

MÉTODO PARA ANALISAR A DISTORÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW DO AÇO BAIXO CARBONO EM CHAPA ESTRUTURAL DOBRADA TIPO U

Josemairon Prado Pereira, josemairon.pereira@unesp.br¹

Edson Antonio Capello Sousa, edson.capello@unesp.br²

Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves, gilberto@unesp.br³

Jonatas Martins Pereira, jonatas.martins@unesp.br⁴

^{1,2,3,4}UNESP-Bauru-SP, DEM - Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, n. 14-01 - Vargem Limpa - 17033-360 - Bauru, SP.

Resumo: Diversos fatores podem afetar a fabricação e a montagem de estruturas metálicas, tais como os inerentes ao processo fabril, equipamentos, parâmetros de soldagem, consumíveis e o tipo de gás de proteção. E a distorção afeta a qualidade da estrutura metálica e obter recursos avaliativos dos limites normativos, é significativo para o ramo industrial onde se usa a chapa estrutural dobrada em sua linha produtiva é necessário a baixa variabilidade. Nesse ramo, as indústrias utilizam largamente a chapa dobrada, no aço ASTM A36 para obter juntas soldadas de alta qualidade e para isso, a distorção precisa permanecer dentro de limites confiáveis. Assim, este trabalho tem o propósito de apresentar um método para essa análise, denominada de técnica por escaneamento a laser focalizando o processo de soldagem MAG, com o uso do braço robótico Motoman UP6, quanto ao comportamento do aço estrutural em relação a distorção na junta soldada. Diante disto, o perfil de aço ASTM A36 em chapa dobrada tipo U 100x50x3,04 mm foram aplicados ao processo de soldagem MIG/MAG, em junta de topo, usando o arame-eletrodo AWS ER70S-6 na posição horizontal 2G. Neste processo, utilizou-se quatro tipos de juntas experimentais (com e sem pontes), proteção gasosa de 75%Ar-25%CO₂, e parâmetros de soldagem que permitiram manter constante a densidade de corrente. Para tanto, foram utilizados o método de escaneamento tridimensional para avaliação da distorção na junta soldada, pelo qual foram avaliadas baseando-se nos deslocamentos pontuais do corpo de prova, a fim de investigar essa distorção e seu comportamento devido ao calor de soldagem transferido pelas juntas soldadas. O resultado é apresentado através de um gradiente de cores, com valores de deslocamentos graduados milimetricamente na superfície da amostra e com relação aos resultados obtidos, verificou-se que a distorção apresentou deslocamento inferior a 0,45 mm na superfície da amostra. O aço ASTM A36 apresentou deformação próximo ao cordão, maiores que as bordas e pela tipologia do perfil as abas apresentam resistência, restringindo as translações pontuais produzindo aspectos visuais semelhantes pós resfriamento dos corpos de prova. Esse método de análise de distorção é compatível a implementação do sistema robótico.

Palavras-chave: Distorção, Método de avaliação, Escaneamento, Junta Soldada, Estruturas Metálicas

1. INTRODUÇÃO

As indústrias de construção de estruturas metálicas aplicam largamente a soldagem, processo no qual as distorções ocasionadas em perfis de aços constituem um dos fatores que necessitam permanecer com baixa variabilidade, inseridos em valores confiáveis (Mvola, 2013).

Tal ocorrência estende-se ao longo do elemento estrutural, e seus efeitos resultam de uma complexa interação entre as restrições geométricas do projeto e as deformações provocadas pelas tensões internas impostas pelo ciclo térmico de soldagem (Fu *et al.*, 2016).

Distorções excessivas em locais não determinados, certamente, causam problemas imprevisíveis de empenamento, desalinhamento e ondulações, os quais dificultam os encaixes e posicionamentos previstos na montagem da estrutura metálica, comprometendo o prosseguimento da obra (Chen *et al.*, 2015; Islam *et al.*, 2014).

