

AVALIAÇÃO NUMÉRICA DO PERFIL DE TEMPERATURA EM SOLDAGEM TIG DE CHAPAS DO AÇO AISI 304 DE DIFERENTES ESPESSURAS

COBEF2017-0754

Rafael Leandro Fernandes Melo, rafaellfm@outlook.com
João Dehon Rocha Junior, joaodehonjunior@hotmail.com
João Felipe Vieira Lima, joaofelipe_12@hotmail.com
André Ferreira de Oliveira, engmecandre@hotmail.com
Shyrlei da Silva Oliveira, shyrlei.arquiteta@gmail.com
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: O gradiente de temperatura gerado em um processo de soldagem promove tensões residuais que geram distorções nas peças de modo que prejuízos operacionais podem ser obtidos. A espessura de uma peça é um fator que influencia na dissipação de calor. Nesse contexto, foi realizada uma análise numérica do processo de soldagem TIG autógeno em 3 (três) chapas de diferentes espessuras do AISI 304. Para o procedimento numérico foi utilizado o ANSYS Workbench 16.0, com o auxílio de uma rotina matemática para o movimento do fluxo de calor que utilizou como geometria da fonte a dupla elipsoide de Goldak. O AISI 304 foi criado no software com as propriedades físicas do material (condutividade térmica, calor específico e densidade) variantes com a temperatura. Foram consideradas as perdas de calor por convecção natural, condução (na própria peça) e radiação. O perfil de temperatura foi obtido através de 6 pontos de medição, sendo 3 pontos a 10, 20 e 30 mm do começo da formação do cordão de solda e mais 3 pontos situados no lado oposto ao da solda em uma distribuição simétrica em relação aos 3 primeiros pontos. Isso foi feito para as 3 chapas de diferentes espessuras. A validação do processo numérico foi realizada através de dados obtidos da literatura.

Palavras-chave: Condução de calor, Soldagem, Simulação.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas soldadas oferecem uma alternativa importante para o processo de montagem, mas a qualidade das soldas é uma preocupação permanente da comunidade científica e industrial (Aissani, 2015). Devido a necessidade de se obter mais qualidade no processo, a simulação numérica está em um crescente interesse nos últimos anos (Cagani, 2010). A utilização dessa tecnologia permite o conhecimento antecipado das consequências da soldagem no produto, dessa forma a simulação do processo de soldagem se mostra uma ferramenta poderosa para o projeto da união, o campo de temperatura, tensões residuais e deformações do processo podem ser determinados (Araujo, 2012).

Attarha (2011) reforça que os ciclos térmicos afetam significativamente parâmetros como tensões residuais, deformações, microestrutura de solda e dureza na zona afetada pelo calor. Devido ao aquecimento local durante o processo de soldagem, o controle dos ciclos térmicos é crítico.

A peça sofre transformações indesejáveis na microestrutura juntamente com deformações plásticas e elásticas durante um processo de soldagem, de modo que ela sofre um acúmulo de tensões residuais que podem provocar prejuízos operacionais (Kou, 2003 e Outeiro, 2006). O estudo térmico de juntas soldadas procura determinar a evolução temporal da temperatura dos componentes que são soldados, pois a qualidade das juntas e estrutura microestrutural depende desse desenvolvimento (Han, 2013).

A obtenção do campo de temperatura é a etapa que precede a obtenção do campo de deformações em um elemento soldado, para isso é utilizada a simulação computacional.

Os processos de propagação do calor em corpos soldados são influenciados por alguns fatores (Gery, 2005 e Chang, 2002), como: a forma e as dimensões das peças, as características térmicas dos materiais, as condições de troca de calor entre os componentes e o meio ambiente, bem como a distribuição do fluxo de calor sobre a superfície da peça.

O primeiro passo para realizar uma análise térmica é definir a fonte de calor, as fontes mais utilizadas na atualidade são modelos que consideram a condução e convecção (Bezerra 2014). O modelo de condução térmica é dado pela Eq. (1).

