

ANÁLISE NUMÉRICA DO CAMPO DE TEMPERATURA DA SOLDAGEM TIG DE AÇO INOX 304L

G. Monteiro, gabrielvmonteiro@gmail.com¹

J. Dias, joanesbr@gmail.com¹

H. Farneze, humbertofarneze@gmail.com¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ, Rodovia Senador Mario Covas – BR101 – Lote J2/Quadra J – Distrito Industrial de Itaguaí

Resumo: O aço inoxidável austenítico AISI 304L caracteriza-se por seu baixo teor de carbono e é usualmente especificado como metal de base para juntas soldadas em tubulações, vasos de pressão e equipamentos da indústria petrolífera e nucleares. Estes, formam o maior grupo de aços inoxidáveis utilizados, apresentando tenacidade e ductilidade superiores à da maioria dos outros aços. O processo TIG é um dos utilizados na soldagem destes materiais por possuir como vantagens a execução de soldas de alta qualidade com a aplicação de uma fonte de calor concentrada, minimizando a ZTA e distorções. Neste sentido análises numéricas por elementos finitos se apresentam como uma ferramenta alternativa para o aprimoramento do estudo do processo de soldagem neste tipo de material, que são apresentadas no presente trabalho, utilizando software ANSYS para uma soldagem de topo, com chanfro em V, em chapas de aço inoxidável AISI 304L por processo TIG convencional.

Palavras-chave: Simulação numérica, soldagem, método de elemento finitos, aço 304L

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são utilizados em aplicações na qual a exigência é uma elevada resistência ao ataque químico de diferentes meios. Os aços inoxidáveis austeníticos formam o maior grupo de aços inoxidáveis utilizados, o que os tornam o grupo de aços inoxidáveis mais produzidos. Apresentam tenacidade e ductilidade superiores à da maioria dos outros aços e ainda, mantem essa propriedade até temperaturas muito baixas, tornando possível a utilização em aplicações criogênicas. Em geral os aços inoxidáveis austeníticos possuem boa soldabilidade.

O aço AISI 304L, um aço Cromo Níquel, austenítico, não temperável e não magnético, objeto do presente estudo, possui utilizações na fabricação de vasos de pressão, válvulas, tubulações e equipamentos da indústria nuclear, farmacêutica, petrolífera e alimentar. De acordo com Farrar (2004), o AISI 304L pode ser utilizado em uma larga faixa de temperatura, porém não devendo ser escolhido para situações onde a temperatura de trabalho exceda os 450°C. Esse tipo de aço tem como principal característica a sua resistência à corrosão, não sendo considerado um aço de alta resistência mecânica. Ademais, esse tipo de aço tem como principal característica a sua resistência à corrosão, não sendo considerado um aço com alta resistência mecânica. Entretanto, essa característica pode ser potencializada quando adicionado nitrogênio em sua composição (304LN).

Os processos de soldagem são utilizados para confeccionar produtos e estruturas metálicas, aviões e veículos espaciais, navios, locomotivas, veículos ferroviários e rodoviários, pontes, prédios, oleodutos, gasodutos, plataformas marítimas e reatores nucleares, além de outras aplicações. No decorrer do processo de soldagem, uma fonte elétrica cria uma diferença de potencial U entre a peça a ser soldada e o eletrodo. Esta diferença faz com que haja formação de um arco elétrico, percorrido por uma corrente I . A entrada de calor no sistema está ligada a esses dois parâmetros U e I , sendo campo de temperatura governado pela equação da condução de calor:

$$\rho(T)c(T)\frac{\partial T}{\partial t} = Q + \frac{\partial}{\partial x}\left(K(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right) \quad (1)$$

Onde ρ é a densidade, c é o calor específico, Q a quantidade de calor que entra no sistema, K é o coeficiente de condutividade térmica (onde K_x , K_y e K_z indicam suas respectivas direções), T é a temperatura e t representa o tempo.

As perdas por convecção e radiação são governadas, respectivamente, pelas seguintes equações:

$$q_c = h(T - T_\infty) \quad (2)$$

$$q_r = \varepsilon\sigma(T^4 - T_\infty^4) \quad (3)$$

Onde h é o coeficiente de convecção, T_∞ é a temperatura ambiente, ε é a emissividade da superfície do corpo e σ é uma constante.