Ademais, esses contratempos podem ser amplificados, devido às tensões internas introduzidas pelo encruamento microestrutural, se os perfis estruturais são obtidos a partir da conformação a frio de chapas de aço, principalmente na região deformada (Vergilio, 2011).

A definição correta dos procedimentos de soldagem é um dos requisitos preceps no controle das distorções induzidas pelo processo. Diversos métodos têm sido desenvolvidos para estudá-las, porém, poucas são as correlações de ordem prática (Soares, 2006; Jang *et al.*, 2007). A aparente limitação pode estar associada à intrincada formulação analítica

envolvida nos modelos utilizados, que contemplam elevado número de variáveis intervenientes, mas sem o entendimento preciso das implicações de algumas delas (Liang; Murakawa, 2014; Kim *et al.*, 2015).

Os métodos adotados recentemente para analisar a distorção são a leitura a laser e radiografia digital, sendo que, no primeiro, os feixes de laser são direcionados para a chapa soldada, medindo o deslocamento da chapa no momento da soldagem, enquanto, o segundo é realizado através da emissão do raio-x na chapa soldada, gerando uma imagem e se analisando o deslocamento, por meio da imagem gerada (Silva, 2018; Lundgren, 2010).

Logo, é fundamental dispor também de um método experimental mais direto, derivado, por exemplo, do tratamento de imagens, o qual possibilite mostrar as superfícies das distorções em juntas soldadas.

Este trabalho apresenta os resultados do uso de imagens digitais integradas em aplicativo de análise de casca, de sorte a avaliar as distorções geradas na soldagem MAG, com diferentes modos de fixação de juntas compostas por perfis estruturais dobrados a frio (Pereira; Gonçalves, 2017).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O aço ASTM A-36 de espessura de 3,0 mm, na forma de perfil tipo “U” dobrado a frio, foi usado como metal de base. O arame-eletrodo de especificação AWS ER70S-6, diâmetro de 1,0mm, participou como metal de adição. A proteção gasosa das soldas foi realizada pela mistura 75% Ar-25% CO₂, na vazão de $2,1 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Para isto, foram tomados um conjunto de amostras constituídos de 80 unidades.

2.2. Métodos

A composição das juntas de solda foi feita por dois perfis tipo “U”, cortados nas dimensões de 100 x 84,4 x 50 mm, posicionados de topo e fixados tanto em separado quanto com aplicação de pontos de solda entre eles, na quantidade de três e cinco, distribuídos diferentemente, ao longo da secção transversal da junta. A Figura 1 representa, esquematicamente, a montagem das juntas para soldagem. Os cortes da chapa foram realizados por equipamento provido de serra fita.

