

## **INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO MATERIAL SOBRE A DISTORÇÃO ANGULAR DE JUNTAS SOLDADAS À TOPO**

HEISSLER, Rodrigo Joel<sup>1\*</sup>, SCHULZ, Marcio<sup>2</sup>, DALCIN, Rafael Luciano<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: rh001864@fahor.com.br

### **RESUMO**

Na soldagem em juntas topo, a distorção angular provoca variações geométricas, assim dificultando os processos de montagem, afetando a qualidade visual e funcional do componente. As distorções angulares são oriundas de diversos fatores que ocorrem durante a soldagem, sendo assim, a padronização de soldagem se torna essencial para o seu controle. Desta forma, o objetivo deste estudo é realizar um estudo experimental para analisar a influência da espessura do material sobre a distorção dimensional no processo de soldagem MAG. Portanto, dezoito conjuntos foram soldados (com três distintas energias de soldagem) sobre chapas do aço SAE 1020 com três espessuras (4,75 mm, 6,35 mm e 9,5mm), sendo três peças soldadas com passe único e três peças com três passes de solda. Foi constatado que a distorção angular está diretamente ligada a entrada de calor, número de passes e adição de material, podendo assim, realizar uma previsão de distorção angular relacionando os resultados obtidos.

**Palavras chave:** Processo de soldagem MAG. Efeitos da espessura do material. Distorção angular. Juntas à topo.

## **INFLUENCE OF MATERIAL THICKNESS ON ANGULAR DISTORTION OF BUTT WELDED JOINTS**

### **ABSTRACT**

In butt-welded joints, angular distortion causes geometric variations, thus making the assembly processes difficult, affecting the visual and functional quality of the component. Angular distortions arise from several factors that occur during welding, so standardization of welding becomes essential for its control. In this way, the objective of this study is to carry out an experimental study to analyze the influence of material thickness on dimensional distortion in the MAG welding process. Therefore, eighteen assemblies were welded on three sheets of SAE 1020 steel with three thicknesses (4.75 mm, 6.35 mm and 9.5 mm), three welds with single pass and three pieces with three welding passes. It was verified that the angular distortion is directly related to the heat input, number of passes and addition of material, thus, making possible the prediction of angular distortion relating the obtained results.

**Keywords:** MAG welding process. Effects of material thickness. Angular distortion. Butt joints.

## **INTRODUÇÃO**

A operação de soldagem é um processo mecânico de junção de materiais muito utilizado na indústria, em virtude de sua ampla gama de aplicações e facilmente adaptada em processos variados, que apresentam características diversas. Ao longo de um processo de soldagem, o calor gerado sobre os materiais proporciona mudanças nas propriedades dos metais devido ao calor transmitido. Este aquecimento causa grande distorção em função das tensões térmicas desenvolvidas durante a operação de soldagem, assim afetando a qualidade do produto. A distorção e empenamento ocorrem durante e após a soldagem, em seu processo de aquecimento e resfriamento do material (AWS, 1987).

Para Gerhardt (2006), a distribuição homogênea de calor e o resfriamento controlado diminuem as tensões residuais longitudinais e elimina o empenamento da chapa. Porém, cada montagem tem uma forma singular e requer um estudo específico para se determinar o melhor método de controle de distorção. Nesse experimento específico, será realizada a soldagem MAG sobre chapas do aço SAE 1020, com três espessuras distintas (4,75 mm; 6,35 mm e 9,5 mm). Pretende-se com esse trabalho, analisar o efeito da distorção angular nas juntas soldadas, e verificar o quanto a espessura da chapa influencia na distorção do conjunto soldado.