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

onde, ρ (kg/m^3) é a densidade, c (J/kg.K) é o calor específico, Q (W) é a entrada de calor, K_x , K_y , K_z (W/m.K) são os coeficiente de condutividade térmica nas três direções, T (K) é a temperatura e t (s) é o tempo.

Após definir a fonte é preciso definir qual a sua geometria. Os modelos mais utilizados na definição da geometria da fonte de calor são: modelo Gaussiano e dupla elipsoidal de Goldak (2005). A vantagem da dupla elipsoidal é que o seu sistema de coordenadas move-se em conjunto com a fonte (Azar, 2011 e Barban 2005). A Figura 1 representa a geometria da dupla elipsoidal.

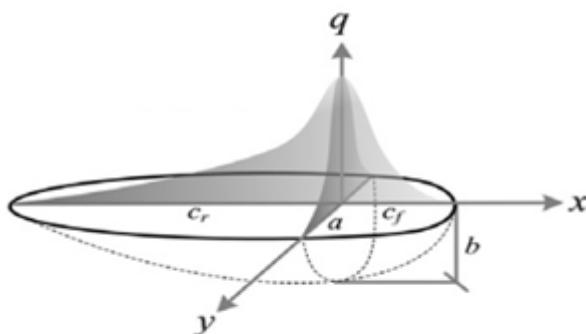


Figura 1. Dupla elipsoidal de Goldak (2005).

2. METODOLOGIA

Foi realizado um estudo do gradiente de temperatura de um modelo numérico computacional. Este foi criado no software ANSYS® em conjunto com uma extensão de movimento do fluxo.

O processo de soldagem foi o TIG autôgeno em três chapas do aço AISI 304 com dimensões 200x150 mm de diferentes espessuras, 12,7 mm (1/2"), 6,35 mm (1/4") e 2 mm. As chapas foram desenhadas no próprio software conforme a metodologia utilizada por Melo (2016).

Os parâmetros utilizados para o processo numérico 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	13,5 mm/s
Energia de soldagem	111,1 J/mm

Para o processo numérico foi preciso criar, no software, o material AISI 304 com comportamento transiente em relação a temperatura e suas propriedades físicas. A Tab. (2) mostra essas propriedades.

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
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

Para a análise foi necessária a geração de três malhas de diferentes espessuras. Foi utilizado o tipo de malha triangular e para obtenção de melhores resultados foi realizado um refino na região onde a fonte de calor passou, Fig.(2).

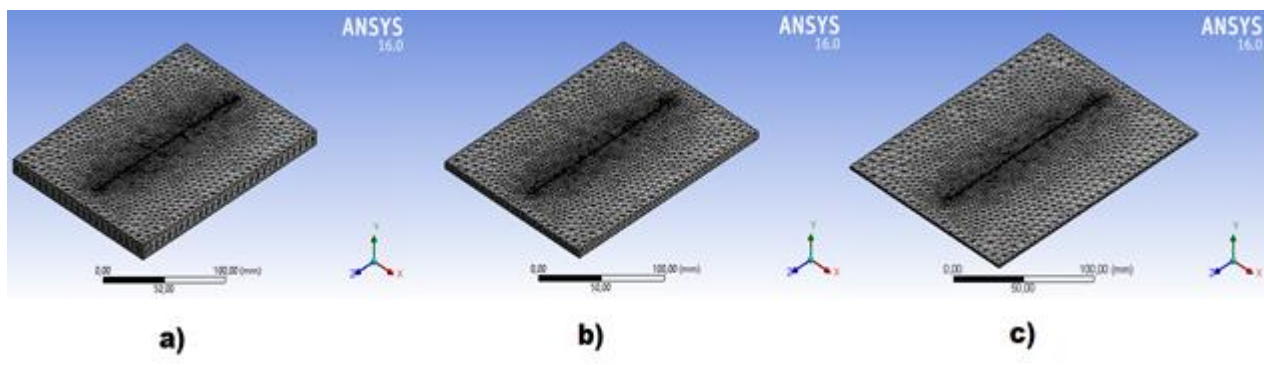


Figura 2. a) Representa a chapa para espessura de 12,7 mm, esta obteve uma malha de 15829 elementos e 28004 nós; b) Representa a chapa para espessura de 6,35 mm, esta obteve uma malha de 14004 elementos e 25311 nós; c) Representa a chapa para espessura de 2 mm, esta obteve uma malha de 8962 elementos e 18683 nós.