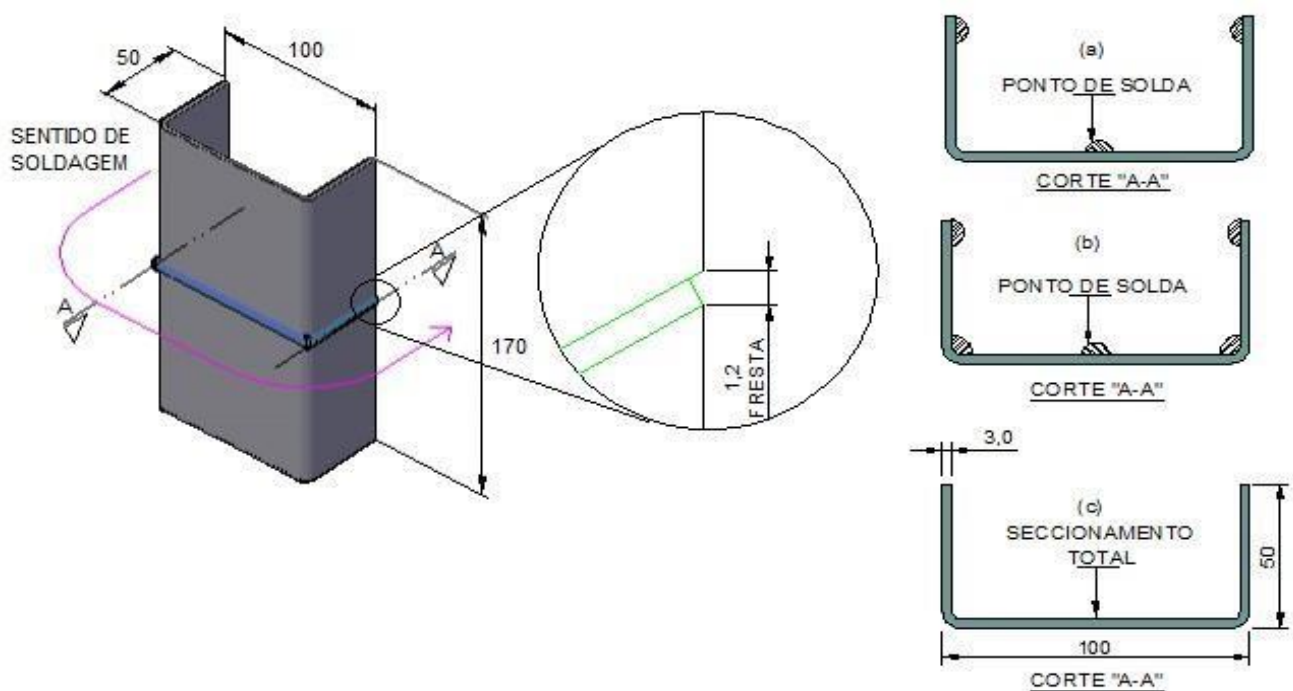


Figura 1. Montagens das juntas para a soldagem: (a) com três pontos de solda; (b) com cinco pontos de solda; (c) e seccionamento total.

As soldas foram executadas pelo processo MAG convencional, com deslocamento da tocha feito por um braço robótico Motoman UP6 e controlador Yasnac XRC, adaptado e programado para executar as operações de soldagem em único passe, na posição horizontal e no sentido da esquerda para a direita, como indicado na Figura 2 e Figura 3, com distância do bico de contato na peça de trabalho de 1mm, em todas os experimentos.



Figura 2. Sistema de deslocamento da tocha: adaptação em braço robótico;



Figura 3. Sistema de deslocamento da tocha: fixação da junta e posicionamento da tocha de soldagem.

Os valores instantâneos da corrente e tensão de soldagem, mais a velocidade de alimentação do arame-eletrodo, foram compilados por meio do sistema de aquisição e processamentos de dados SAP-V4.23-IMC. A Tabela 1 disponibiliza os valores médios dessas variáveis.

Tabela 1. Valores dos parâmetros de soldagem utilizados

Us (V)	Is (A)	Va (mm/s)	Vs (mm/s)
20,5	160,6	108,3	10,0

Us, Is, Va e Vs, são, respectivamente, tensão, corrente, velocidade de alimentação do arame-eletrodo e velocidade de soldagem.

A técnica desenvolvida consiste na reconstrução e sobreposição de imagens digitais dos perfis componentes da junta, antes e depois, das soldas, a partir de dados compilados com um escâner tridimensional a laser de base giratória.

Ou seja, o escâner tridimensional empregado é um aparelho que faz incidir dois feixes de laser sobre o objeto em cobertura de 360°, que, com uma câmera de alta definição, registra os dados de retorno dos mesmos, permitindo a reconstrução seguinte da imagem, com detalhes superficiais, textura e cor. No caso, esses dados foram gerados na taxa de 2.000 pontos por segundo, realizando a varredura ao longo da superfície do perfil em análise, com precisão de escaneamento 0.027 mm. A Figura 4 mostra uma das juntas soldadas, posicionada para ser copiada com o escâner.



