khoảng cách giữa điện cực vonfram và chi tiết; dòng điện

hàn; loại khí bảo vệ; hình dạng của đầu điện cực; áp suất không khí xung quanh. Ảnh hưởng của các thông số đến chênh lệch điện áp trong quá trình GTAW được đề cập trong [13]. Tác giả đã mô phỏng sự chênh lệch điện áp hồ quang theo góc đầu điện cực và dòng điện hàn, và cho biết có hai thông số ảnh hưởng đến sự chênh lệch điện áp giữa hai điện cực là đường kính trung bình của hồ quang và độ dẫn điện của khí là hàm của nhiệt độ.

Qua một số nghiên cứu trong thời gian gần đây cho thấy, việc mô phỏng quá trình hàn hồ quang vonfram khí có rất ít tài liệu đề cập. Do đó, việc nghiên cứu, thực nghiệm xác định thông số của quá GTAW là một đề tài tương đối rộng. Trong bài báo này, những nghiên cứu ban đầu về mô phỏng ảnh hưởng của góc côn đầu điện cực tới chênh lệch điện áp của hồ quang bằng công nghệ hàn hồ quang vonfram khí (GTAW) sẽ được trình bày. MATLAB là một công cụ phần mềm quan trọng của Math Work, là một môi trường mạnh về tính toán số, đồ họa và phân tích dữ liệu. Hiện nay, MATLAB được ứng dụng phổ biến để giải quyết các bài toán rất đa dạng trong nghiên cứu khoa học kỹ thuật. Trong nghiên cứu này, việc mô phỏng ảnh hưởng của góc đầu điện cực tới chênh lệch điện áp hồ quang của quá trình hàn hồ quang vonfram khí sẽ được thực hiện trên phần mềm MATLAB.

2. MÔ HÌNH TOÁN CỦA QUÁ TRÌNH GTAW

Mô hình toán cho hồ quang hàn của quá trình GTAW được xây dựng trên cơ sở kết hợp các phương trình Maxwell, các phương trình Navier-Stokes và phương trình vi phân cân bằng năng lượng nhiệt, mô hình biểu diễn nhiệt độ, các biên dạng vận tốc trong hồ quang hàn và dự đoán nhiệt và các thông lượng dòng điện rơi vào anốt. Hệ phương trình cơ bản biểu diễn quá trình GTAW trong hệ tọa độ trụ gồm các phương trình vi phân sau [13, 14].

Bảo toàn khối lượng

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r u)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Bảo toàn động lượng hướng tâm

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r u^2)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial r} + \left[\frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu r \frac{\partial u}{\partial r} \right) - \mu \frac{2u}{r^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) \right] \right] - J_z B_\theta \quad (2)$$

Bảo toàn động lượng dọc trục

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r u w)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\mu r \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] + J_r B_\theta \quad (3)$$

Bảo toàn năng lượng nhiệt

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r u h)}{\partial r} + \frac{\partial(\rho w h)}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r k}{C_p} \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k}{C_p} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \frac{J_z^2 + J_r^2}{\sigma} - S_R + \frac{5 k_b}{2 e} \left(\frac{J_r}{C_p} \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{J_z}{C_p} \frac{\partial h}{\partial z} \right) \quad (4)$$

Bảo toàn điện tích hoặc điện thế

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\sigma r \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) = 0 \quad (5)$$

trong đó: B_θ = trường từ phương vị

C_p = nhiệt dung riêng

e = điện tích electron

h = nhiệt lượng

k = độ dẫn nhiệt

k_b = hằng số Boltzmann

J_r = mật độ dòng điện hướng tâm

J_z = mật độ dòng điện hướng trục

p = áp suất

r = hướng hướng tâm

S_R = số hạng nguồn bức xạ

u = vận tốc hướng tâm

w = vận tốc hướng trục
 z = hướng trục
 ρ = mật độ
 μ = độ nhớt
 ϕ = điện thế
 σ = độ dẫn điện

Các phương trình động lượng bao gồm, từ trái sang phải, hai số hạng đối lưu, số hạng gradien áp suất, số hạng khuếch tán và số hạng lực điện từ. Phương trình năng lượng bao gồm, từ trái sang phải, hai số hạng đối lưu, hai số hạng khuếch tán, số hạng nhiệt Joule, số hạng bức xạ và sự vận chuyển enthalpy do sự trôi electron (hiệu ứng Thompson).