Os termopares foram colocados de acordo com a Fig. (3): três pontos de aquisição na parte superior e três na parte inferior da peça.

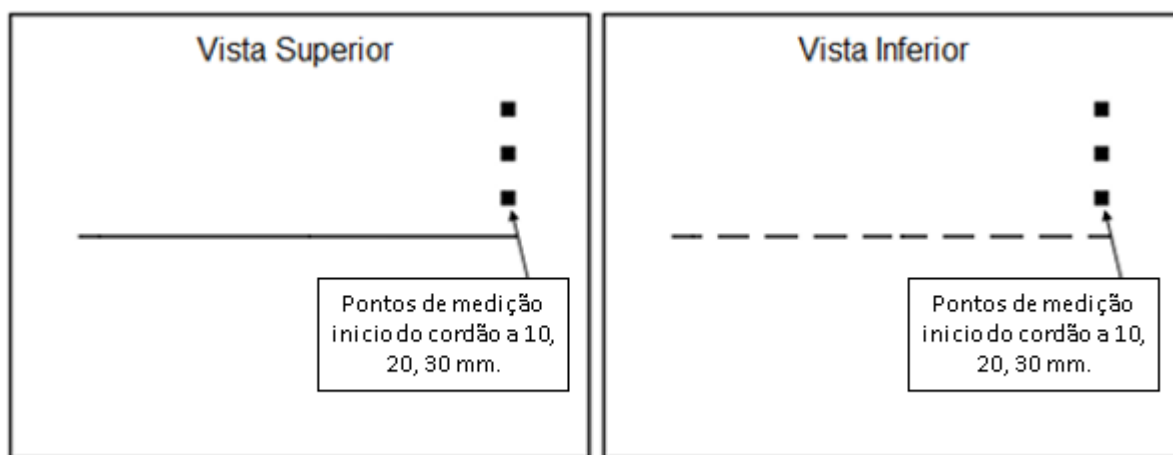


Figura 3. Ilustração da disposição dos termopares para obtenção do campo de temperatura.

Os termopares foram dispostos a 10, 20 e 30 mm do cordão de soldas de forma simétrica na parte superior e inferior.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O deslocamento da fonte de calor que utiliza a geometria da dupla elipsoidal de Goldak (2005) é mostrado na Fig. (4), na qual o resultado da simulação em três diferentes momentos das três chapas é plotado. Cada coluna representa um momento da soldagem e cada linha uma espessura diferente. No início da soldagem (na primeira linha) em 1,5 segundos já é possível observar que existe diferenças no campo de temperatura, a chapa mais fina apresenta uma maior temperatura em torno do local da soldagem.

Em 10 segundos a diferença é ainda mais notória, dessa vez é possível observar a diferença do gradiente de temperatura da chapa mais espessa e a intermediária. Finalmente em 15 segundos, no final do processo de soldagem é mostrado de forma mais nítida a diferença do gradiente de temperatura em função da espessura da chapa soldada.

O tempo total de soldagem foi de 15 segundos, as temperaturas máximas atingidas por cada chapa foram: 1774,4 °C para a chapa mais espessa; 2020,7 °C para a de espessura intermediária; 2258,3 °C para a mais fina. Os resultados obtidos comprovam que a distribuição do fluxo de calor depende basicamente de duas condições: quantidade de calor fornecida à peça e a distribuição deste por ela. Como todos os parâmetros foram os mesmos para todos os processos, a diferença na distribuição de calor foi influenciada apenas pela espessura da chapa. Fato que é de acordo com Modenesi (2013) e Wainer (2004), quanto maior a espessura do elemento soldado, maior a dissipação de calor por este.