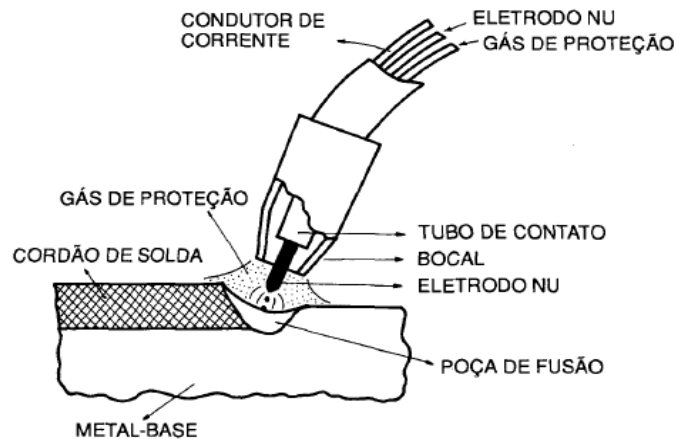
## **2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS**

### **2.1 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **2.1.1 Fundamentos do processo de soldagem MAG**

A soldagem é um processo que tem por objetivo unir duas ou mais peças de composição compatível, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas. Esta união é gerada pelo aquecimento até uma determinada temperatura, onde poderá ser aplicada uma pressão e/ou conter material de adição (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). A Figura 1 apresenta a esquemática do processo de soldagem MAG.

Figura 1: Esquemática do processo de soldagem MAG.



Fonte: Wainer; Brandi; Mello (2004).

A soldagem a arco elétrico, com proteção por gás e eletrodo consumível (MIG/MAG), é estabelecida entre um arame nu continuamente alimentado e a peça. A proteção do mesmo e da poça de fusão é realizada por gás que flui pelo bocal da tocha de soldagem, concentricamente com o arame. São utilizados gases inertes, como argônio e hélio, ou também do tipo oxidante, denominado gás ativo, tais como  $\text{CO}_2$ , argônio+ $\text{CO}_2$ , argônio+ $\text{O}_2$ , ou então, uma combinação destes três gases. A operação é semiautomática ou automática, sendo que podem ser soldadas ligas ferrosas ou não-ferrosas (MACHADO, 1996).

O processo de soldagem MAG é hoje empregado desde em pequenas indústrias, até aquelas responsáveis por grandes produções e alta qualidade, e, devido a sua versatilidade, o mesmo vem elevando sua participação no mercado de soldagem. Pois, possibilita o destacamento da gota metálica em diferentes níveis de correntes e modos de transferências metálicas, podendo ser aplicado numa ampla faixa de espessura dos materiais, além de proporcionar condições para a soldagem em todas as posições (ALVES, 2009).

### 2.1.2 Efeitos da energia de soldagem e consumíveis sobre a distorção de juntas soldadas

Na soldagem, o aquecimento é localizado e a temperatura não é distribuída, uniformemente, e alterações industriais e metalúrgicas ocorrem ao longo da junta durante o processo. O metal de solda e a zona afetada pelo calor adjacente ao cordão de solda estão à temperatura acima da temperatura do metal base. Quando a poça solidifica e contrai, provoca tensões que podem gerar distorções quando a estrutura está livre ou tensões residuais quando a estrutura é restringida por algum elemento de fixação (AWS, 1987).

É usual determinar o procedimento de soldagem, por requisitos de produtividade e qualidade, do que pela necessidade de controlar distorções. Entretanto, o processo de soldagem, a técnica e a sequência influenciam o nível de distorções (LUCAS *et al.*, 1998).

De acordo com Soares *apud* Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem - FBTS (2006), a distorção na soldagem é o resultado da expansão e contração do metal de solda e metal base durante o ciclo térmico (aquecimento e resfriamento) do processo de soldagem. Durante o aquecimento e resfriamento, vários fatores influenciam as contrações do metal e causam a distorção, bem como alteram as propriedades físicas e mecânicas com o aporte de calor aplicado. Estas alterações afetam inclusive o fluxo e a uniformidade da distribuição de calor, sendo esta última à causa mais significativa para a deformação dos materiais durante a soldagem.

Durante soldagens de juntas topo, Nagy (2012) comenta que a contração elástica na parte superior é maior do que na parte inferior, assim causando a distorção angular. TWI (2016) comenta sobre a influência do número de passes em sobre a distorção. Em uma única junta em V, efetuando um único depósito de solda, produz menos distorção angular do que a soldagem realizada com várias pequenas passagens. Além do que, o grau de distorção angular é aproximadamente proporcional ao número de passes.