Mật độ dòng điện có thể nhận được từ:

$$J_r = -\sigma \frac{\partial \phi}{\partial r} \quad (6)$$

$$J_z = -\sigma \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (7)$$

trong khi từ trường phương vị tự cảm được suy ra từ định luật Ampere như sau:

$$B_\theta = \frac{\mu_0}{r} \int_0^r J_z r dr \quad (8)$$

trong đó μ_0 là hằng số từ thẩm. Các Phương trình (5-8) hoàn chỉnh các giá trị cần thiết để xác định lực điện từ.

Như vậy, mô hình toán cho hồ quang của quá trình GTAW đã được triển khai. Để giải các phương trình trên cần xác định miền tính toán cho các thông số (điều kiện biên) và kết hợp với các biểu thức liên kết. Các phương pháp số khác nhau như phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp sai phân hữu hạn hay phương pháp khối hữu hạn đều có thể được sử dụng để giải.

3. THIẾT LẬP MÔ PHỎNG

3.1. Thông số quá trình

Ba loại thông số chính trong hàn hồ quang vonfram khí là thông số cố định (được chọn trước), thông số điều chỉnh chính và phụ [1, 4].

- Thông số cố định: với GTAW, các thông số cố định bao gồm loại, kích thước và độ côn của điện cực cũng như loại dòng điện hàn và khí bảo vệ.
- Thông số chính bao gồm: dòng điện hàn, tốc độ di chuyển và chiều dài hồ quang (điện áp hàn).
- Thông số phụ gồm: góc đầu của điện cực và phần nhô ra (mở rộng) của điện cực.

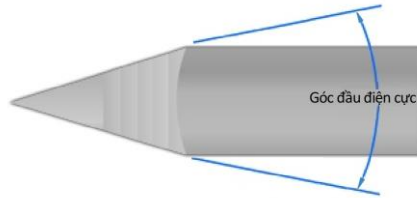
Trong hàn hàn hồ quang vonfram khí, có bốn tính chất chính của hồ quang là [13]:

- Nhiệt độ cực đại, $T_{\max}$ (°C);
- Vận tốc dọc trục cực đại, $u_{\max}$ (m/s);
- Chênh lệch điện áp, $\Delta\phi$ (V);
- Chênh lệch áp suất cực dương, ΔP_a (Pa).

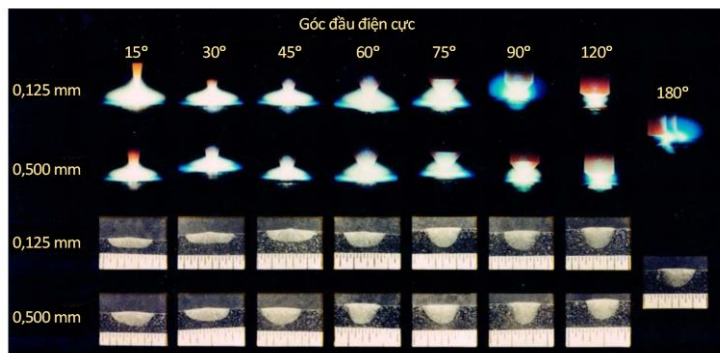
Trong bài báo này sẽ nghiên cứu ảnh hưởng của thông số cố định là góc côn đầu điện cực tới chênh lệch điện áp hồ quang (một trong những tính chất của thông số điện áp hàn) của quá trình GTAW. Trong hàn hồ quang vonfram khí, vonfram và các hợp kim khác nhau của nó được sử dụng làm điện cực. Các điện cực vonfram không bị tiêu hao nếu quá trình được sử dụng đúng cách vì chúng không bị nóng chảy hoặc chuyển sang môi hàn. Chức năng của điện cực vonfram đóng vai trò là một trong những cực điện của hồ quang, cung cấp nhiệt cần thiết cho môi hàn. Điểm nóng chảy của nó là 3410 °C.

