

OBTENÇÃO NUMÉRICA DO GRADIENTE DE TEMPERATURA EM COSTURA LONGITUDINAL DE TUBULAÇÃO DO AÇO AISI 304 VIA SOLDAGEM TIG AUTOGENA

COBEF2017-1220

João Dehon da Rocha Junior, joaodehonjunior@gmail.com¹

Rafael Leandro Fernandes Melo, rafaellfm@outlook.com¹

André Ferreira de Oliveira, engmecandre@hotmail.com¹

João Felipe Lima, joaofelipe_12@hotmail.com¹

Shyrlei da Silva Oliveira, shyrlei.arquiteta@gmail.com¹

Alessandro Jacinto Rodrigues de Carvalho, alessandro66@hotmail.com

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Av. Francisco Mota – Pintos, Mossoró – RN, CEP: 59.625-900.

Resumo: A obtenção do gradiente de temperatura em um processo de soldagem, justifica-se por ser o primeiro passo para o conhecimento do campo de tensões residuais que a peça venha a sofrer. Sabe-se que tubulações de aço inoxidável AISI 304, possuindo união via soldagem longitudinal, são vastamente utilizadas na indústria em diversos segmentos. O trabalho em questão consistiu em obter o gradiente de temperatura gerado em uma soldagem longitudinal de tubos do aço inoxidável AISI 304, para isso, foi realizada uma simulação computacional do processo de soldagem TIG autógeno utilizando o software ANSYS Workbench 16.0. Para fidelidade da condição real de soldagem, o AISI 304 foi criado no software com suas propriedades físicas (condutividade térmica, calor específico e densidade) variando com a temperatura, levando assim a uma análise não linear. Foram consideradas as perdas de calor por condução, convecção natural e radiação. Para o movimento do fluxo de calor, foi utilizado uma rotina matemática, sendo o modelo adotado a fonte de calor volumétrica de duplo-elipsoide de Goldak. A malha empregada na simulação, foi criada via elementos finitos do tipo triangular. Para obtenção do gradiente de temperatura, foram aplicados pontos estrategicamente posicionados próximo ao cordão de solda, além de um ponto de medição no começo da formação do cordão para verificação de fusão do material, necessitando atingir uma temperatura superior a 1458 °C. A validação da análise, foi realizada por meio da comparação dos resultados obtidos com resultados numéricos e experimentais contidos na literatura. Constatou-se uma sutil diferença de resultados, que pode ser justificada pelo insumo de calor utilizado, bem como pelo tamanho e geometria da peça. Entretanto, notou-se o mesmo comportamento da curva do gráfico obtido, tornando-se possível a utilização do gradiente de temperatura em uma simulação para a obtenção do campo de tensões residuais.

Palavras-chave: Soldagem TIG, Simulação numérica, Soldagem em costura.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem necessita de grande atenção durante seu desenvolvimento devido ao seu nível de complexidade. O campo de temperatura gerado em um processo ocasiona a formação de tensões residuais e mudanças microestruturais que podem afetar profundamente a finalidade da peça em questão (Araujo, 2012).

Diversos trabalhos são publicados na comunidade científica objetivando controlar as possíveis distorções em uma peça soldada. Como exemplo, têm-se a utilização de sequência de soldagem adequada, pré-aquecimento, modelos computacionais, entre outros. Um dos métodos mais eficientes para se obter o conhecimento do que o processo em questão pode gerar para a peça é a abordagem computacional (Araujo, 2012). Neste processo, o primeiro passo a ser realizado é a obtenção do campo de temperatura.

Os avanços da computação foram importantes para o desenvolvimento de métodos numéricos capazes de resolver problemas de engenharia, como por exemplo, os relacionados a soldagem (Cagani, 2010 e Melo, 2016). O método de elementos finitos (MEF), por sua vez, é um dos principais meios para essa resolução.

O presente trabalho utilizou o método de MEF através do software ANSYS® como instrumento para aquisição do campo de temperatura em soldagem, simulando um processo de soldagem TIG autógeno. As temperaturas desejadas foram adquiridas através de termopares. Os resultados da simulação e do experimental, foram comparados a fim de obter-se uma coerência entre si.