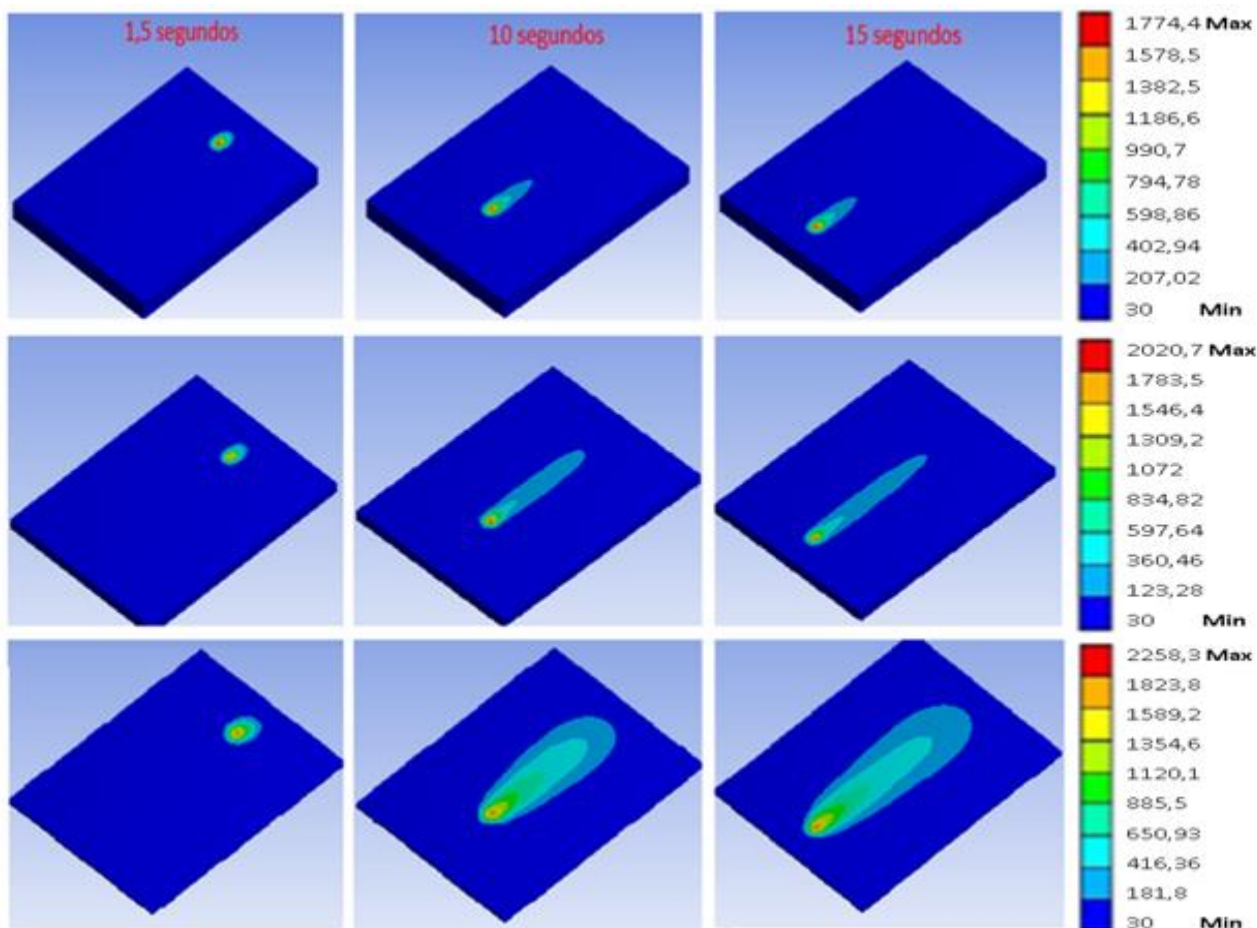


Figura 4. Deslocamento computacional da fonte de calor.