Góc côn điện cực là góc được mài ở đầu điện cực vonfram (Hình 3). Thông số này chỉ áp dụng cho điện cực vonfram thoriated. Chúng được mài đầu để thay đổi hồ quang. Có thể mài nhọn các điện

cực vonfram thorated vì khả năng mang dòng điện cao hơn của chúng. Mức độ côn cũng ảnh hưởng đến hình dạng đường hàn và độ ngẫu. Việc tăng góc côn có xu hướng làm giảm chiều rộng đường hàn và tăng độ ngẫu của mối hàn. Do đó, cấu hình đầu điện cực là một thông số cần nghiên cứu trong việc phát triển quá trình hàn. Trong sản xuất, các cấu hình đầu điện cực khác nhau được sử dụng để cải thiện hiệu suất hàn. Hình dạng của đầu điện cực có thể ảnh hưởng đáng kể đến hình dạng và kích thước của bề hàn [4] như thể hiện trên Hình 4.



Hình 3. Góc côn điện cực [1]



Hình 4. Ảnh hưởng của hình dạng đầu điện cực đến hình dạng và kích thước bề hàn [4]

3.2. Lựa chọn thông số quá trình

Các thông số của quá trình hàn kiểm soát quá trình hàn và chất lượng của mối hàn được tạo ra. Việc lựa chọn các thông số hàn được thực hiện sau khi kim loại cơ bản, kim loại phụ và thiết kế mối nối được chọn. Việc lựa chọn đúng các thông số hàn sẽ giúp cho việc hàn trở nên dễ dàng hơn, tăng cơ hội tạo ra các đặc tính mối hàn cần thiết.

Bảng 1. Chênh lệch điện áp hồ quang $\Delta\phi$ (V) của các dòng điện hàn, chiều dài hồ quang và góc đầu điện cực khác nhau [13]

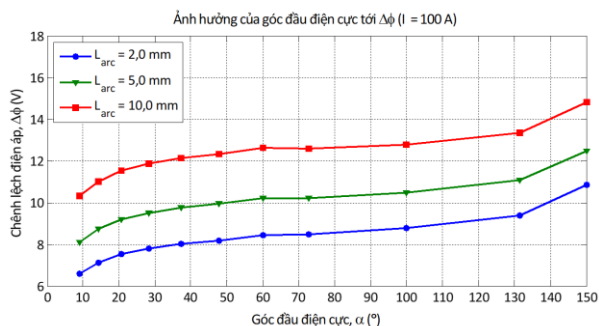
Dòng điện hàn (A)	Chiều dài hồ quang (mm)	Góc đầu điện cực (độ)										
		9,18	14,36	20,74	28,36	37,33	47,78	60,00	72,77	100,06	131,41	150,00
100	2,0	6,581	7,114	7,521	7,808	8,009	8,178	8,447	8,456	8,779	9,389	10,84
	5,0	8,104	8,721	9,178	9,508	9,761	9,940	10,22	10,21	10,47	11,06	12,49
	10,0	10,33	11,01	11,51	11,86	12,12	12,31	12,61	12,59	12,79	13,34	14,83
200	2,0	7,063	8,175	9,053	9,666	10,08	10,32	10,59	10,35	9,825	9,747	10,02
	5,0	9,072	10,16	11,02	11,64	12,07	12,37	12,68	12,55	12,16	12,12	12,34
	10,0	11,52	12,64	13,52	14,15	14,58	14,91	15,25	15,05	14,74	14,73	14,99
250	2,0	7,546	8,851	9,860	10,59	11,08	11,42	11,72	11,36	10,71	10,33	10,39
	5,0	9,709	11,01	12,02	12,76	13,25	13,62	13,96	13,68	13,21	13,04	13,14
	10,0	12,28	13,63	14,69	15,46	15,95	16,34	16,68	16,43	15,98	15,87	15,98

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của thông số góc đầu điện cực tới chênh lệch điện áp hồ quang

sẽ được trình bày. Từ đó làm cơ sở xác định giá trị tối ưu và để mài đầu điện cực nhằm tạo ra hồ quang tốt hơn và ổn định hơn. Do đó, cấu hình đầu điện cực là một thông số cần nghiên cứu trong quá trình phát triển quy trình GTAW. Mô hình GTAW cho khí argon nguyên chất được mô phỏng cho nhiều góc đầu điện cực. Góc của đầu điện cực thay đổi từ 9° đến 150° . Ngoài ra, các tính toán được thực hiện với chiều dài hồ quang 2,0; 5,0 và 10,0 mm và với dòng điện hàn là 100, 200 và 250 A. Bảng 1 trình bày các kết quả tính toán cho chênh lệch điện áp hồ quang đối với các trường hợp khác nhau.