Dentre os diversos processos de soldagem, neste trabalho emprega-se o TIG (*Tungsten Inert Gas*), onde a adesão do material é produzida pelo calor do arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não-consumível e as peças a serem unidas. O gás inerte presente no processo serve como proteção da poça de fusão e do eletrodo. Material de adição em forma de vareta também pode ser utilizado para completar a zona fundida. Este processo tem como vantagens a execução de soldas de alta qualidade, soldabilidade da maioria dos metais e ligas e aplicação de uma fonte de calor concentrada, minimizando a ZTA e distorções.

Segundo Wainer (1992), durante o processo de fabricação dos componentes constituídos de aços inoxidáveis, na maioria das vezes, a soldagem está inclusa, sendo caracterizada por ser o mais importante processo de união de metais utilizado industrialmente. Portanto, devido ao alto nível de responsabilidade em componentes fabricados com ligas de aços inoxidáveis a partir de juntas soldadas, é desejável o constante aperfeiçoamento no que diz respeito aos processos e metalurgia da soldagem por meio de pesquisas que garantam melhorias contínuas nos quesitos qualidade do produto e processo, assim como custo, segurança e meio ambiente.

Por se tratar de processo que envolve fenômenos complexos tratando-se do campo da física e da química, torna-se difícil desenvolver modelos matemáticos para descrever o processo de soldagem e mensurar as possíveis tensões residuais. Nos últimos anos, a resolução desse problema tem se baseado na simulação numérica do processo de soldagem, sendo o Método de Elementos Finitos - MEF o mais utilizado para este tipo de análise, com início de publicações na década de 70. O MEF concede a possibilidade de considerarmos as não-linearidades das características termofísicas do material, como condutividade térmica, densidade e calor específico, as trocas de calor com o meio externo e, ainda, a permite considerar a alternativa de modelar estruturas complexas. Na análise numérica de processos de soldagem, geralmente são considerados acoplamentos entre fenômenos físicos que ocorrem durante a soldagem, como o Térmico e o Mecânico. Um dos critérios para a escolha do modelo de elementos finitos a ser utilizado na análise é a capacidade computacional requerida, embora o avanço tecnológico venha aumentando exponencialmente, mas ainda assim estratégias para diminuir as dimensões nos modelos podem ser utilizadas gerando economia de hardware e de tempo de processamento (BARBAN, 2014).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo por meio de análises numéricas de elementos finitos utilizando software ANSYS do perfil de temperatura devido ao processo de soldagem TIG convencional em junta de topo, com chanfro em V, de chapas de aço inoxidável AISI 304L comparando os resultados com perfil de temperatura de processo de soldagem em mesmo material realizadas por Farias et al. (2014).

2. PROCEDIMENTOS

2.1. Material

O material empregado neste trabalho foi o aço inoxidável austenítico AISI 304L na forma de chapa laminada, cortada nas seguintes dimensões: 165 mm x 585 mm x 15 mm (Figura 1).

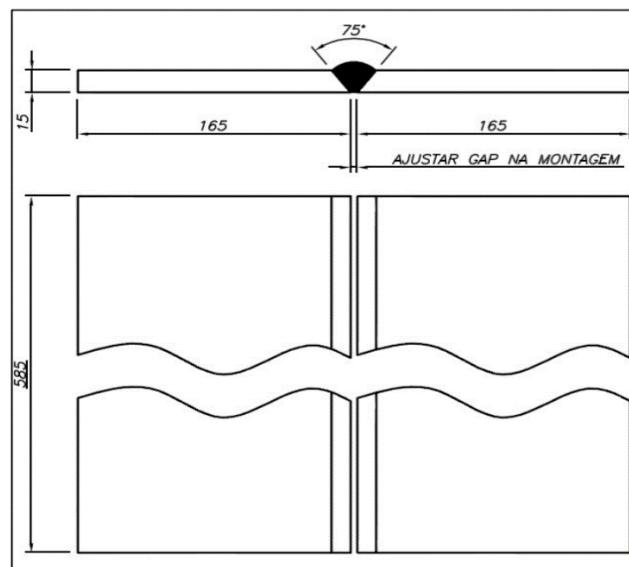


Figura 1. Geometria da junta utilizado no processo de soldagem.

2.2. Procedimento Experimental

O procedimento numérico foi realizado fazendo-se uso do *software* ANSYS, resolvendo a Eq. (1) pelo Método de Elementos Finitos. Assim, utilizou-se para a modelagem computacional um modelo tridimensional admitindo o estado plano de deformações, onde uma seção transversal qualquer ao cordão de solda é analisada, quando afetada pelo calor. Foi realizada uma análise térmica em regime permanente sem considerar as não linearidades de material. Nesta análise termo-estática, tomamos, na Eq. (1), a quantidade de calor Q , a temperatura T e o tempo t como constantes.