A Figura (5) contém 2 gráficos que comparam as temperaturas atingidas na parte superior e inferior nos processos numéricos na chapa mais fina (chapa de 2 mm). Em a) a temperatura em função do tempo para a simulação computacional da parte superior da chapa, em b) a parte inferior. Para cada gráfico foram plotadas quatro curvas, três referentes aos termopares e uma que representa a temperatura no cordão de solda. Para essa espessura é possível verificar o quão rápido é o seu aquecimento e a semelhança de temperatura atingida na parte superior e na parte inferior.

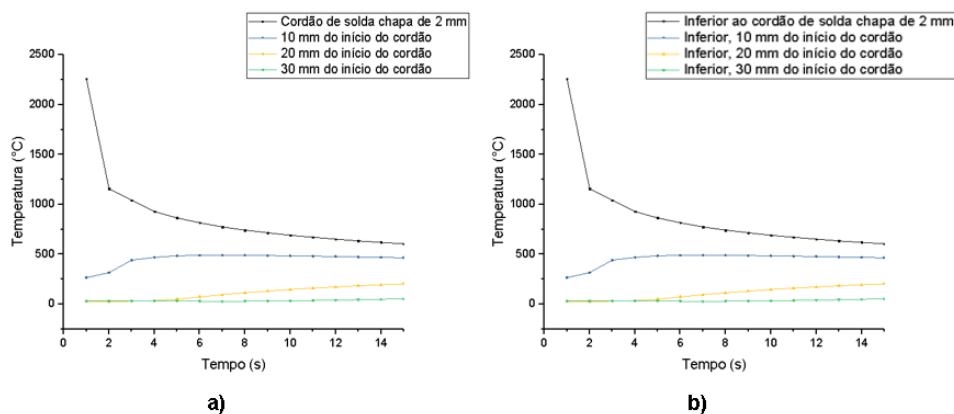


Figura 5. Campo de temperatura numérico da chapa de 2 mm.

A Figura (6) contém 2 gráficos, de forma similar a Figura 5, que comparam as temperaturas atingidas na parte superior e inferior, contudo agora a comparação é na chapa intermediária (chapa de 6,35 mm). Em a) a temperatura em função do tempo para a simulação computacional da parte superior da chapa, em b) a parte inferior. Para essa situação é possível verificar a influência da espessura, na parte a temperatura é visivelmente inferior à temperatura da parte superior.

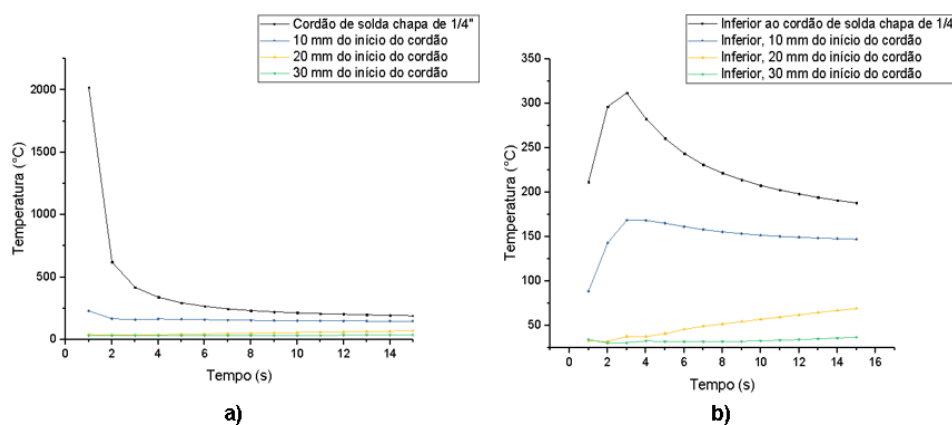


Figura 6. Campo de temperatura numérico da chapa de 6,35 mm.