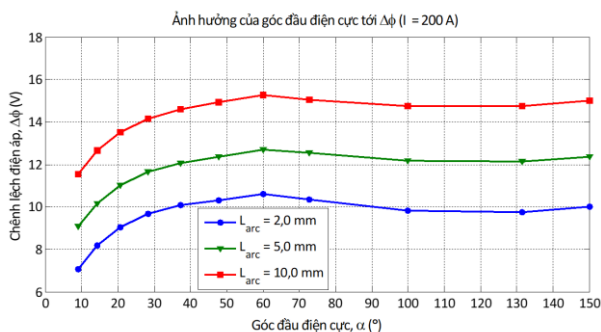
4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Với các giá trị chênh lệch điện áp hồ quang $\Delta\phi$ có được từ Bảng 1, việc mô phỏng về sự thay đổi của góc đầu điện cực theo từng mức dòng điện hàn từ 100 A đến 250 A, chiều dài hồ quang tăng dần từ giá trị 2,0 mm đến 10,0 mm được thực hiện trên phần mềm Matlab. Kết quả mô phỏng ảnh hưởng của góc đầu điện cực tới chênh lệch điện áp hồ quang được thể hiện trong các Hình 5 đến Hình 7.



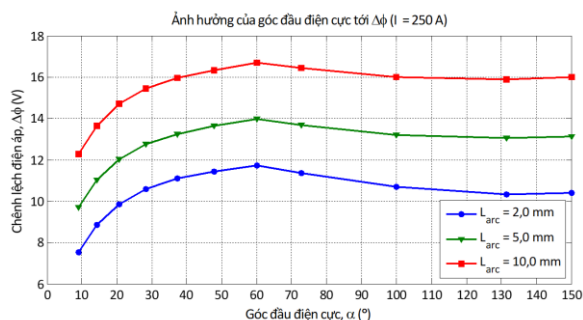
Hình 5. Ảnh hưởng của góc đầu điện cực tới chênh lệch điện áp $\Delta\phi$ khi dòng điện hàn $I = 100$ A với các chiều dài hồ quang L_{arc} khác nhau.

Hình 5 cho thấy, chênh lệch điện áp hồ quang tăng nhanh khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 9° đến 30° , sau đó khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 30° đến 130° chênh lệch điện áp hồ quang tăng chậm gần như tuyến tính. Chênh lệch điện áp hồ quang tiếp tục tăng nhanh khi góc đầu điện cực tăng từ 130° đến 150° và đạt giá trị cực đại ở góc 150° . Chiều dài hồ quang tăng dần đến chênh lệch điện áp hồ quang tăng theo.



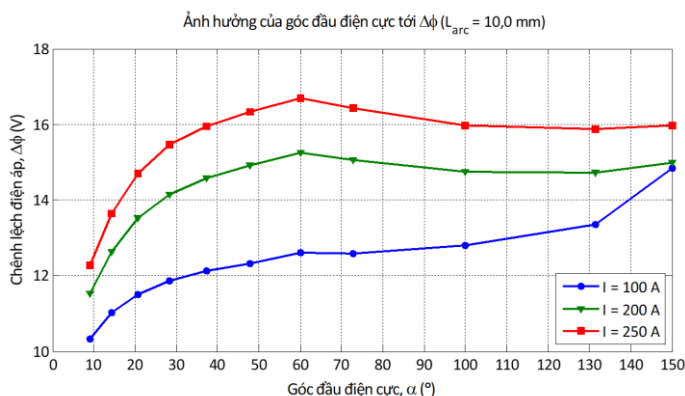
Hình 6. Ảnh hưởng của góc đầu điện cực tới chênh lệch điện áp $\Delta\phi$ khi dòng điện hàn $I = 200$ A với các chiều dài hồ quang L_{arc} khác nhau.