O Elemento Finito aplicado foi o *solid 90*. Segundo Mousavi *et al.* (2008), os elementos tridimensionais *solid 90* são usados para modelos térmicos e contêm 20 nós, onde cada nó possui apenas um grau de liberdade. Esses elementos são sugeridos para demarcações curvas e para se obter uma estável análise térmica tridimensional. Na Figura 2 é mostrado a malha do modelo avaliado produzida no *software* ANSYS.

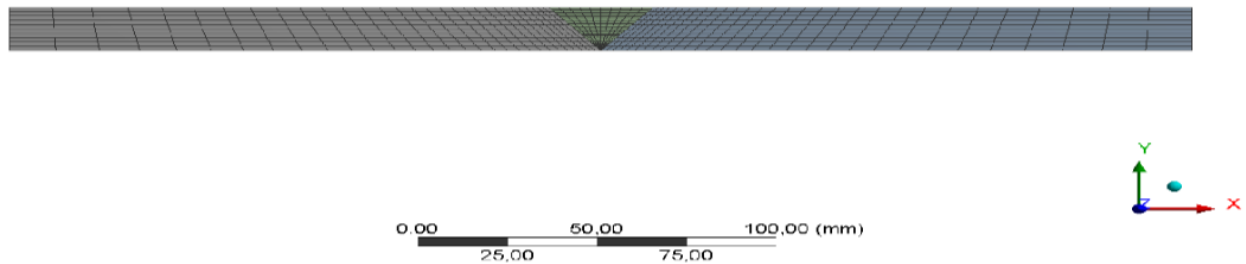


Figura 2. Malha de elementos finitos do modelo avaliado.

Na análise numérica, foram consideradas diversas avaliações de acordo com a literatura encontrada. A princípio, foi avaliado um perfil com uma temperatura prescrita na região soldada e convecção, denominado Perfil 1. Segundo as considerações de Farias *et al.* (2014), foi utilizado um coeficiente de transferência de calor por convecção igual a $h = 5 \text{ W/m}^2$. Para a temperatura prescrita, foi usado o valor do ponto de fusão do aço 304L. Para tal, seguiu-se as avaliações de Lindgren, L. (2001) e Aissani *et al.* (2015), e o ponto de fusão indicado foi $T_f = 1418,7^\circ\text{C}$. A Figura 3, representa o resultado do perfil descrito.

A seguir, foi considerado um perfil onde, além da temperatura prescrita e da convecção, foi incluído o fator radiação. Este perfil foi denominado de Perfil 2. Os valores da temperatura prescrita e do coeficiente de transferência de calor por convecção foram os mesmos empregados no Perfil 1. Para o fator radiação, foram utilizadas duas emissividades constantes: $\varepsilon = 0,45$, de acordo com Bramson (1968) e $\varepsilon = 0,70$, de acordo com Farias *et al.* (2014). O fator radiação foi analisado, pois sem este elemento de estudo, o calor do processo proveniente da radiação não é transferido para o ambiente, resultando no acúmulo de energia na peça não coerente com a realidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo, a Figura 3 mostra o resultado do Perfil 1 de temperatura sem considerar a radiação. A Figura 4 e a Figura 5 representam o resultado do procedimento aplicado ao Perfil 2, com radiação presente.

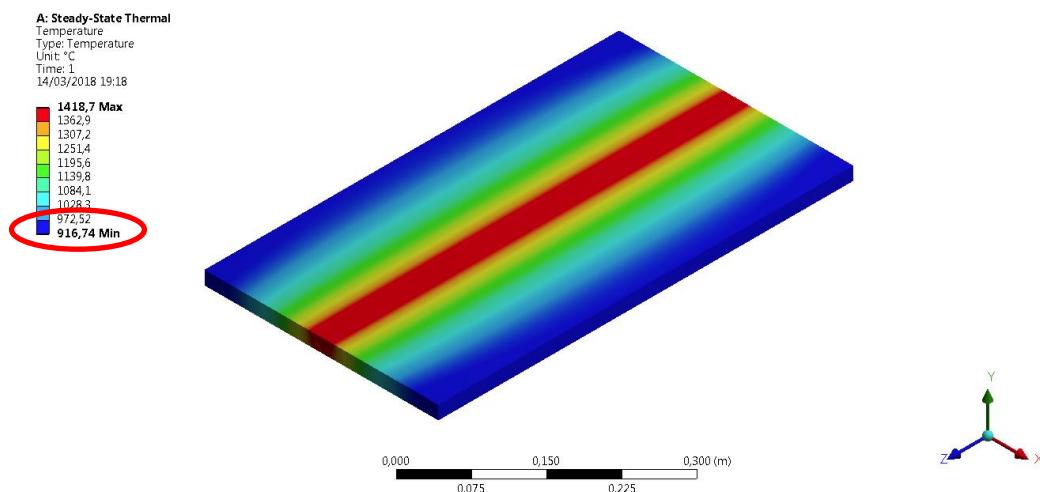


Figura 3. Resultado numérico do Perfil 1 de temperatura na junta soldada.

