

NGHIÊN CỨU BIẾN DẠNG CỦA KẾT CẤU TRONG QUÁ TRÌNH HÀN HỒ QUANG TRONG KHÍ BẢO VỆ - GMAW

STUDY ON THE STRUCTURE DEFORMATION IN PROCESS OF GAS METAL ARC WELDING – GMAW

Phạm Sơn Minh¹, Đỗ Thành Trung¹
Nguyễn Minh Triết¹, Trần Viết Phú²

¹Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM

²Trường CĐ Nghề Kỹ Thuật Công Nghệ TP.HCM

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu về biến dạng của vật hàn bằng phương pháp mô phỏng và thực nghiệm. Liên kết giữa hai tấm kim loại bằng phương pháp hàn sẽ được mô hình hóa và mô phỏng bằng phần mềm Simufact Welding với mô hình truyền nhiệt kết hợp với biến dạng dẻo. Để kiểm tra kết quả mô phỏng, phương pháp thực nghiệm được sử dụng với ba qui trình hàn bằng hệ thống hàn tự động và vật liệu hàn là thép carbon thấp AISI 1005. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình truyền nhiệt kết hợp với biến dạng dẻo cho kết quả mô phỏng phù hợp với kết quả thí nghiệm. Ngoài ra, qui trình hàn “từ trong ra ngoài” cho kết quả biến dạng thấp hơn qui trình hàn “từ ngoài vào trong”. Bên cạnh đó, phân bố biến dạng sẽ tập trung chủ yếu vào tấm không được kẹp chặt.

Từ khóa: Mô phỏng hàn, biến dạng, truyền nhiệt, liên kết tấm.

ABSTRACT

This paper presents an investigation of the welding deformation using simulation and experiments. The structure of a combined joint geometry was modeled and simulated in Simufact welding software based on the thermal-elastic-plastic approach. To verify the simulation results, a series of experiments was conducted with three different welding sequences using automated welding process, low carbon steel AISI 1005 as parent metal, digital GMAW power source with premixed shielding gas and one-sided clamping technique. Based on the results, it was established that the thermo-elastic-plastic 3D FEM analysis shows a good agreement with experimental results and the welding sequence “from inside to outside” induced less distortion compared to “from outside to inside”. Also, by clamping one plate, the deformation almost locates at the free plate.

Keywords: Welding simulation, deformation, heat transfer, plate connection.

I. GIỚI THIỆU

Hiện nay, các liên kết không tháo được của kim loại dạng tấm được thực hiện chủ yếu bằng phương pháp hàn. Trong đó, với các tấm có chiều dày nhỏ hơn 5mm, phương pháp hàn 1 lớp thường được sử dụng. Trong lĩnh vực hàn các kim loại dạng tấm, bên cạnh các yêu cầu về độ bền, các yêu cầu về biến

dạng của kết cấu hàn ngày càng được tập trung nghiên cứu. Để giảm biến dạng của kết cấu hàn, ngoài các yêu cầu về vật liệu, qui trình hàn cũng là một trong các yếu tố quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến hình dạng của kết cấu sau hàn. Trước đây, để giảm biến dạng trong quá trình hàn, phương pháp thiết kế qui trình hàn theo kinh nghiệm luôn được

sử dụng. Tuy nhiên, với các thiết kế mới, vật liệu khác nhau, phương pháp thiết kế theo kinh nghiệm ngày càng bộc lộ nhiều điểm yếu. Với đà phát triển của công nghệ máy tính, phương pháp mô phỏng số ngày càng có các ứng dụng mạnh trong các lĩnh vực kỹ thuật khác nhau. Trong số đó, việc ứng dụng phương pháp mô phỏng nhằm dự đoán biến dạng của kết cấu ứng với các quy trình hàn khác nhau đang được tập trung nghiên cứu trong thời gian gần đây. Với phương pháp mô phỏng dùng cho công nghệ hàn, trước đây, do giới hạn của các thiết bị máy tính mô phỏng, mô hình 2D thường được sử dụng do tính ưu việt về thời gian mô phỏng. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, với các máy tính có tốc độ xử lý cao, cũng như các phần mềm mô phỏng mới, mô hình mô phỏng 3D cho quy trình hàn ngày càng được nghiên cứu nhiều hơn.