Hình 6 cho thấy, chênh lệch điện áp hồ quang tăng nhanh khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 9° đến 30° và đạt cực đại ở 60° , sau đó khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 80° đến 150° chênh lệch điện áp hồ quang giảm dần rồi tăng nhẹ gần như tuyến tính. Sự khác biệt về chênh lệch điện áp hồ quang khi chiều dài hồ quang thay đổi ở các mức 2,0 mm; 5,0 mm và 10 mm là rõ ràng, điện áp hồ quang tăng cùng với sự tăng của chiều dài hồ quang.



Hình 7. Ảnh hưởng của góc đầu điện cực tới chênh lệch điện áp $\Delta\phi$ khi dòng điện hàn $I = 250$ A với các chiều dài hồ quang L_{arc} khác nhau.

Hình 7 cho thấy, chênh lệch điện áp hồ quang cũng tăng nhanh khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 9° đến 30° và đạt cực đại ở 60° , sau đó khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 60° đến 150° nhiệt độ hồ quang giảm nhẹ cũng gần như tuyến tính. Sự khác biệt về chênh lệch điện áp hồ quang khi chiều dài hồ quang thay đổi ở các mức 2,0 mm; 5,0 mm và 10 mm là rõ ràng, điện áp hồ quang tăng cùng với sự tăng của chiều dài hồ quang.



Hình 8. So sánh sự thay đổi chênh lệch điện áp $\Delta\phi$ khi chiều dài hồ quang $L_{arc} = 10$ mm với các dòng điện hàn khác nhau.

Sự biến thiên của điện áp hồ quang theo góc đầu điện cực và dòng điện hàn được thể hiện trên Hình 8. Trong đồ thị này, sự khác biệt giữa giá trị mô phỏng các dòng điện hàn khác nhau là khá rõ rệt, chênh lệch điện áp hồ quang tăng dần cùng với sự tăng của dòng điện hàn. Đồ thị cũng cho thấy, với dòng điện hàn $I = 100$ A chênh lệch điện áp hồ quang đạt giá trị cực đại ở góc 150° ; còn với dòng điện hàn $I = 200$ A và $I = 250$ A chênh lệch điện áp hồ quang đạt giá trị cực đại ở góc 60° . Có hai thông số ảnh hưởng đến sự chênh lệch điện thế giữa hai điện cực, đường kính trung bình của hồ quang hoặc môi trường dây dẫn giữa các điện cực và độ dẫn điện của khí là hàm của nhiệt độ. Khi tăng góc đầu điện cực, hồ quang sẽ co lại; nói cách khác, đường kính trung bình của nó giảm. Do đó, nếu độ dẫn điện của khí không thay đổi thì bất kỳ sự gia tăng nào ở góc đầu điện cực đều làm tăng điện áp hồ quang. Vì độ dẫn điện của khí là một hàm của nhiệt độ và bản thân nhiệt độ là một hàm của góc đầu điện cực, nên điện thế có thể giảm hoặc tăng. Hình 8 cũng cho thấy đến 60° , điện áp hồ quang tăng theo góc đầu điện cực, trên 60° , nó phụ thuộc vào nhiệt độ hồ quang và do đó điện áp hồ quang tăng hoặc giảm; điều này rất phù hợp với các giá trị thực nghiệm [4, 13].

5. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình toán cho hồ quang của quá trình GTAW đã được xây dựng. Sử dụng mô hình hồ quang GTAW, có thể phân tích động lực bề hàn, hình dạng mối hàn kết quả và ảnh hưởng của thành phần hóa học của khí bảo vệ trong quá trình hàn, giúp có thể nghiên cứu về mặt số ảnh hưởng của các thông số hàn, làm cơ sở cho việc lựa chọn các thông số hàn. Đó là nội dung sẽ được thực

hiện trong nghiên cứu tiếp theo.