Atualmente a maioria das análises térmicas em processos de soldagem computacionais são realizadas através de métodos numéricos, com o princípio de condução de calor (Bezerra, 2014 e Melo, 2016).

A expressão da condução de calor para uma análise térmica de um processo de soldagem é mostrada na Eq. (1).

(1)

Sendo, ρ (kg/m^3) a massa específica, c ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$) o calor específico, Q (W) a entrada de calor, K_x , K_y , K_z ($\text{W/m} \cdot \text{K}$) os coeficiente de condutividade térmica nas três direções, T (K) a temperatura e t (s) o tempo.

O conhecimento da geometria da fonte de calor é essencial para simulação em um processo de soldagem (Miranda, 2014). O modelo do duplo elipsoide de Goldak (2005) é o mais utilizado na comunidade científica, bem como o mais utilizado em processo de soldagem TIG (Nascimento, 2012). Seu modelo é mostrado na Fig. (1).

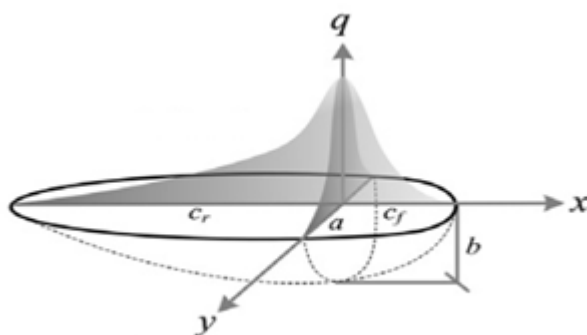


Figura 1. Modelo da fonte de calor, duplo elipsoide de Goldak (2005).

Este modelo, leva em consideração uma gaussiana 3D finita sobre um duplo elipsoide, através dela é possível permitir que seu sistema de coordenadas mova-se junto com a fonte térmica (Nascimento, 2012 e Melo 2016).

2. METODOLOGIA

A simulação computacional foi realizada no ANSYS® com uma rotina de movimento de fluxo, *Moving Heat Flux*. Os parâmetros utilizados para a simulação são mostrados na Tab. (1).

Tabela 1. Parâmetros de soldagem para o processo numérico.

Parâmetros	Valores
Tensão do arco	10 V
Corrente	150 A
Velocidade de soldagem	5 mm/s
Energia de soldagem	300 J/mm

O corpo de prova computacional foi desenhado no ANSYS®, admitindo-se uma tubulação de 50 mm de diâmetro, com parede de 3,6 mm e comprimento de 200 mm. O comprimento do cordão foi o próprio comprimento da tubulação. Para o modelo computacional foi necessário criar o aço inoxidável AISI 304 no software, para que dessa forma este se comportasse de forma não linear durante a simulação. A Tab. (2) mostra as propriedades inseridas.

Tabela 2. Propriedades termofísicas numéricas do AISI 304.

Temperatura (°C)	Calor específico (J/Kg °C)	Condutividade térmica (W/m°C)	Densidade (Kg/m³)
0	462	14,6	7900
100	496	15,1	7880
200	512	16,1	7830

$$\rho(T)c(T)\frac{\partial T}{\partial t} = Q + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right)$$

300	525	17,9	7790
400	541	18	7750
600	577	20,8	7660
800	604	23,9	7560
1200	676	32,2	7370
1300	692	33,7	7320
1500	701	120	7320

No modelo computacional foi gerada uma malha do tipo tetraedros, possuindo um refinamento aprimorado no caminho do cordão de solda, para que dessa forma obtivesse uma convergência dos resultados sem necessidade de sobrecarga computacional. A malha obteve um número de 111969 nós e 57888 elementos. A configuração é mostrada na Fig. (2).

