

NGHIÊN CỨU CÁC CÔNG NGHỆ ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG MỐI HÀN LASER

RESEARCH ON LASER WELD QUALITY ASSESSMENT TECHNOLOGIES

Trần Ánh Viên

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Email: tavien@uneti.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày các nghiên cứu về công nghệ đánh giá chất lượng mối hàn laser theo như: camera, phát xạ âm thanh, thử nghiệm siêu âm (UT), kỹ thuật dòng điện xoáy (ECT). Với mục đích trình bày các phương pháp lý thuyết và thực nghiệm hiện có đã được sử dụng để phân tích các đặc điểm và các khuyết tật của mối hàn laser. Các kết quả nghiên cứu có ý nghĩa cho việc đánh giá chất lượng mối hàn laser; mặt khác có thể làm tài liệu tham khảo cho các nghiên cứu sâu hơn về đánh giá chất lượng mối hàn laser.

Từ khóa: Hàn laser; Đánh giá chất lượng; Lỗi hàn; Mô hình hóa.

ABSTRACT

This paper summarizes and presents studies on the quality assessment of laser welds by technology such as: camera, acoustic emission, ultrasonic testing (UT), eddy current technique (ECT). The purpose is to present the existing theoretical and experimental methods that have been used to analyze the characteristics and defects of laser welds. The research results and the significance of quality assessment in laser welding are described specifically to serve as a reference for future studies on laser weld quality.

Keywords: Laser welding; Quality assessment; Weld defects; Modeling.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

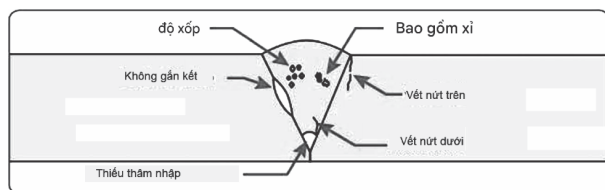
Việc sử dụng các quy trình sản xuất linh hoạt, đặc biệt là khi liên quan đến các công nghệ ghép nối, phải được mở rộng và thiết lập trong sản xuất hiện đại [1]. Hàn laser (LW) là một phương pháp ghép nối có tiềm năng đáng kể cho các ứng dụng công nghiệp mà vẫn chưa được khai thác hết [2]. So với các phương pháp

hàn khác, hàn laser mang lại năng suất, tính linh hoạt, hiệu quả cao hơn và nhiều lợi thế hơn như độ xuyên thấu sâu hơn, độ biến dạng thấp hơn và tốc độ hàn cao hơn [3]. Vì lý do này, quy trình hàn laser đã nhận được sử dụng nhiều trong ngành công nghiệp [4]. Tuy nhiên, LW là một quy trình sản xuất phức tạp, chất lượng của mối hàn có thể nhận biết bằng mắt thường do ảnh hưởng của một số biến số trong quy trình 

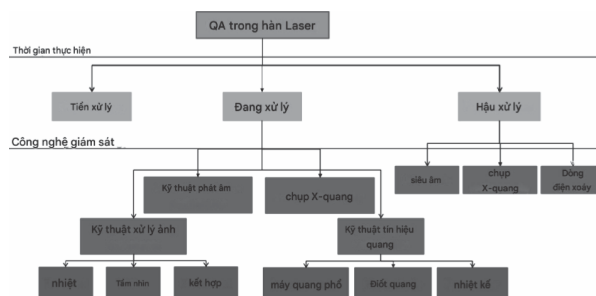
hàn, chẳng hạn như các khuyết tật trong cấu trúc vi mô của vật liệu, các chất bẩn trên bề mặt phôi và sự thay đổi về các đặc tính của chùm tia laser, dẫn đến sản phẩm không đạt yêu cầu (Hình 1). Các khuyết tật mỗi hàn tiềm ẩn ảnh hưởng đến các đặc tính cơ học của các thành phần được hàn và do đó, hư hỏng được tăng lên đáng kể.