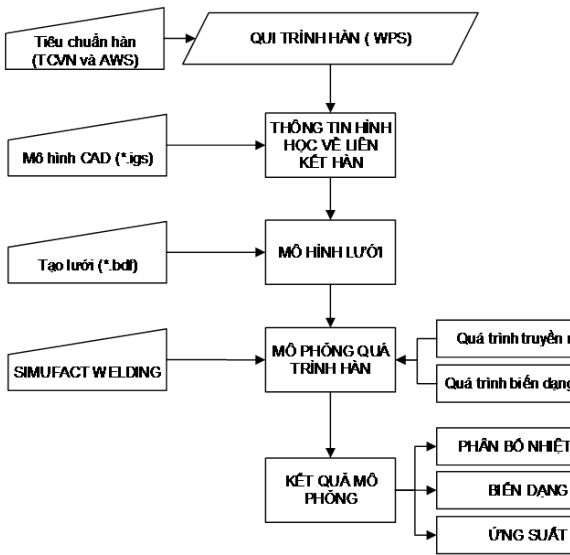
Khi mô phỏng với các mô hình 3D, các kết quả về phân bố ứng suất, nhiệt độ và biến dạng của kết cấu hàn sẽ được tính toán với kết quả chính xác hơn. Trong các mô phỏng về phân bố nhiệt lượng của quy trình hàn ống, *L. T. Teng* [1] đã cho thấy đường kính ống và độ dày của thành ống có ảnh hưởng lớn đến phân bố ứng suất tại mối hàn. Ngoài ra, để tăng độ chính xác cho mô phỏng, phương pháp hiệu chỉnh lưới tự động được ứng dụng trong quá trình phân tích [2]. Trong các nghiên cứu trước đây, phương pháp mô phỏng thường được kết hợp với thực nghiệm. Với phương pháp nghiên cứu này, liên kết hàn đầu mí cho hai ống inox đã được nghiên cứu [3]. Qua đó, ứng suất dọc trục và ứng suất vòng đã được quan sát với các thông số hàn khác nhau. Ngoài ra, các nghiên cứu gần đây cũng thường tập trung vào sự thay đổi của ứng suất với các điều kiện hàn khác nhau [4 – 8]. Các kết quả này cho thấy mô phỏng là một trong những phương pháp hữu hiệu nhất nhằm tìm ra nguyên nhân của biến dạng nhiệt, cũng như lập phương án nhằm tối ưu hóa các quy trình hàn ứng với các trường hợp khác nhau.

Trong các mô phỏng về liên kết hàn tấm bằng một lớp hàn [9 – 11], phương pháp phần tử “birth” và “death” thường được sử dụng. Đặc biệt, phương pháp này cho thấy nhiều ưu điểm trong việc mô phỏng quá trình điền kim loại vào vũng hàn. Bên cạnh đó, phân bố nhiệt lượng và ứng suất khi mô phỏng bằng phương pháp sử dụng phần tử “birth” và “death” cũng cho các kết quả khả quan trong các quy trình hàn nhiều lớp.

Trong bài báo này, phương pháp mô phỏng bằng phần tử dạng “birth” và “death” sẽ được sử dụng trong mô phỏng quy trình hàn đầu mí của hai tấm kim loại. Sau đó, các kết quả về biến dạng, phân bố nhiệt độ, ứng suất sẽ được ghi nhận và phân tích. Ngoài ra, các mô phỏng sẽ được tiến hành với các quy trình hàn khác nhau. Sau đó, bằng phương pháp thực nghiệm, các trường hợp này sẽ được tiến hành hàn trên các tấm kim loại thực. Biến dạng của các tấm kim loại sẽ được ghi nhận và so sánh với kết quả mô phỏng.