Figura 4. Imagem escaneada

Os pontos assim registrados, para as condições antes e depois das soldas, codificados em coordenadas tridimensionais, formaram, respectivamente, os arquivos base e principal. As imagens foram reconstruídas e sobrepostas, usando-se o software computacional Atos Professional V.75S4, através da combinação pontual das informações armazenadas nesses arquivos.

Em etapa anterior, a cada escaneamento, foi aplicada sobre as superfícies dos perfis uma fina película com camada de aproximadamente 75 micras de pó de silicato de magnésio hidratado, $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, misturado na proporção 1:1 com agente lubrificante, para atenuar o efeito altamente reflexivo do metal e, por conseguinte, melhorar a leitura de pontos pelo feixe de laser. A iluminação ambiente também foi controlada com luz auxiliar, a fim de manter constante a claridade sobre as amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método utilizado permitiu conhecer uma varredura de valores superficialmente em todo o corpo de prova com precisão milimétrica.

A Figura 5 apresenta as imagens das juntas soldadas nas condições com e sem aplicação de pontos de soldas, produzidas pela técnica de reconstrução e sobreposição de dados digitais, em que estão delineadas as superfícies das distorções ocorridas.

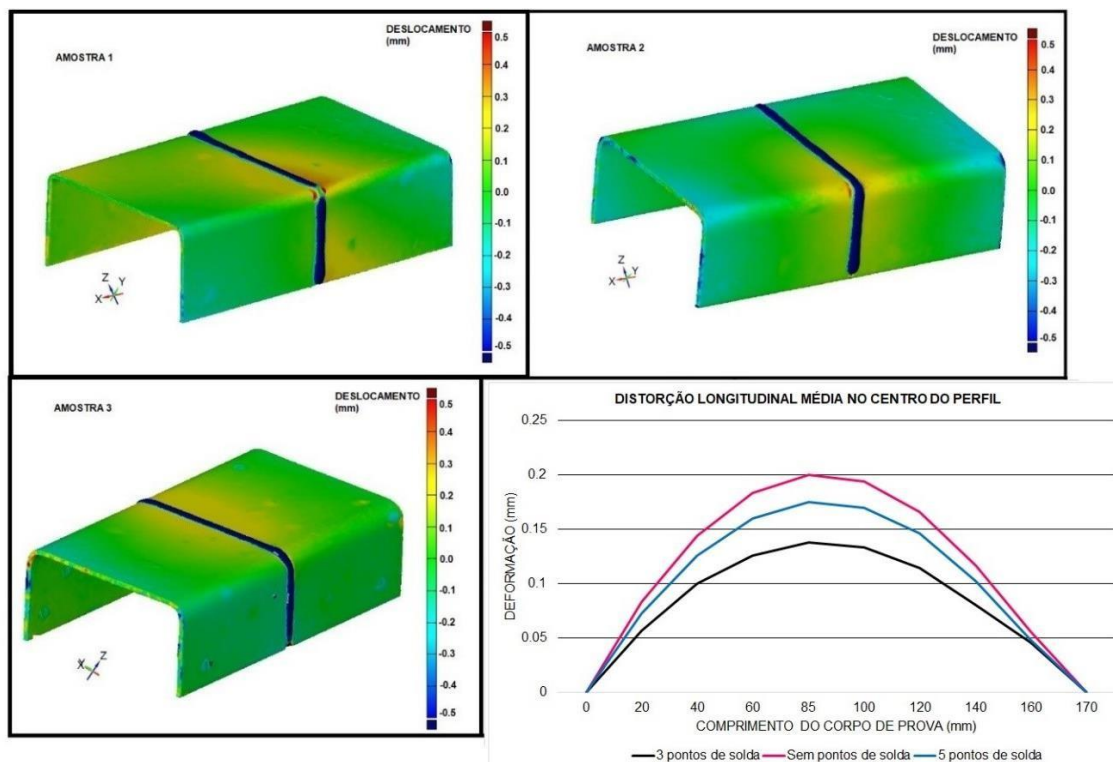


Figura 5. Distorção nas amostras: Amostra 1 – Sem pontos de solda; Amostra 2 – 3 pontos de solda; Amostra 3 – 5 pontos de solda.