Do đó, điều quan trọng đối với ngành công nghiệp là đảm bảo rằng các mối hàn trong sản phẩm có chất lượng tốt. Giám sát và kiểm soát chất lượng là một công cụ thiết yếu trong các hệ thống sản xuất hiện đại và cần thiết để đảm bảo chất lượng và hiệu quả sản xuất. Việc giám sát một quy trình, đánh giá chất lượng có ba loại: Trước quy trình, trong quy trình và sau quy trình.

Mục đích của bài báo này là tóm tắt các kỹ thuật đánh giá chất lượng đã được nghiên cứu. Bài báo được chia thành hai phần chính (Trong quá trình và Sau quá trình) theo thời gian xảy ra giám sát và kiểm tra hàn laser. Trong phần sau, các tác giả trình bày các phương pháp tiếp cận mô hình hóa, được phát triển để tương quan các khuyết tật với các thông số quy trình và chất lượng. Đánh giá chất lượng liên quan đến việc đánh giá các kích thước của vũng nóng chảy (độ xuyên thấu và chiều rộng hạt) và sự hình thành các khuyết tật mỗi hàn như nứt, rỗ, cắt, tạp chất và gò ghề. Nghiên cứu đánh giá dựa trên thông tin trích xuất từ tài liệu, gợi ý trong tương lai cho quy trình hướng tới sản xuất bền vững, linh hoạt.



Hình 1. Các khiếm khuyết trong hàn laser



Hình 2. Các kỹ thuật đánh giá chất lượng

2. ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG TRONG QUÁ TRÌNH HÀN LASER

Do tương tác giữa laser và vật liệu xảy ra trong quá trình hàn laser, năng lượng được phát ra dưới nhiều dạng khác nhau. Các tín hiệu quá trình quang học và âm thanh có thể được đo từ các phát xạ của quá trình hàn bằng cách sử dụng các cảm biến phù hợp.

Về vấn đề này, thông tin quan trọng về các hiện tượng vật lý dẫn đến việc phát hiện ra các khuyết tật hàn có thể được trích xuất trong quá trình này. Chùm tia laser phản xạ là lượng bức xạ của nguồn laser, không được vật liệu hấp thụ [5]. Do đó, các phương pháp đánh giá chất lượng đã phát triển dựa trên các cảm biến âm thanh, quang học hoặc nhiệt, thường được kết hợp để cải thiện hiệu suất của hệ thống hàn laser (Hình 2).

2.1. Kỹ thuật xử lý hình ảnh

2.1.1. Nhiệt

Phần này bao gồm các nghiên cứu, dựa trên kết quả và kết luận thu được từ trường nhiệt, được theo dõi trong quá trình hàn laser. Camera nhiệt IR là một trong những công nghệ cảm biến được sử dụng trong các ứng dụng hàn laser để nắm bắt sự phân bố nhiệt độ đến thành phần hàn. Camera nhiệt là cảm biến thụ động

in dấu bức xạ hồng ngoại, phát ra từ tất cả các vật thể có nhiệt độ trên độ không tuyệt đối [6]. Ngày nay, các hệ thống giám sát hình ảnh nhiệt, như đã được đề cập trong [7], ngày càng được triển khai nhiều hơn vào ngành công nghiệp, do thực tế là chúng mang lại nhiều lợi thế hơn các kỹ thuật khác được sử dụng để phát hiện nhiệt độ vùng hàn.

2.1.2. Kết hợp kỹ thuật xử lý hình ảnh nhiệt và thị giác

Cảm biến thị giác có thể góp phần đáng kể vào quy trình đánh giá chất lượng của hàn laser, thông qua việc cung cấp phép đo không gian cao hơn và vị trí chính xác cũng như nhận dạng các khuyết tật của mối hàn. Tuy nhiên, camera thị giác (CCD và CMOS) không phù hợp để phát hiện bức xạ hồng ngoại sóng trung và sóng dài, vì lý do này, cần có camera hồng ngoại cụ thể [8]. Chiều sáng thụ động hoàn toàn không đủ để chụp các chi tiết của vùng hàn nóng chảy bằng cách cung cấp các hình ảnh rất tối của vùng hàn nóng chảy. Chỉ riêng ánh sáng khuếch tán đã tiết lộ nhiều chi tiết hơn về khu vực của vùng hàn nóng chảy, nhưng kết quả tốt nhất đã thu được từ sự kết hợp của ánh sáng laser tập trung và khuếch tán. Về vấn đề này, việc kết hợp các phương pháp nhiệt và thị giác khác nhau để kiểm tra chất lượng trong các ứng dụng hàn laser sẽ kết hợp các ưu điểm của mỗi phương pháp và sẽ cho phép các kỹ sư theo dõi các khuyết tật và cường độ hàn khác nhau.