A distorção angular se amplifica com a espessura da placa, devido à quantidade crescente de metal de solda depositado, assim, aumentando as forças de contrações. Do mesmo modo, para ângulos iguais de ranhura e uma mesma entrada de calor, o número de passagens aumenta com o aumento da espessura, contribuindo para o aumento da distorção angular (KOU, 2003).

### **2.1.3 Métodos para prevenir a distorção angular**

Na soldagem de juntas topo, a distorção angular provoca variações dimensionais, o que dificulta processos de montagem, afetando a qualidade visual e funcionalidade. Segundo Murugan e Gunaraj (2005), a restrição de movimento das placas reduz a distorção angular, porém produz altas tensões residuais, podendo causar rachaduras e redução da resistência da junta soldada. Pilipenko (2001) apontou que uma parcela da distorção ocorre quando o material é exposto a temperaturas elevadas (superiores a 1000 ° C para aços), e procedimentos pós-soldagem antes que a estrutura arrefeça completamente. Portanto, se a articulação é restrita a essas temperaturas, o metal de solda não sofre deformação plástica, reduzindo a distorção.

De acordo com Wentz (2008), com a popularização dos computadores e avanço na capacidade de processamento, complexas simulações numéricas começaram a ser viáveis. O Método dos Elementos Finitos (F.E.M) se destaca pela generalidade e vários campos da física, podendo ser abordados usando a mesma metodologia. A possibilidade de executar análises envolvendo o acoplamento de diferentes equações diferenciais e efeitos transientes permitem, na área de soldagem, simular processos caracterizados como não-lineares e acoplar os efeitos em vários fenômenos físicos. Para Barroso *et al.* (2010), este fato deve-se à elevada complexidade do fenômeno de soldagem e a não linearidade envolvida na análise térmica e estrutural, dificultando a aplicação prática. Sendo assim, métodos experimentais, analíticos e estatísticos tornam-se uma alternativa viável para a previsão da distorção na soldagem.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Metal base

Chapas do aço SAE 1020 com dimensões 100 mm × 87,5 mm, e espessuras 4,75 mm; 6,35 mm e 9,5 mm foram utilizados como metal base. A Tabela 1 apresenta a composição química e as propriedades mecânicas do metal base utilizado.

Tabela 1: Composição química e propriedades mecânicas do metal base SAE 1020.

Elemento químico (% em massa)				Propriedades Mecânicas	
C%	Mn%	P, Máx	S, Máx	Resistência a Tração (Mpa)	400
0,18 a 0,23	0,30 a 0,60	0,04	0,05	Resistência ao escoamento (Mpa)	255
				Alongamento (%)	36

Fonte: Oliveira *et al.* (2009).

### 2.2.2 Procedimento de preparação das amostras

As amostras de aço SAE 1020 com chanfro em V foram usinadas através de uma fresadora de bancada, com as seguintes características: ângulo de bisel de 45°, ângulo de chanfro de 90°, abertura raiz de 1,5 mm e dimensões de 100 mm x 87,5 mm. Os experimentos foram classificados em três grupos distintos de acordo com a espessura da chapa: grupo 1 - 100 mm x 87,5 mm x 4,75 mm; grupo 2 - 100 mm x 87,5 mm x 6,35 mm; grupo 3 - 100 mm x 87,5 mm x 9,5 mm.

### 2.2.3 Procedimento de soldagem

As juntas a topo foram soldadas na posição plana, pelo processo MAG com gás de proteção argônio + CO<sub>2</sub> (10%) e vazão de 18 l/ min. As soldas foram realizadas com o arame maciço AWS ER70S-6, com diâmetro 1,0 mm. A Tabela 2 apresenta as propriedades mecânicas do metal de adição utilizado.

Tabela 2: Propriedades mecânicas do metal de adição AWS ER70S-6.