As distorções nas amostras foram semelhantes; isso se deu, provavelmente, devido à única direção de soldagem.

Os aços carbono ASTM A36 mostraram resultados da distorção com discretas diferenças imperceptíveis visualmente; acredita-se ser pela razão da minimização da deformação da junta, deformação esta gerada pelo aquecimento e resfriamento, causando a dilatação e a retração, as quais, de certa forma, são impedidas com a presença das dobras do perfil metálico.

As abas serviram de suporte contra a distorção, o que levou ao empenamento dos cantos, na ordem de 400 μm . De modo geral, onde as abas exibiram deformações, na ordem de 80 μm , isso ocorreu fora do plano da aba; na alma, ocorreu repuxo de maior dimensão, formando uma depressão, provavelmente por causa da capacidade de suporte das abas, na ordem de 230 μm , que, conseqüentemente, leva ao empenamento menor de 270 μm .

Como o aporte de energia térmica e o tempo de resfriamento da amostra, após a soldagem, estão diretamente ligados com a distorção, o tempo de resfriamento, nesse caso, para se atingir a temperatura ambiente, foi de 20 minutos, medianamente; em contrapartida, a entrada de calor é praticamente instantânea e acumulativa, pelo limite curto da chapa dobrada, impedindo a radiação, a qual é um fator benéfico para o resfriamento. Por outro lado, com a presença das abas, há uma considerável recaptura do calor por convecção, pelo lado interno da seção. O balanço total de calor entrado é idêntico ao perdido, pois, como é sabido, a ocorrência rápida do aquecimento e o lento resfriamento causam as deformações. As expansões e as retrações são motivadas, de forma que, mantendo-se a velocidade de soldagem, resultam no mesmo comportamento de distorção. Logo, pode-se dizer que há influência, nas condições de deformação, da espessura da chapa usada, do formato de dobramento da chapa estrutural e do tipo de aço, em relação a sua condutividade térmica.

4. CONCLUSÃO

O aço ASTM A36 apresentou distorções semelhantes, não ultrapassando o valor máximo de 450 μm .

A presença de abas na chapa de aço estrutural dobrado aumenta a resistência à distorção.

Tem-se melhor comportamento da distorção no perfil preparado com mais pontos de solda, devido à retração impedida pelos pontos à frente do percurso de soldagem.

O desempenho do processo de soldagem é otimizado em relação à distorção na junta preparada com cinco pontos de solda.

A deformação, em função da distorção, sempre é maior no lado onde se inicia o percurso de soldagem do cordão de solda, causada pelo aquecimento.

Através do método proposto foi possível avaliar as distorções, sendo uma proposta para a área industrial. Este método de avaliação de deformação suporta um sistema robotizado.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNESP – Campus de Bauru – SP.