Một phương pháp tiếp cận cơ điện tử mới sử dụng nhiệt kế hồng ngoại, kết hợp với xử lý hình ảnh để kiểm soát chất lượng của quy trình hàn kín bằng laser cho hộp đựng thực phẩm, đã được giới thiệu trong [5, 6]. Camera hồng ngoại được phát hiện có khả năng phát hiện mẫu nhiệt cục bộ, bất kỳ sự nhiễm bẩn nào giữa màng phim và hộp đựng, và hành vi

làm mát của vật liệu sau khi hàn. Mặt khác, hệ thống thị giác cung cấp một hệ thống đảm bảo chất lượng cho tính toàn vẹn của các sản phẩm được hàn kín.

2.2. Kỹ thuật phát xạ âm thanh

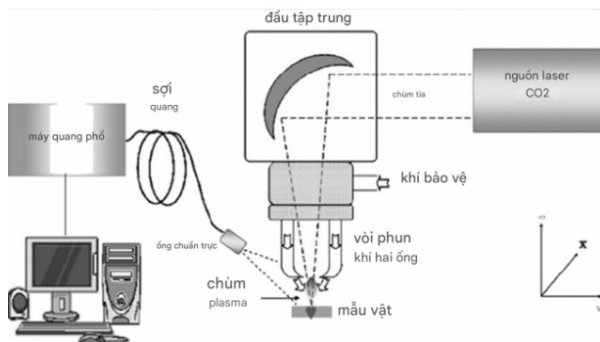
Phát xạ âm thanh chứa nhiều thông tin về quy trình hàn laser và có thể chỉ ra một số khía cạnh nhất định của chất lượng mối hàn. Kỹ thuật cảm biến âm thanh có thể được áp dụng cho các quy trình liên quan đến quá trình nóng chảy, bốc hơi, tạo plasma và hình thành lỗ khóa. Hơn nữa, phát xạ âm thanh có thể cung cấp dữ liệu hữu ích về sự thay đổi pha nhanh chóng trong vật liệu cũng như sự hình thành và lan truyền của các vết nứt [7, 8]. Tuy nhiên, chỉ có một số ít nghiên cứu đánh giá chất lượng được công bố.

Mặc dù cảm biến âm thanh không tiếp xúc có tính linh hoạt trong các ứng dụng, nơi không thể sử dụng cảm biến tiếp xúc, nhưng sự tồn tại của tiếng ồn từ môi trường xung quanh và tốc độ truyền tín hiệu chậm hơn bên trong vật liệu khiến các máy dò âm thanh không hữu ích trong các phương pháp kiểm soát thích ứng và đánh giá chất lượng trong quá trình. Do đó, các nghiên cứu tập trung vào việc cải thiện độ chính xác nhận dạng và phát triển các thuật toán thông minh để tương quan tín hiệu với hình dạng và khuyết tật của mối hàn.