II. MÔ PHỎNG VÀ THÍ NGHIỆM

Hình 1 trình bày các bước cho quá trình mô phỏng quy trình hàn GMAW. Trong quy trình này, dựa vào tiêu chuẩn AWS – American Welding Standard, quy trình hàn sẽ được xác định. Sau đó, từ mô hình nghiên cứu, mô hình vật hàn sẽ được thiết kế (mô hình CAD). Từ đó, mô hình của kết cấu hàn sẽ được thiết kế trên cơ sở các thông số hình học của liên kết hàn và được chia lưới. Sau đó, mô hình lưới sẽ được kết hợp với các điều kiện biên về truyền nhiệt, biến dạng nhiệt và hình thành mô hình mô phỏng. Mô hình này sẽ được tiến hành mô phỏng, tính toán bằng phần mềm Simufact. Sau khi quá trình mô phỏng kết thúc, các kết quả về phân bố nhiệt độ, phân bố ứng suất và biến dạng sẽ được thu thập.



Hình 1: Quy trình mô phỏng biến dạng hàn.

Trong quá trình mô phỏng, thép carbon thấp AISI 1005 sẽ được sử dụng cho vật hàn với các thành phần hóa học và cơ tính được trình bày như Bảng 1 và 2.

Bảng 1: Thành phần hóa học của thép AISI 1005 [16]

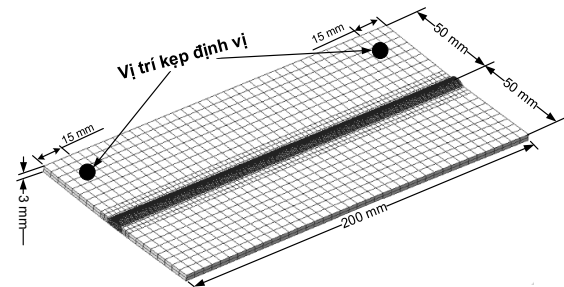
Standard	AISI 1005
% C	0.14 - 0.22
% Si	0.12 - 0.30
% Mn	0.40 - 0.65

Bảng 2: Cơ tính của thép AISI 1005 [16]

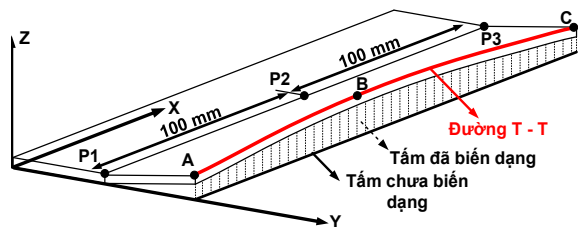
Material properties	Value
Young Modulus (GPa)	210 (at 20°C)
Minimum yield strength (MPa)	355
Poisson's ratio	0.33
Solidus temperature (°C)	1404
Liquidus temperature (°C)	1505

Hình 2 trình bày mô hình lưới của liên kết hàn. Trong quá trình mô phỏng, kết cấu sẽ được chính ở nhiệt độ môi trường. Vị trí kim

loại điền vào mối hàn sẽ được sử dụng bằng các phần tử dạng “birth” và “death”. Khi chia lưới, vị trí mối hàn sẽ được chia với các phần tử nhỏ và mịn. Với các vị trí cách xa mối hàn, nhằm rút ngắn thời gian mô phỏng, các phần tử lưới có kích thước lớn hơn sẽ được sử dụng.



Hình 2: Mô hình lưới.



Hình 3: Tọa độ và vị trí đo biến dạng của liên kết hàn.

Quy trình	Hướng hàn
1	P1 → P3
2	P1 → P2 ← P3
3	P1 ← P2 → P3

Hình 4: Quy trình hàn.