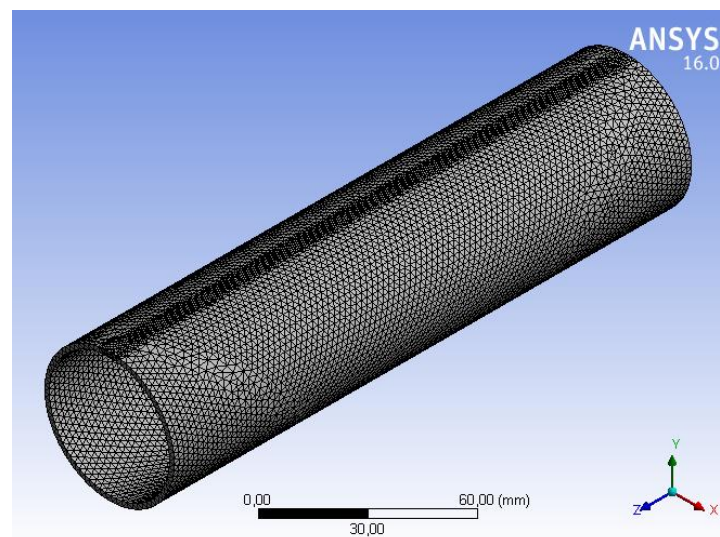


Figura 2. Configuração da malha da tubulação.

O modelo computacional também foi configurado para realizar as perdas de calor para o ambiente, através de convecção natural e radiação. O modelo computacional utilizou como fonte de calor o duplo elipsoide de Goldak (2005).

A obtenção do campo de temperatura foi feita no momento inicial do processo de soldagem, através de 3 termopares afastados a 10, 20 e 30 mm do início do cordão de solda. No processo computacional, além dos 3 termopares afastados do cordão, também foi inserido um ponto de medição no cordão de solda em si. A disposição dos termopares, no modelo computacional, é mostrada na Fig. (3).

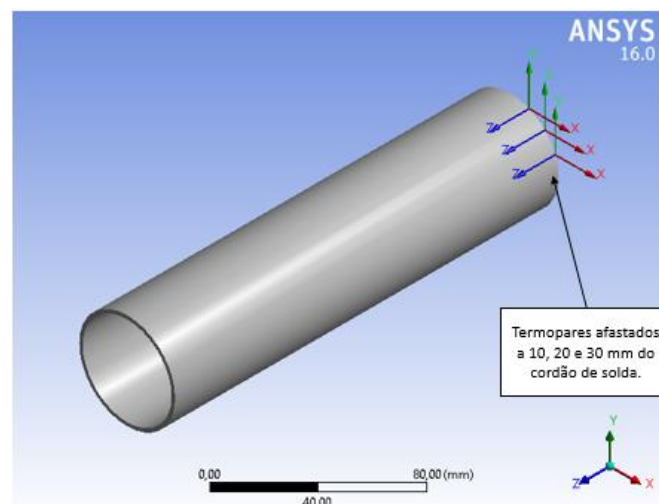


Figura 3. Disposição dos termopares para obtenção do campo de temperatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura (4) apresenta o deslocamento da fonte de calor, com utilização da geometria duplo elipsoide de Goldak (2005).

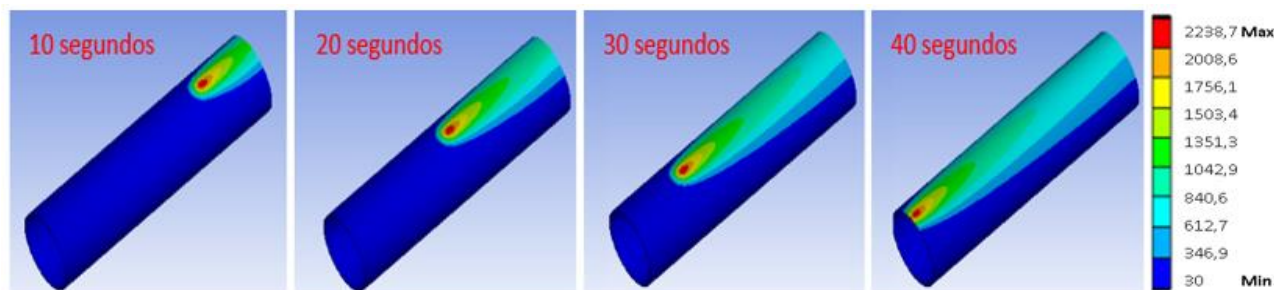


Figura 4. Deslocamento da fonte computacional de calor.