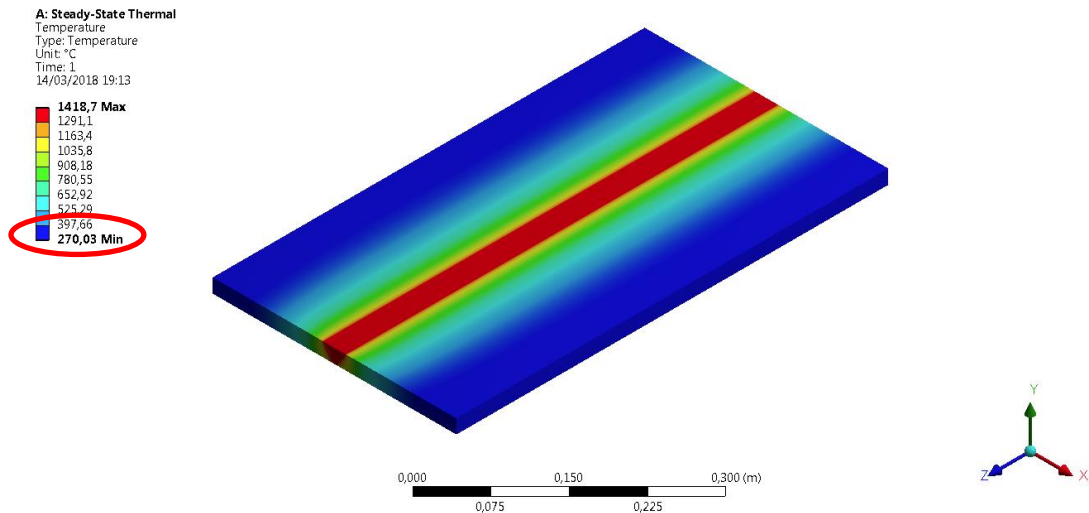


Figura 4. Resultado numérico do Perfil 2 com emissividade constante $\varepsilon = 0,70$.

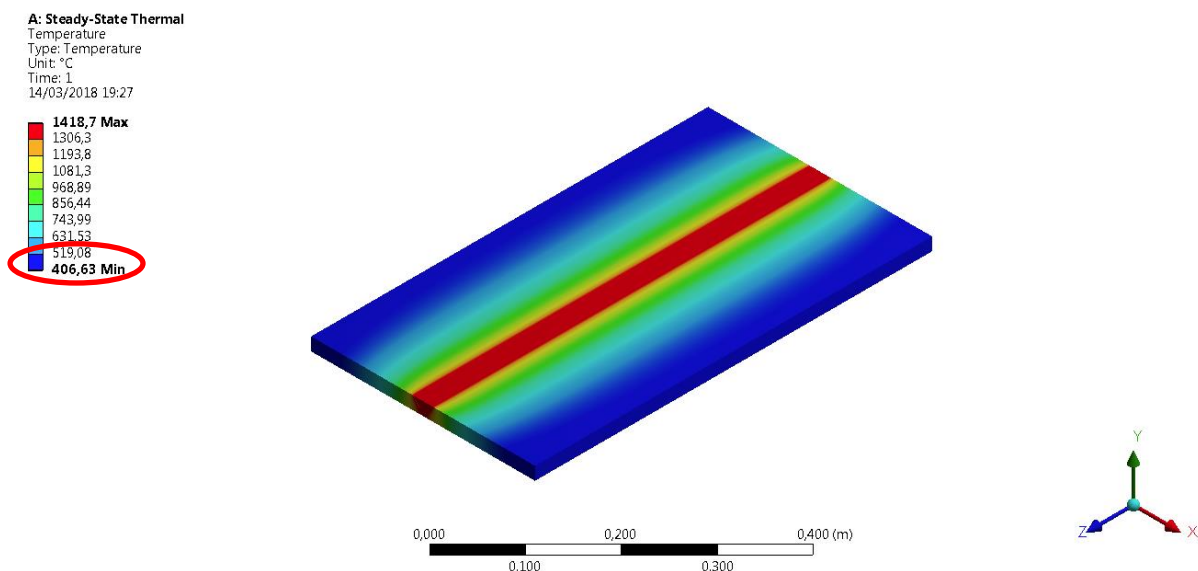


Figura 5. Resultado numérico do Perfil 2 com emissividade constante $\varepsilon = 0,45$.