Trong nghiên cứu này, hai tấm kim loại có kích thước 200mm x 50mm x 3mm sẽ được sử dụng cho liên kết hàn đầu mí. Để quan sát các biến dạng của vật hàn trong và sau quá trình hàn kết thúc, toàn bộ mô hình được đặt trong hệ tọa độ như Hình 3. Theo phương pháp này, trục X sẽ song song với đường hàn, trục Z sẽ vuông góc với bề mặt kim loại vật hàn. Hình 4 trình bày các quy trình hàn khác nhau trong bài báo này. Các quy trình này sẽ được phân biệt bởi các điểm P1, P2

và P3 như sau:

- Qui trình 1: Hai tấm kim loại sẽ được hàn liên tục từ điểm P1 đến P3.
- Qui trình 2: Hai tấm kim loại sẽ được hàn “từ ngoài vào trong”, gồm hai bước: hàn từ điểm P1 đến P2, sau đó, hàn từ P3 đến P2.
- Qui trình 3: Ngược với qui trình 2, hai tấm kim loại sẽ được hàn “từ trong ra ngoài”, gồm hai bước: hàn từ điểm P2 đến P1, sau đó, hàn từ điểm P2 đến P3.

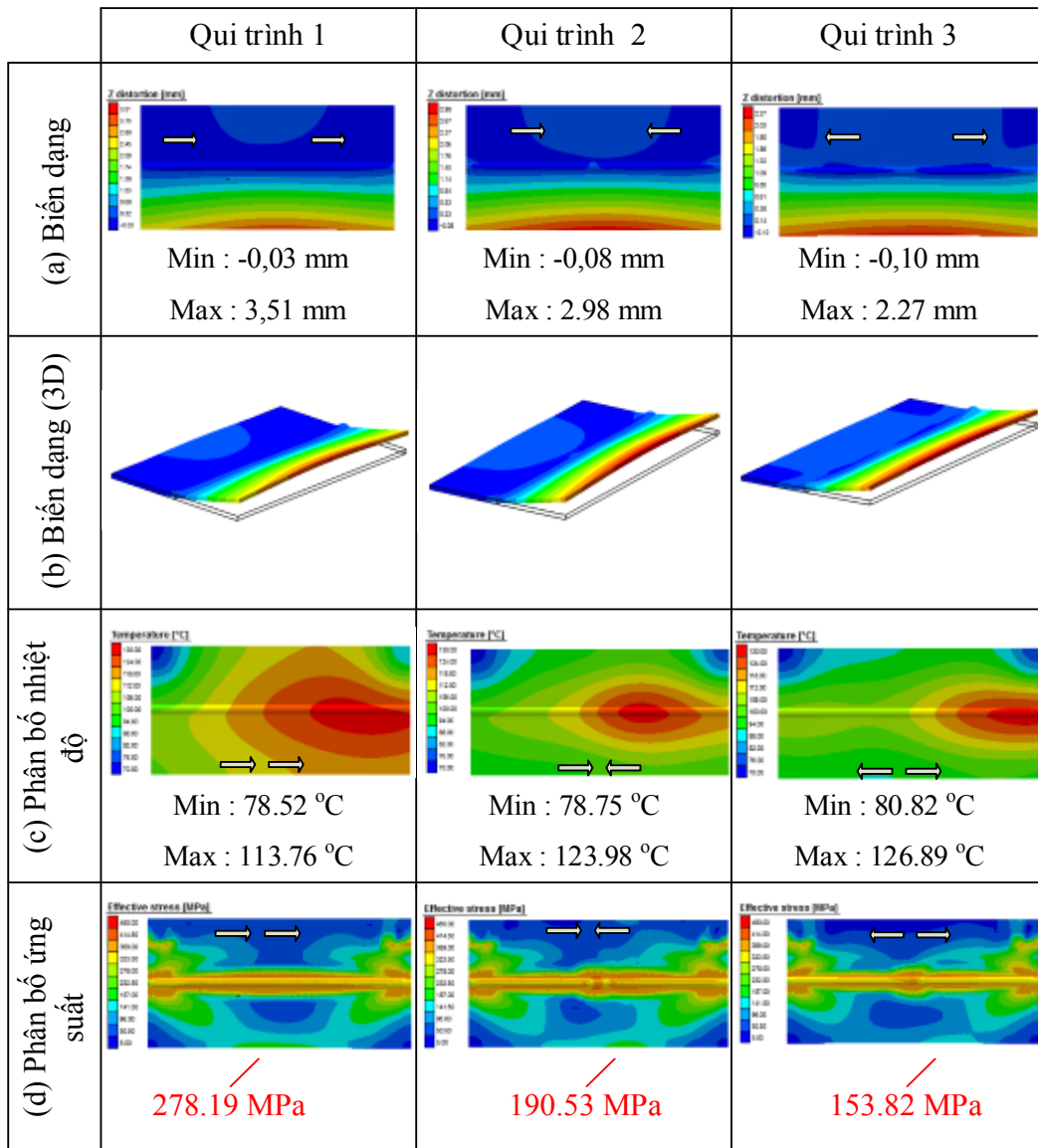
Sau khi quá trình mô phỏng kết thúc, các phân bố về nhiệt độ, ứng suất và biến dạng sẽ được thu thập. Ngoài ra, các giá trị này