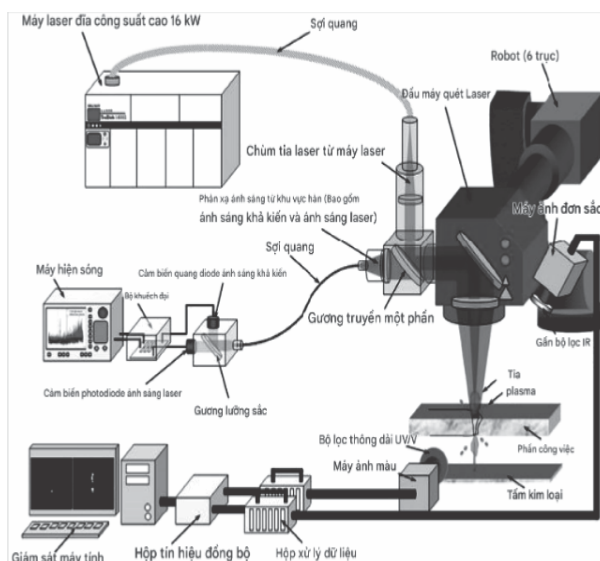
2.3. Kỹ thuật tín hiệu quang

Máy quang phổ phân tích quang phổ đã được sử dụng rộng rãi trong hàn laser để phát hiện luồng plasma. Việc theo dõi plasma cho thấy sự hình thành vết lõm trong các mối hàn. Thiết lập thông thường của kỹ thuật kiểm tra cảm biến này được minh họa trong Hình 6 và như có thể được trích xuất từ sơ đồ, phát xạ

quang học được thu thập bởi một bộ chuẩn và truyền qua sợi quang đến máy quang phổ, tại đó tín hiệu được phân tích [7, 8]. Nghiên cứu được tiến hành trong tài liệu đã kết luận rằng gần đây việc sử dụng cảm biến cụ thể đã được chấp nhận rộng rãi trong các ứng dụng công nghiệp [5, 6], chủ yếu là do chi phí thấp và kích thước nhỏ gọn. Các thí nghiệm đã được tiến hành để xác định mối quan hệ giữa tín hiệu quang học và chất lượng mối hàn. Chất lượng mối hàn cuối cùng đã được đánh giá thông qua việc phát hiện các khuyết tật phổ biến, chẳng hạn như thiếu độ xuyên thấu với độ phân giải không gian.



Hình 3. Hệ thống giám sát với máy quang phổ



Hình 4. Một thử nghiệm của một Hệ thống giám sát đa cảm biến

2.4. Kỹ thuật cảm biến hợp nhất

Bên cạnh các kỹ thuật xử lý hình ảnh kết hợp, một số tác giả đã tập trung vào các phương pháp tiếp cận đa cảm biến để loại trừ các nhược điểm của các giải pháp cảm biến đơn và xác định nhiều loại khuyết tật mối hàn hơn. Ngoài ra, họ tin tưởng mạnh mẽ rằng phương pháp tiếp cận đa cảm biến có thể là câu trả lời cho đánh giá chất lượng chính xác và hiệu quả. Trong một số lần thử, cảm biến hồng ngoại và cực tím đã được kết hợp với các máy dò âm thanh. Việc sử dụng các cảm biến quang diode được coi là chính xác hơn đối với các khuyết tật xuyên thấu và lỗ khóa. Các máy dò âm thanh khá nhạy cảm với việc nắm bắt những thay đổi trong luồng khói. Theo chỉ định, như đã mô tả trong, một hệ thống giám sát đa cảm biến đã được tích hợp vào máy hàn laser (Hình 4).

3. ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG SAU QUÁ TRÌNH HÀN LASER

Kiểm tra chất lượng sau quá trình thường được thực hiện bằng các kỹ thuật nổi tiếng như kiểm tra dòng điện xoáy, siêu âm, thị giác hoặc chụp X-quang. Các phương pháp kiểm tra cụ thể có thể xác minh sự tuân thủ giữa các tiêu chuẩn và chất lượng mối hàn, thông qua việc kiểm tra bề mặt và bề mặt dưới của mối hàn và vật liệu nền xung quanh. Các quy trình kiểm tra tự động trong các kỹ thuật này rất cao.

Vì lý do này, hầu hết các nghiên cứu được trình bày trong phần này liên quan đến việc áp dụng các phương pháp nào trong quá trình kiểm tra sau quá trình. Tuy nhiên, một số bài báo cũng được trích dẫn, trong đó tập trung vào việc phát triển các thuật toán kiểm tra tự động theo thời gian thực, dựa trên hình ảnh chụp X-quang.