Hình dạng của đầu điện cực vonfram là một thông số quan trọng trong quá trình hàn hồ quang vonfram khí. Điện cực vonfram có thể được sử dụng với nhiều chế phẩm đầu điện cực khác nhau. Việc tăng góc đầu điện cực dẫn đến co lại đường kính hồ quang. Mức độ côn cũng ảnh hưởng đến hình dạng đường hàn và độ ngấu. Việc tăng góc côn có xu hướng làm giảm chiều rộng đường hàn và tăng độ ngấu của mối hàn. Qua nghiên cứu mô phỏng ảnh hưởng của góc đầu điện cực tới chênh lệch điện áp hồ quang bằng công nghệ GTAW các kết luận sau được rút ra:

- Khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 9° đến 30° , chênh lệch điện áp hồ quang tăng nhanh trong cả ba trường hợp với các dòng điện hàn khác nhau.
- Chênh lệch điện áp hồ quang đạt giá trị cực đại ở góc 150° đối với dòng điện hàn $I = 100\text{ A}$, đạt giá trị cực đại ở góc 60° đối với dòng điện hàn $I = 200\text{ A}$ và $I = 250\text{ A}$.
- Chênh lệch điện áp hồ quang tăng cùng với sự tăng của chiều dài hồ quang.
- Chênh lệch điện áp hồ quang tăng dần cùng với sự tăng của dòng điện hàn.
- Khi góc đầu điện cực tăng trong khoảng từ 9° đến 60° , điện áp hồ quang tăng theo góc đầu điện cực; trên 60° , nó phụ thuộc vào nhiệt độ hồ quang và do đó điện áp hồ quang tăng hoặc giảm.

Trong thực tế, thông số góc côn đầu điện cực chỉ áp dụng cho điện cực vonfram thorated. Sau khi xác định được giá trị của thông số này, chúng sẽ được mài đầu để tạo ra hồ quang tốt hơn bắt đầu bằng đánh lửa tần số cao và hồ quang ổn định hơn. Tùy thuộc vào ứng dụng, vật liệu, bề dày, loại mối nối hàn mà có các dạng mài khác nhau. Khi hàn với dòng xoay chiều (Alternating Current – AC), chọn điện cực lớn hơn và mài về tròn thay vì mài nhọn như khi hàn với dòng điện một chiều với cực âm (Direct Current with the Electrode Negative – DCEN) [15]. Nhược điểm của góc côn nhỏ hơn là chúng có xu hướng mòn nhanh hơn, đặc biệt khi bắt đầu khi đầu điện cực chạm vào vật hàn. Để giảm hiện tượng mòn và số lần cần mài lại điện cực, nên sử dụng góc côn lớn hơn vì nó không bị mòn nhanh. Tuy nhiên, bất kể hình dạng đầu điện cực được chọn là gì, điều quan trọng là hình dạng điện cực vẫn giữ nguyên sau khi quy trình hàn được thiết lập. Những thay đổi về hình dạng điện cực có thể ảnh hưởng đáng kể đến tính chất hồ quang, độ ngấu cũng như kích thước và hình dạng của mối hàn. Do đó, cấu hình đầu điện cực là một thông số cần được nghiên cứu thêm trong quá trình phát triển quy trình hàn.

Việc xác định giá trị tối ưu của góc đầu điện cực sẽ có được sau khi tìm hiểu thêm về ảnh hưởng của nó tới các tính chất khác của hồ quang như: nhiệt độ cực đại, $T_{\max}$ ($^\circ\text{C}$); vận tốc dọc trục cực đại, $u_{\max}$ (m/s) và chênh lệch áp suất cực dương, ΔP_a (Pa). Đó cũng chính là những nội dung sẽ được nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Naval Education and Training Professional Development and Technology Center. Navy Steelworker: Volume 1, NAVEDTRA 14250. 2013.
2. Trần Đức Tuấn, Trần Ngọc Dân - Công nghệ hàn hồ quang. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2003.
3. Bolarinwa Johnson Kutelu, Saliu Ojo Seidu, Godwin Idenala Eghabor, Ayotunde Idris Ibitoye - Review of GTAW welding parameters. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering **6** (05) (2018) 541-554. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2018.65039>
4. American Welding Society - Welding handbook Ninth Edition, vol. **2**. 550 N.W. LeJeune Road Miami, FL 33126, 2004.
5. Mikell P. Groover - Fundamentals of Modern Manufacturing. John Wiley and Son, Inc., New York, 2020.
6. Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid - Manufacturing Engineering and Technology. Addison-Wesley Publishing Company, 2014.
7. David José Pintao dos Santos Fontes Barbosa - Gas Tungsten Arc Welding of Ni-Ti Shape Memory Alloy. Universidadety de Lisbon, 2014.