6. REFERÊNCIAS

- Chen, Z., Yongchao; Yu, Rui; Zhou, Quan; Chen, Heming; Yuan, Wei; Zhang. Influence of welding sequence on welding deformation and residual stress of a stiffened plate structure. *Ocean Engineering*, v. 106, n. 1, p. 271-280, 2015.
- Fu, G.; Lourenço, M. I.; Duan, M. Influence of the welding sequence on residual stress and distortion of fillet welded structures. *Marine Structures*, v. 46, p. 30-55, 2016.
- Islam, M., Afieq, W.M.. Simulation-based numerical optimization of arc welding process for reduced distortion in welded structures. *Finite Elements in Analysis and Design*, v. 84, n. 1, p. 54-64, 2014.
- Jang, C. D. Xiaoxia; Wu, Chuansong; Zhang, Guokai; Chen, JI. Welding Distortion Analysis of Hull Blocks Using Equivalent Load Method Based on Inherent Strain. *International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures*, v. 10, p. 1-5, 2007.
- Kim, T.; Jang, B.; Kang, S. Welding deformation analysis based on improved equivalent strain method considering the effect of temperature gradients. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, v. 7, n. 1, p. 157-173, 2015.
- Liang, W.; Murakawa, H. Predicting Welding Distortion in a Panel Structure with Longitudinal Stiffeners Using Inherent Deformations Obtained by Inverse Analysis Method. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1-8, 2014.
- Lundgren, E. A. J. N. Avaliação da integridade da união de chapas navais por soldagem com alto grau de distorção utilizando radiografia digital. 2010. 105 f. *Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Engenharia Naval e Oceânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife*, 2010.
- Mvola, B. Applications and benefits of adaptive pulsed GMAW. *Mechanika*, v. 1, n.1, p. 694-701, 2013.
- Pereira, J. P.; Gonçalves, G. M. B. Análise de distorção e corrosão em perfil estrutural soldado tipo U dobrado. *Engenharia: Estudo e pesquisa*, n. 01, v. 17, p. 11-17, jan./jun. 2017.

- Silva, R. M. Avaliação de tensões residuais e validação da resistência mecânica de juntas soldadas conforme ASME IX 2017. 2018. 142 f. *Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.*
- Soares, H. C. G. Estudo de sequência de soldagem para redução e eliminação de distorções. 2006. 95 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.*
- Vergílio, S. A. L. Ligações em estruturas metálicas com ênfase em perfis formados a frio. 2011. 157 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2011.*

7. RESPONSABILIDADES AUTORAIS

Os autores são únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

METHOD FOR ANALYZING THE DISTORTION IN THE GMAW WELDING PROCESS OF THE LOW CARBON STEEL IN STRUCTURED BENT PLATE TYPE U

Josemairon Prado Pereira, josemairon.pereira@unesp.br¹

Edson Antonio Capello Sousa, edson.capello@unesp.br²

Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves, gilberto@unesp.br³

Jonatas Martins Pereira, jonatas.martins@unesp.br⁴

^{1,2,3,4}UNESP-Bauru-SP, DEM - Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, n. 14-01 - Vargem Limpa - 17033-360 - Bauru, SP.

Abstract. Several factors can affect the fabrication and assembly of metallic structures, such as those inherent to the manufacturing process, equipment, welding parameters, consumables, and the type of shielding gas. Distortion is the main parameter that affects the quality of the metallic structure and obtaining evaluative resources of the normative limits is significant for the industrial branch where the folded structural sheet is used in its production line. Industries widely use sheet metal bent in ASTM A36 steel to obtain high quality welded joints and for this the distortion needs to remain within reliable limits. Thus, this work aims to present a method for distortion analysis, called the laser scanning technique, especially for the MAG welding process using the Motoman UP6 robotic arm. In view of this, an ASTM A36 steel profile in bent sheet U type 100x50x3.04 mm was welded by the MIG/MAG process, in a butt joint, using the AWS ER70S-6 electrode wire in the 2G horizontal position. In this process, four types of experimental joints were used (with and without dotting), gas shielding of 75%Ar-25%CO₂, and welding parameters that allowed keeping the current density constant. The three-dimensional scanning method was used to evaluate the distortion in the welded joint, by which, based on the punctual displacements of the specimen, the distortions and behavior due to the welding heat transferred by the welded joints were evaluated. The result is presented through a color gradient, with displacement values graduated in millimeters on the surface of the sample. Regarding the results obtained, it was found that the distortion showed a displacement of less than 0.45 mm on the surface of the sample. The ASTM A36 steel showed deformation close to the bead, greater than the edges and due to the profile typology, the flanges present resistance, restricting punctual translations producing similar visual aspects after cooling of the specimens. The method evaluated to improve the efficient way to be implemented in a robotic system.

Keywords: Distortion, Evaluation, Method Scanning, Welded joint, Metallic structures