Como a velocidade de soldagem utilizada foi de 5 mm/s e o caminho que a soldagem percorreu foi de 200 mm, o tempo de soldagem foi de 40 s. Nesse período, a temperatura máxima atingida pelo AISI 304 foi de 2238,7 °C, sendo atingida ao final do percurso. Dessa forma, é possível admitir que houve a soldagem do AISI 304 para a simulação computacional, com os parâmetros de soldagem escolhidos, pois a temperatura de transição sólido-líquido do AISI 304 é 1399 °C (Outeiro, 2006).

A Figura (5), mostra as medições de temperatura computacional, medidas no cordão de solda e a 10, 20 e 30 mm deste.

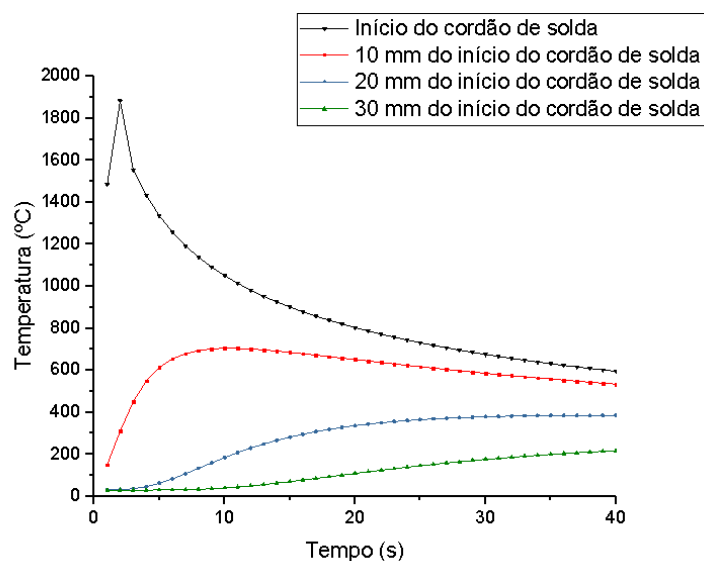


Figura 5. Campo de temperatura computacional, medido no início do cordão de solda.

Observou-se uma alta taxa de resfriamento no cordão de solda, que diminui à medida que a temperatura foi obtida mais distante de seu centro. Ao final dos 40 segundos de aquisição, observou-se uma maior perda de calor no cordão de solda e perdas menores nos pontos afastados a este.

Na medição de temperatura do cordão de solda pôde-se observar que este veio a sofrer fusão logo no momento inicial de soldagem, chegando a uma temperatura superior a 1399 °C. Destaca-se a importância da constatação deste fato visto que, é necessária a fusão inicial do cordão em um processo de soldagem.

A Figura (6), mostra o campo de temperatura computacional no início da soldagem para as condições e parâmetros de soldagem utilizados nesse trabalho.

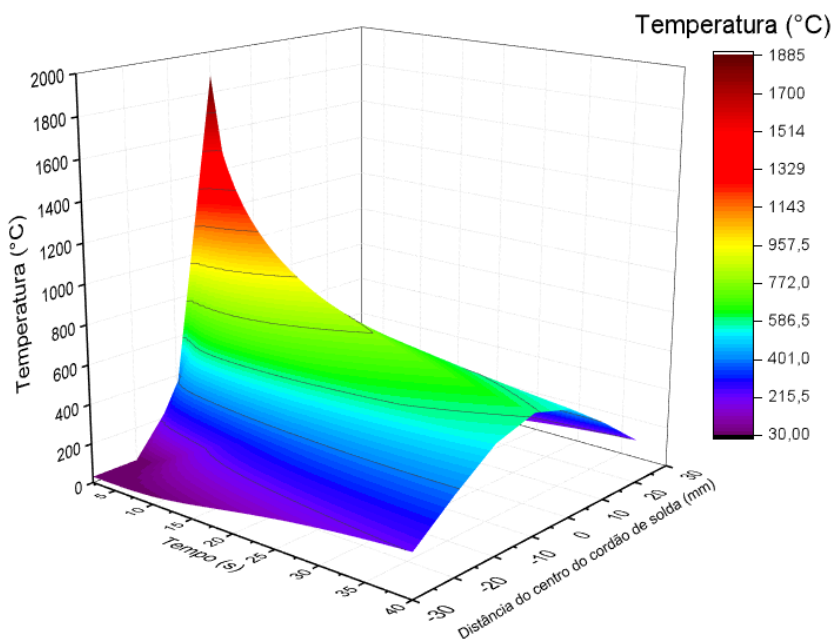


Figura 6. Campo de temperatura formado computacionalmente no início da soldagem computacional de uma tubulação de AISI 304.