A figura 3 mostra o resultado do Perfil 1 considerando uma temperatura prescrita e convecção, onde a temperatura nas laterais paralelas ao cordão de solda foi na ordem de 916°C. Já no Perfil 2, Figuras 4 e 5, nesta mesma região, a temperatura foi de 270°C e 406°C respectivamente, sendo confirmada a dispersão do calor devido ao fator da emissividade onde $\varepsilon = 0,45$, de acordo com Bramson (1968), figura 5, e $\varepsilon = 0,70$, de acordo com Farias et al. (2014), figura 4, neste com menor temperatura na lateral da junta soldada, mais próximo do real.

Neste estudo, foram avaliadas abordagens de simulação numérica da soldagem de topo realizada com o processo TIG, no que se refere a transferência de calor. Estas análises foram realizadas no software ANSYS, que utiliza o Método dos Elementos Finitos. Os resultados prévios, com simplificações consideráveis e ainda em fase de ajustes, indicam a possibilidade de realizar predições de perfil de temperatura e deformações em juntas soldadas.

4. CONCLUSÃO

Análises prévias permitiram verificar que o modelo com a utilização da radiação torna o resultado mais próximo dos experimentos físicos, porém necessita de ajustes que estão sendo aprimorados por se tratar de tema recém desenvolvido pelos autores.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Laboratório de Simulações – LabSim, no Centro Federal Tecnológico do Rio de Janeiro – CEFET/RJ – UnED Itaguaí e à Coordenadoria de Pesquisa e Estudos Tecnológicos – COPET do CEFET/RJ.

6. REFERÊNCIAS

- Aissani, M., Guessasma, S., Zitouni, A., Hamzaoui, R. Bassir, D., Benkedda, Y., 2015, “Three-dimensional simulation of 304L steel TIG welding process”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 89, pp. 822 e 832.
- Barban, L.M., 2014, “Análise numérico-computacional das tensões térmicas induzidas pela soldagem”, Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Bramson, M. A., 1968, “Infrared Radiation: A Handbook for Applications”, Plenum Press, N.Y, pp.138 e 536.
- Farias, R., Teixeira, P. R. F., Araújo, D. B., 2014, “Estudo de Metodologias para Análise Numérica do Campo de Temperatura no Processo de Soldagem MIG em Chapas de Aço Inoxidável AISI 304L”, CONEM.
- Farrar, J. C. M., 2004, “The alloy tree: a guide to low-alloy steels, stainless steels and nickel-base alloys”, New York: Woodhead Publishing Limited, pp. 71.
- Lindgren, L., 2001, “Finite Element Modeling and Simulation of Welding Part 1: Increased Complexity”, *Journal of Thermal Stresses*, Vol. 24:2, pp. 141-192.
- Mousavi, S.A.A, Miresmaeili, R., 2008, “Experimental and numerical analyses of residual stress distributions in TIG welding process for 304L stainless steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 208, pp. 383-394.
- Wainer, E., 1992, “Soldagem: processos e metalurgia”. São Paulo: Blucher.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FIELD IN THE TIG WELDING OF A 304L STAINLESS STEEL

J. Dias, joanesbr@gmail.com¹

G. Monteiro, gabrielvmonteiro@gmail.com¹

H. Farneze, humbertofarneze@gmail.com¹

¹Federal Center of Technological Education Rio de Janeiro – CEFET/RJ.

Abstract. *The austenitic stainless steel AISI 304L is characterized by your low carbon content and is usually specified as base metal for welded joints in pipelines, pressure vessels, oil industry and nuclear equipment. These are the largest group of stainless steels used. They present superior toughness and ductility than most other steels. The TIG process is one of the used in these materials by having as advantages the implementation of high quality welds with the application of a concentrated heat source, minimizing the ZTA and distortions. Numerical analysis by finite elements present themselves as an alternative tool for the improvement of the study of the welding process in this kind of material, which are presented in this work by ANSYS finite element analysis software for a top welding, with V-Groove, in AISI 304L stainless steel sheets by TIG process.*