8. Subodh, K. and Shahi, A.S. - Effect of Heat Input on the Microstructure and Mechanical Properties of Gas Tungsten Arc Welded AISI 304 Stainless Steel Joints. *Materials & Design* **32** (6) (2011) 3617-3623. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.02.017>
9. Munoz, A.C., Ruckert, G., Huneau, B., Sauvage, X. and Marya, S. - Comparison of TIG welded and friction stir welded Al-4.5Mg-0.26Sc Alloy. *Journal of Materials Processing Technology* **197** (13) (2008), pp.337-343. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.06.035>
10. Bensada, M., Laazizi, A., Fri, K., Fajoui, J. - Numerical simulation of weld thermal efficiency GTAW process. *Advances in Integrated Design and Production II*, May 2023, 353-362. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23615-0_36.
11. Rose S., M. Schnick, M. Hertel, J. Zschetzsche, U. Füssel. - Transient simulation of pulsed gas metal arc welding processes and experimental validation. *International Scientific Colloquium Modelling for Material Processing*, Riga, September 16-17, 2010, pp.21-26. DOI: 10.22364/mhd.46.4.10.
12. Amin Ebrahimi, Chris R. Kleijn, Ian M. Richardson. - A simulation-based approach to characterise melt-pool oscillations during gas Tungsten Arc welding. *International Journal of Heat and Mass Transfer* Volume 164, January 2021, 13 pages. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120535>.
13. Massoud Goodarzi - *Mathematical Modelling of Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) and Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. University of Toronto, 1997.
14. Szekely J., Roland T. C. Choo. - The mathematical modeling of arc welding operations. *Keynote Address in Advances in Welding Science and Technology TWR'86*, edited by S. A. David, American Society for Metals, 1986, pp.3-14.
15. Ngô Kiên Dương, Phạm Xuân Hồng, Phạm Huy Hoàng, Nguyễn Thị Vân An - *Giáo trình hàn TIG cơ bản*. Trường Cao đẳng nghề Công nghiệp Hà Nội, 2012.

ABSTRACT

SIMULATION OF THE INFLUENCE OF ELECTRODE TIP ANGLE ON THE ARC VOLTAGE DIFFERENCE OF GAS TUNGSTEN ARC WELDING (GTAW) PROCESS

Phạm Nhất Phương¹, Võ Tuyền^{2*}, Đinh Lê Cao Kỳ², Đặng Văn Hải², Trịnh Tiến Thọ²

¹*Viet Phong Production Trading and Services Company Limited, Ho Chi Minh City*

²*Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Industry and Trade*

*Email: tuyenvo@huit.edu.vn

Gas tungsten arc welding (GTAW) is a versatile all-position process that can be used to weld metals and a variety of metals. In this paper, a simulation method was used to determine the effect of the non-consumable tungsten electrode tip taper angle on the arc voltage difference. Simulation results have shown that (1) The arc voltage difference increases rapidly as the electrode tip angle increases in the range from 9° to 30° for different welding currents; (2) The arc voltage difference reaches its maximum value at an angle of 150° for welding current $I = 100$ A, reaching its maximum value at an angle of 60° for welding currents $I = 200$ A and $I = 250$ A; (3) The arc voltage difference increases with the increase of arc length and welding current; (4) When the electrode tip angle increases between 9° and 60°, the arc voltage increases with the electrode tip angle; Above 60°, it depends on the arc temperature and thus the arc voltage increases or decreases.

Keywords: Simulation, GTAW/TIG, arc length, welding current, electrode tip angle, voltage difference.