tại đường T – T cũng sẽ được ghi nhận và so sánh. Các thông số hàn trong mô phỏng và thực nghiệm được sử dụng cùng giá trị, và được trình bày như Bảng 3.

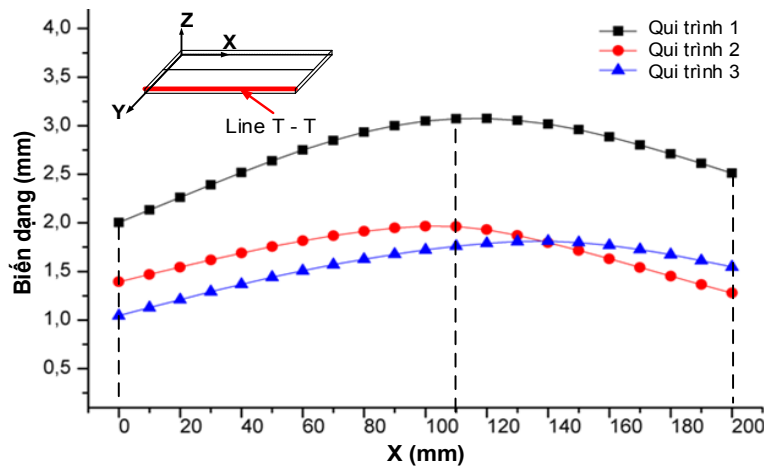
Bảng 3: Thông số hàn

Welding parameters	Unit	Value
Current	A	90
Voltage	V	21.6
Welding speed	mm/s	5.7

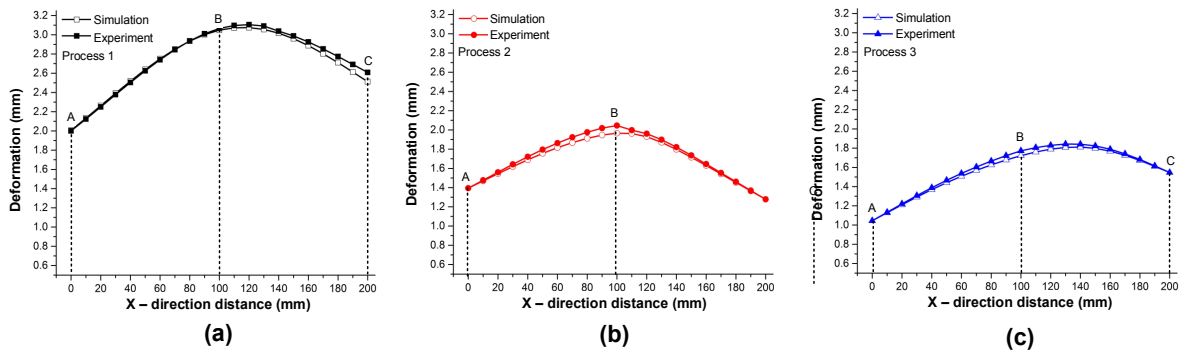
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 5: Kết quả mô phỏng tại cuối qui trình hàn.