4. CONCLUSÃO

Com a formação das curvas de temperatura numérica foi possível confirmar a eficiência do duplo elipsoide de Goldak (2005) para a previsão dos campos de temperatura em um processo de soldagem por costura TIG autógeno via elementos finitos, além disso, foi possível observar o deslocamento da fonte de calor com as condições de contorno utilizadas e esta foi coerente com as apresentadas por outros autores. A partir dos resultados obtidos com o procedimento numérico é possível avançar no estudo e obter o campo de tensão e deformação em um processo de soldagem.

5. REFERÊNCIAS

- Araujo, D. B., 2012, “Estudo de distorções em soldagem com uso de técnica numérica e de otimização”, Doctor thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Bezerra, C. A., 2014 “Modelagem térmica do processo de soldagem TIG via elementos finitos”, Congresso Nacional de estudantes de Engenharia Mecânica, Vol 26, São Paulo, Brazil.
- Cagani, A. P. M., 2010 “Análise térmica do processo de soldagem TIG de amostras metálicas”, Master dissertation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Goldak, A. J., 2005, “Computational welding mechanics”, Springer, Canada, 325 p.
- Miranda, M. C., Carvalho, S. R. and Borges, V. L., 2014 “Modelo térmico para análise da poça de fusão durante o processo de soldagem TIG”, Simpósio de programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica, Vol. 28, Uberlândia, Brazil.
- Nascimento, A. C. S., 2012, “Determinação numérica da repartição térmica de soldagem numa junta de topo de aço inoxidável AISI 304”, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Vol 20, Santa Catarina, Brazil.
- Melo, R. L. F., 2016, “obtenção numérica e experimental do campo de temperatura na soldagem TIG do aço AISI 304”, Graduation monograph, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.
- Outeiro, J. C., Umbrello, D. and Saoubi, R. M., 2006, “Experimental and numerical modelling of the residual stresses induced in orthogonal cutting of AISI 316L steel”, International Journal of Machine tools and Manufacture, p.1786-1794.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

NUMERICAL OBTAINING OF TEMPERATURE GRADIENT IN LONGITUDINAL STEEL PIPE WELD AISI 304 VIA WELDING TIG AUTOGENE

João Dehon da Rocha Junior, joaodehonjunior@gmail.com¹

Rafael Leandro Fernandes Melo, rafaellfm@outlook.com¹

João Felipe Vieira Lima, joaofelipe_12@hotmail.com¹

André Ferreira de Oliveira, engmecandre@hotmail.com

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Abstract: Obtaining the temperature gradient in a welding process is justified because it is the first step to know the field of residual stresses that the part will suffer. It is known that AISI 304 stainless steel pipes, having a joint via longitudinal welding, are widely used in industry in several segments. The work in question consisted in obtaining the temperature gradient generated in a longitudinal welding of tubes of AISI 304 stainless steel, for which a computational simulation of the autogenous TIG welding process was performed using the ANSYS Workbench 16.0 software. For fidelity of the actual welding condition, the AISI 304 was created in software with its physical properties (thermal conductivity, specific heat and density) varying with temperature, thus leading to non-linear analysis. Heat losses by conduction, natural convection and radiation were considered. For the movement of the heat flux, a mathematical routine was used, being the model adopted the double-ellipsoidal of Goldak. The mesh used in the simulation was created via finite elements of the triangular type. To obtain the temperature gradient, strategically positioned dots were applied near the weld bead, as well as a measuring point at the beginning of the bead formation to verify the melting of the material, requiring a temperature above 1458 ° C. The validation of the analysis was performed by comparing the results obtained with numerical and experimental results contained in the literature. It was observed a subtle difference of results, which can be justified by the heat input used, as well as by the size and geometry of the part. However, the same behavior of the curve of the graph obtained was observed, making it possible to use the temperature gradient in a simulation to obtain the field of residual stresses.

Keywords: TIG welding, Simulation, Welding seam.