3.1. Siêu âm

Các phương pháp kiểm tra siêu âm liên quan đến việc tạo ra sóng siêu âm, sau đó tương tác với mối hàn. Các khuyết tật bên trong khiến sóng tới phản xạ và hoặc nhiễu xạ. Sau đó, các sóng này được phát hiện và phân tích. Passini đã nghiên cứu và công bố một cuộc kiểm tra mảng pha siêu âm để phát hiện các khuyết tật trong các tấm nhôm mỏng được hàn bằng chùm tia laser. Một mối tương quan giữa kỹ thuật này và các cuộc kiểm tra chụp X quang và kim loại học cũng đã được thực hiện. Trong các kết luận thu được, các tác giả quan sát thấy rằng khi sự suy giảm của sóng siêu âm được nhận riêng cho kim loại cơ bản, có thể xác định không chỉ đường hàn mà còn cả sự hiện diện của các lỗ rỗng được nhóm lại. Tuy nhiên, vì không phát hiện thấy vết nứt nhỏ nào khi kiểm tra kim loại học trên các mẫu hàn, nên không thể xác minh được nguyên tắc suy giảm sóng siêu âm có thể được áp dụng để phát hiện vết nứt trong đường hàn hay không.

Do đó, sự phát triển của kỹ thuật siêu âm dựa trên ứng dụng sóng siêu âm (tấm) có hướng dẫn với phân cực ngang cắt, được kích thích và phát hiện bằng các bộ chuyển đổi âm điện từ tự do (EMAT). Nguyên lý UT đã phát triển và đầu dò quét được sử dụng được minh họa trong Hình 5.

3.2. Chụp X-quang

Chụp X-quang dựa trên khả năng của tia X và tia gamma đi qua kim loại và các vật liệu khác không trong suốt đối với ánh sáng thông thường, và tạo ra các bản ghi ảnh về năng lượng bức xạ được truyền đi. Tất cả các vật liệu sẽ hấp thụ một lượng năng lượng bức xạ đã biết này, do đó, tia X và tia gamma có thể được sử dụng để chỉ ra các điểm không liên tục và tạp

chất bên trong vật liệu không trong suốt. Bản ghi phim vĩnh viễn về các điều kiện bên trong sẽ hiển thị thông tin cơ bản để xác định độ bền của mối hàn. Tốc độ thấp và các mối nguy hiểm về bức xạ hạn chế việc sử dụng nó. Trong hầu hết các trường hợp, kết quả đều yêu cầu người vận hành giải thích và hiếm khi được sử dụng trong các môi trường tự động. Ngoài ra, các kỹ thuật chụp X-quang rất tốn kém do phải thao tác các bộ phận và yêu cầu bảo vệ. Do đó, chúng không thể được áp dụng cho các chu kỳ sản xuất thông thường của máy hàn.

3.3. Kỹ thuật dòng điện xoáy

Các hệ thống dòng điện xoáy sử dụng điện từ để cung cấp kiểm tra bề mặt và một mức độ kiểm tra hạn chế bên dưới bề mặt (vài nghìn inch). Khi dòng điện xoay chiều được áp dụng cho một cuộn dây, một từ trường được tạo ra trong và xung quanh nó. Nếu một vật liệu dẫn điện được đặt trong từ trường động của cuộn dây, cảm ứng điện từ sẽ xảy ra và dòng điện xoáy sẽ được tạo ra trong vật liệu. Dòng điện xoáy tạo ra một từ trường thứ cấp sẽ đối lập với từ trường chính của cuộn dây [8]. Các kỹ thuật dòng điện xoáy thông thường có khả năng phát hiện các vết nứt bề mặt theo chiều dọc và chiều ngang, sự thiếu hợp nhất, các vết nứt miệng hố, các lỗ rỗng và các điểm gián đoạn phá vỡ bề mặt khác.

Theo nghiên cứu trong [7, 8], một phương pháp dòng điện xoáy đã được thử nghiệm để phát hiện và phân loại các khuyết tật trong các mối hàn bằng laser. Các khuyết tật và thay đổi về tính chất vật liệu đã dẫn đến các tín hiệu dòng điện xoáy thay đổi. Dữ liệu dòng điện xoáy đã được xử lý trước và được gán cho các khu vực đặc trưng để tham chiếu đến các mẫu tia X, trong sơ đồ mặt phẳng trở kháng. Đối với mỗi vết nứt, chiều dài và chiều rộng