Hình 6: Kết quả mô phỏng biến dạng tại đường T-T.



Hình 7: So sánh biến dạng tại đường T-T giữa mô phỏng và thực nghiệm.

Phân bố biến dạng của kết cấu hàn được trình bày như Hình 5a và 5b. Với các qui trình khác nhau (Hình 4), kết quả mô phỏng cho thấy biến dạng của hai tấm kim loại có dạng tương tự nhau. Tấm kim loại cố định có biến dạng nhỏ hơn nhiều so với tấm còn lại. Biến dạng lớn nhất tập trung tại đường T – T (Hình 3). Kết quả này có thể được giải thích bởi ảnh hưởng của lực kẹp đến độ biến dạng của vật hàn. Tại vị trí kẹp, biến dạng nhiệt gần như không xảy ra. Do đó, trong quá trình hàn, biến dạng tại tấm kim loại này được giảm đáng kể. Ngược lại, với tấm kim loại không được định vị, ứng suất nhiệt chính là nguyên nhân chính làm biến dạng chi tiết hàn.

So sánh các giá trị biến dạng giữa ba qui trình khác nhau, kết quả cho thấy biến dạng lớn nhất xuất hiện khi qui trình 1 được sử dụng. Với qui trình này, biến dạng tại đường

T-T thay đổi từ -0.3 mm đến 3.15 mm. Các giá trị biến dạng được giảm đi đáng kể khi qui trình 2 và 3 được sử dụng. Kết quả này có thể được giải thích bởi ứng suất nhiệt sinh ra trên các tấm kim loại trong quá trình hàn. Trong qui trình 1, nhiệt năng xuất hiện tại đường hàn trong suốt quá trình hàn từ điểm P1 đến P3. Tuy nhiên, với qui trình 2 và 3, với cùng lượng nhiệt năng như trên, các qui trình này được tiến hành gồm 2 bước. Do đó, nhiệt năng có thời gian truyền qua các vị trí xa đường hàn hơn và kết quả là phân bố nhiệt độ thấp hơn, dẫn đến phân bố ứng suất cũng giảm đáng kể. Kết quả về ứng suất và nhiệt độ có thể được quan sát bằng mô phỏng qua Hình 5c và 5d. Các giá trị về biến dạng được thu thập tại đường T-T và so sánh như Hình 6. Tương tự như phân bố nhiệt độ ở Hình 5a, tại đường T-T, biến dạng lớn nhất sẽ xuất hiện với qui trình 1.

Nhằm kiểm tra độ chính xác của kết quả mô phỏng, ba qui trình hàn GMAW được tiến hành thực nghiệm. Mỗi qui trình được hàn 10 lần, sau đó, độ biến dạng sẽ được đo tại vị trí T-T và giá trị trung bình giữa 10 lần đo này sẽ được sử dụng để so sánh với kết quả mô phỏng. Các kết quả so sánh giữa mô phỏng và thực nghiệm được trình bày như Hình 7. Qua đó, cho thấy kết quả mô phỏng và thí nghiệm rất giống nhau. Vị trí sai lệch lớn nhất xuất hiện do ảnh hưởng của nhiệt độ cao trong quá trình hàn, cụ thể như sau:

- Qui trình 1: Do hai tấm kim loại được hàn liên tục nên tại cuối đường hàn có nhiệt độ rất lớn. Điều này dẫn đến việc thay đổi các tính chất cơ học của vật liệu. Do đó, sai lệch giữa mô phỏng và thực nghiệm sẽ xuất hiện gần khu vực điểm C.
- Qui trình 2 và 3: Do các qui trình này được hàn gồm hai bước. Nhiệt độ cao nhất sẽ tập trung gần khu vực điểm B. Do đó hiện tượng sai số của mô phỏng là do đặc tính vật liệu xuất hiện tại khu vực này sẽ lớn hơn các khu vực khác.