Propriedades Mecânicas do material de adição	
Alongamento	22%
Resistência a Tração	480 N/mm <sup>2</sup>
Limite de Escoamento	400 N/mm <sup>2</sup>

Fonte: (TECBRASALLOYS,2017).

Os experimentos foram realizados utilizando a técnica de soldagem com passe único e três passes sobre chapas do aço SAE 1020, com espessuras de 4,75 mm, 6,35 mm e 9,5 mm. Diferentes energias de soldagem foram produzidas através da variação da velocidade de soldagem, tensão e corrente. A Tabela 3 apresenta os parâmetros de soldagem utilizados.

Tabela 3: Parâmetros de soldagem utilizados.

Espessura da chapa	Número de passes	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (mm/s)	Energia de Soldagem (kJ/min)	Velocidade de alimentação do arame (m/min)
4,75 mm	<b>Grupo 1</b>					
	1 passe	23	175	5,6	0,5	0,45
	3 passes	23	175	5,6	0,5	0,45
6,35 mm	<b>Grupo 2</b>					
	1 passe	24	210	5,4	0,65	0,4
	3 passes	24	210	5,4	0,65	0,4
9,5 mm	<b>Grupo 3</b>					
	1 passe	26	280	4,8	1,06	0,3
	3 passes	26	280	4,8	1,06	0,3

Fonte: Autores (2017).

### 2.2.4 Caracterização das amostras

Após o processo de soldagem, realizou-se o procedimento de medição com goniômetro com resolução de 5 minutos, verificando as distorções sofridas pelos corpos de prova. A Figura 2 mostra o método utilizado para medição da distorção angular dos conjuntos soldados.

Figura 2: Método de medição das amostras.



Fonte: Autores (2017).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Toda a análise e direcionamento, para verificar a influência da espessura do material, na distorção angular de juntas soldadas a topo, estão fundamentados, cientificamente, nos preceitos desenvolvidos pelos estudiosos mencionados na Revisão Bibliográfica. Como o desenvolvimento desta pesquisa visa uma análise experimental, foram soldados 18 corpos de prova, sendo três com um passe de solda e outros três com três passes de solda, para as espessuras de 4,75 mm, 6,35 mm e 9,5mm. Portanto, foram avaliados de forma dimensional e visual para implementar os recursos necessários para o controle total do processo.

Como parâmetro para controle da distorção, todos os corpos de prova foram avaliados, quanto a dimensões, paralelismo e empenamento, anterior a soldagem. Após a execução do processo de solda, os corpos de prova foram reavaliados, possibilitando uma análise comparativa para identificar variações dimensionais e quantificar sua magnitude.

### 2.3.1 Avaliação dos corpos de provas

As avaliações dimensionadas foram verificadas através de transferidor de ângulo, com resolução de 5min, obtendo os seguintes resultados:

Grupo 1: Corpo de prova - 100 mm x 87,5 mm x 4,75 mm:

- Soldagem com um passe foi obtido uma média de variação de 0,5°;
- Soldagem com três passes se obteve uma média variação de 1,5°;

Grupo 2: Corpo de prova - 100 mm x 87,5 mm x 6,35mm:

- Soldagem com um passe foi obtido uma média de variação de 1°;
- Soldagem com três passes se obteve uma média de variação de 2°;

Grupo 3: Corpo de prova - 100 mm x 87,5 mm x 9,5 mm:

- Soldagem com um passe foi verificado média de variação de 1°;
- Soldagem com três passes foi obtido média de variação de 2,5°.

A soldagem com único passe, utilizada nos grupos 1, 2 e 3, apresentou uma variação angular relativamente menor em relação a soldagem com três passes. Isto se explica devido à entrada de calor durante o processo de soldagem, o qual aumenta proporcionalmente com o número de passes.

Portanto, pode-se verificar que com um número maior de passes e maior entrada de calor, a distorção angular aumenta gradativamente, resultando em maiores variações no experimento de soldagem.