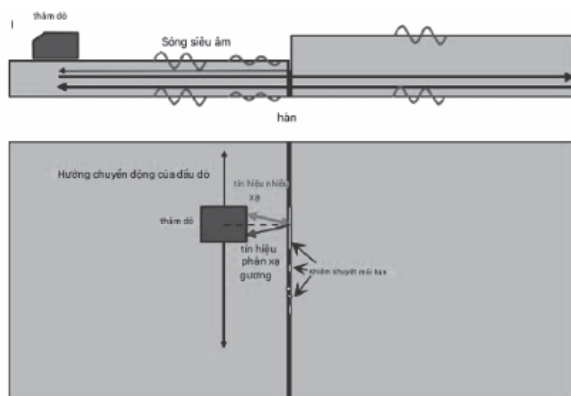


trung bình đã được tính toán thông qua hiệu chuẩn của hệ thống thị giác để chuyển đổi từ pixel thành mm. Các phép đo chiều rộng, trước và sau thử nghiệm, cũng phù hợp, cho thấy hệ thống đã thực hiện các phép đo hợp lệ về kích thước vết nứt.

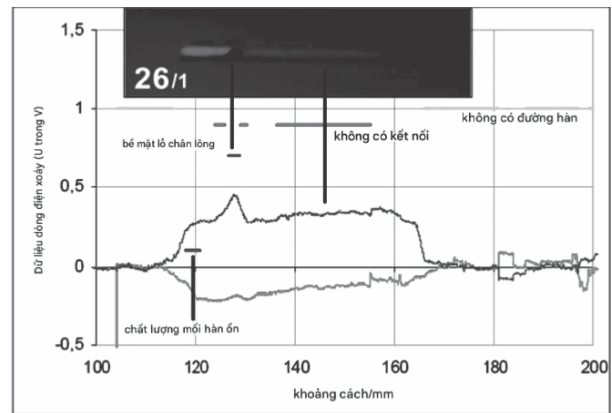
4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày những phương pháp nhằm cải thiện chất lượng hàn laser và nghiên cứu các phương pháp, kỹ thuật để đánh giá chất lượng trong hàn laser. Bài báo đã được chia thành hai phần chính, dựa trên thời gian diễn ra quá trình kiểm tra và đánh giá các mối hàn laser. Từ những gì đã được trích dẫn, có thể kết luận rằng đối với các kỹ thuật đánh giá chất lượng trong quy trình, cảm biến quang học không xâm lấn được coi là công nghệ giám sát thời gian thực lý tưởng cho hàn laser.

Mô hình hóa thực nghiệm là một công cụ chính phải được tích hợp thêm vào các hệ thống kiểm soát thời gian thực và đánh giá chất lượng, chủ yếu là do khả năng dự đoán và đào tạo lại chất lượng mà các kỹ thuật học máy và phân loại có thể cung cấp cho hệ thống.



Hình 5. Nguyên tắc kỹ thuật siêu âm



Hình 6. Tín hiệu dòng điện xoay cho với khoảng cách hàn

Ngày nhận bài: 06/02/2025

Ngày phản biện: 25/02/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Chryssolouris G, Papakostas N, Mavrikios D (2008), "A perspective on manufacturing strategy: produce more with less". CIRP J Manuf Sci Technol 1(1):45-52.
- [2]. Chryssolouris George (2013), "Manufacturing systems: theory and practice". Springer Science & Business Media.
- [3]. Tsoukantas G et al (2007), "On optical design limitations of generalized two-mirror remote beam delivery laser systems: the case of remote welding". Int J Adv Manuf Technol 32(9-10):932-941.
- [4]. Chryssolouris ELKE (2013), "Laser machining: theory and practice". Springer Science & Business Media.
- [5]. Shao Jiaqing and Yan Yong (2005), "Review of techniques for online monitoring and inspection of laser welding". Journal of Physics: Conference Series. Vol. 15. No. 1. IOP Publishing.
- [6]. Gade R, Moeslund TB (2014), "Thermal cameras and applications: a survey". Mach Vis Appl 25(1):245-262.
- [7]. Tadamalle AP (2012), "Review of real-time temperature measurement for process monitoring of laser conduction welding". Eng Sci Technol An Int J 2(5):946-950.
- [8]. Purtonen T, Kalliosaari A, Salminen A (2014), "Monitoring and adaptive control of laser processes". Phys Procedia 56:1218-1231.