IV. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, phương pháp hàn hồ quang trong môi trường khí bảo vệ được ứng dụng cho quá trình hàn đầu mí hai tấm kim loại. Ba qui trình hàn khác nhau đã được mô phỏng, thực nghiệm và đánh giá. Dựa vào các kết quả nghiên cứu, các vấn đề sau được tổng hợp:

- Khi kẹp chặt 1 tấm kim loại, biến dạng nhiệt sẽ tập trung tại tấm còn lại.
- Với cả 3 qui trình hàn, các tấm kim loại biến dạng với các dạng như nhau. Tuy nhiên, qui trình 1 sẽ cho giá trị biến dạng lớn nhất. Giá trị biến dạng sẽ giảm đáng kể khi qui trình 2 và 3 được sử dụng.
- Thông qua phương pháp mô phỏng, phân bố nhiệt độ và ứng suất đã được quan sát và phân tích. Các kết quả này đã được sử dụng nhằm giải thích sự biến dạng khác nhau giữa các qui trình hàn.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về kinh phí nghiên cứu trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường của trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. L. Teng and O. H. Chang, A study of residual stresses in multi-pass girth-butt welded pipes, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol 74, 1997, pp. 59–70.
- [2] P. Duranton, J. Devaus and V. Robin, 3D modelling of multipass welding of a 316L stainless steel pipe, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 153, 2004, pp. 457–463.
- [3] B. Brickstad and B. L. Josefson, A parametric study of residual stresses in multi-pass butt-welded stainless steel pipes, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol 75, 1998, pp. 11 – 25.
- [4] P. J. Bouchard and D. George, Measurement of the residual stresses in a stainless steel pipe girth weld containing long and short repairs, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol 105, 2004, pp. 81–91.
- [5] J. R. Cho, B. Y. Lee and Y. H. Moon, Investigation of residual stress and post weld heat treatment of multi-pass welds by finite element method and experiments, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 154, 2004, pp. 1690–1695.
- [6] C. D. Elcoate, R. J. Dennis and P. J. Bouchard, Three dimensional multi-pass repair weld simulation, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol 82, 2005, pp. 244–257.

- [7] Y. Shim, Z. Feng, S. Lee, D. Kim, J. Jaeger, J. C. Papritan and C. L. Tsai, Determination of residual stresses in thick-section weldments, *Welding Journal*, Vol 71, 1992, pp. 305–312.
- [8] S. Murugan, K. Sanjai, B. Rai and P. V. Kumar, Temperature distribution and residual stresses due to multipass welding in type 304 stainless steel and low carbon steel weld pads, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol 78, 2001, pp. 307–317.
- [9] H. Bergmann and R. Hilbinger, Numerical simulation of centre line hot cracks in laser beam welding of aluminium close to the sheet edge, *Mathematical Modelling of Weld Phenomena*, Vol 695, 1998, pp. 658-668.
- [10] Z. L. Feng, T. Zagharia and S. A. David, Thermal stress development in a nickel based super alloy during weld ability test, *Welding Journal*, Vol 76, 1997, pp. 470–483.
- [11] Z. L. Feng and C. L. Tsai, A computational analysis of thermal and mechanical conditions for weld metal solidification cracking, *Welding in the World*, Vol 42, 1996, pp. 340 – 347.
- [12] J. A. Goldak and M. Akhlaghi, *Computational welding Mechanics*. In: Springer, 2005.
- [13] J. Goldak, A. Chakravarti and M. Bibby, A new finite element model for welding heat source, *International Journal Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol 15, 1994, pp. 299-305.
- [14] Z. B. Dong and Y. H. Wei, Three dimensional modeling weld solidification cracks in multipass welding, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, Vol 46, 2006, pp. 56–165.
- [15] H. J. Zhang, G. J. Zhang, C. B. Cai, H. M. Gao and L. Wu, Numerical simulation of three-dimension stress field in double-sided double arc multipass welding process, *Materials Science and Engineering A*, Vol 499, 2009, pp. 309–314.