## CONCLUSÃO

De acordo, com os resultados obtidos nos experimentos e análises dos resultados, as seguintes conclusões podem ser obtidas:

A distorção angular produzida nos experimentos que utilizaram somente um passe, independentemente da energia de soldagem utilizada em cada teste, permite o desenvolvimento de um procedimento de previsão da distorção angular final.

Verificou-se nos experimentos que a distorção angular aumenta proporcionalmente com o aumento dos passes de solda. Esta avaliação tem importância significativa para a compreensão de como a distorção angular é influenciada, pela entrada de calor e deposição de material, inseridos nas articulações.

A previsão da distorção angular pode ser realizada através de uma projeção, utilizando os resultados obtidos ao longo dos experimentos. Estes resultados podem ser usados para expandir a previsão da distorção angular, relacionando a energia de soldagem e o número de passes, alcançando um processo de soldagem padronizado.

Com estas evidências, este método pode ser aplicado em outras situações, tais como variados processos de soldagens, soldas em ranhuras e ângulos diferenciados, espessuras de placas distintas, e em situações em que a entrada de calor varia em relação a corrente, tensão e velocidade de soldagem.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, V. J. **Desenvolvimento de envelopes operacionais para processo MIG/MAG robotizado com diferentes gases de proteção.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia / Processos de Fabricação) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- AWS. **Welding Handbook, Welding Technology.** Miami: American Welding Society, 8º Ed. V.1: p. 223 – 264, 1987.
- BARROSO, A., Canas, J., Picón, R., París, F., Méndez, C., Unanue, I., 2010. **Prediction of welding residual stresses and displacements by simplified models.** Experimental validation. Mater. Des. 31, 1338–1349.
- Consumíveis para Soldagem, Revestimento Duro e Metalização.** Disponível em: <<http://www.tecbrasalloys.com.br/pdf/arame-Tec-R-70-S6.pdf>>. Acesso em: 21, mai. 2017.
- GERHARDT, D. R. 2014. **Desenvolvimento de um dispositivo de fixação de soldagem para o piso da cabine de um pulverizador.** Disponível em : <[http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Diego\\_Roberto\\_Gerhardt.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2014/Diego_Roberto_Gerhardt.pdf)>. Acesso em 26, abr. 2017.
- KOU, S., 2003. *Welding Metallurgy*, second ed. Wiley Interscience, Hoboken, pp. 126–130.
- Lucas, B. Et al. Distorções: **Prevenção pelas técnicas de fabricação.** Soldagem e Inspeção, ABS, São Paulo, 4(8): p. 21-23, abr. 2017.
- MACHADO, I. G. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos.** Ed. Pelo autor e distribuído pela Associação Brasileira de Soldagem (ABS). Porto Alegre, 1996.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia.** 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- MURUGAN, V., Gunaraj, V., 2005. **Effects of process parameters on angular distortion of gas metal arc welded structural steel plates.** Weld. J. 84 (11), 165–171.
- NAGY, T., 2012. **Investigation of Thermal Techniques to Mitigate Buckling Distortion in Welded Panels PhD Thesis.** Cranfield University.
- OLIVEIRA, G. L. G.; Hélio Cordeiro de Miranda; Farias, J. P. 2009. **Avaliação das tensões residuais em tubos de pequeno diâmetro soldados pelo processo TIG orbital.** Artigo Técnico. - Universidade Federal do Ceará Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Fortaleza, Ceará, Brasil. 2009.
- PILIPENKO, A., 2001. **Computer Simulation of Residual Stress and Distortion of Thick Plates in Multi-electrode Submerged Arc Welding. Their Mitigation Techniques.** Doctoral Thesis. Norwegian University of Science and Technology.
- SOARES, H. C. G. **Estudo de sequência de soldagem para redução e eliminação de distorções.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- TWI, 2016. **Distortion - prevention by design.** Disponível em: <<http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/distortion-prevention-by-design-034/>>. Acesso em: 21 mai. 2017.
- WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. de. **Soldagem: Processos e metalurgia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- WENTZ, V. A. **Simulações de soldagem por arco elétrico e resistência elétrica usando o método dos elementos finitos.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica/ GMAG). - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.