De forma similar as Fig. (5) e (6), a Fig. (7) representa as temperaturas na chapa de 12,7 mm. A espessura da chapa influencia de forma mais significativa no campo de temperatura de modo que a temperatura total mostra-se menor, bem como a diferença de temperatura na parte superior e inferior.

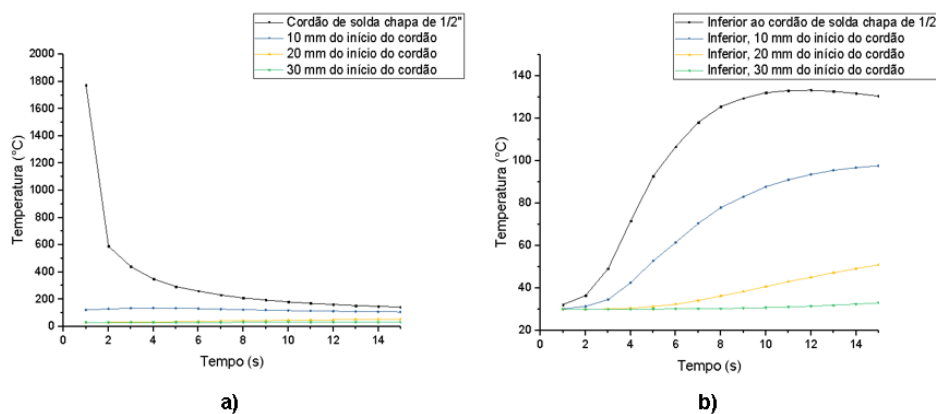


Figura 7. Campo de temperatura numérico da chapa de 12,7 mm.

Para todos os casos as temperaturas atingidas foram suficientes para provocar a fusão do material, condição importante, uma vez que é o princípio da soldagem.

4. CONCLUSÃO

Foi possível verificar o proposto por com Modenesi (2013) e Wainer (2004), onde a espessura do material soldado influencia diretamente na sua temperatura e dissipação de energia. A dupla elipsoide de Goldak (2005) foi eficiente para a previsão dos campos de temperatura no processo da soldagem TIG autógena através do comparativo das curvas obtidas pelos processos numérico com a literatura.

O deslocamento da fonte de calor com as condições de contorno utilizadas foi coerente com as apresentadas por outros autores. Deste modo, é possível obter o campo de utilizar os resultados obtidos para obter o campo de tensões e o de deformações.

5. REFERÊNCIAS

- Aissani, M. et al, 2015, “Three-dimensional simulation of 304L steel TIG welding process: Contribution of the thermal flux”, *Applied Thermal Engineering*, V. 89, p. 822 – 832.
- Araujo, D. B., 2012, “Estudo de distorções em soldagem com uso de técnica numérica e de otimização”, Doctor thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Attarha, M. J. and Sattari-Far, I., 2011, “Study on welding temperature distribution in thin welded plates through experimental measurements and finite element simulation”, *Journal of Materials Processing Technology*, V. 211, p. 688 – 694.
- Azar, A. S. and Akselsen, O. M., 2011, “Determination of welding heat source parameters from actual bead shape”, *Computation Materials Science. Norway*, V. 18, n. 7, p. 29 – 36.
- Barban, L. M., 2005, “Análise numérica-computacional das tensões induzidas pela soldagem”, Master dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 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.
- Chang, W. S., 2002, “A study on the prediction of the laser weld shape with varying heat source equations and the thermal distortion of a small structure in micro-joining”, *Journal of Materials Processing Technology*, V. 120, p. 208 – 214.
- Gery, D. et al, 2005, “Effects of welding speed, energy input and heat source distribution on temperature variations in butt joint welding”, *Journal of Materials Processing Technology*, V. 167, p. 393 – 401.
- Goldak, A. J., 2005, “Computational welding mechanics”, Springer, Canada, 325 p.
- Han, Y. et al, 2013, “Numerical analysis on the medium-frequency induction heat treatment of welded pipe”, *Applied Thermal Engineering*, V. 51, p. 212 – 217.
- Kou, S., 2003, “Welding metallurgy”, Wiley-interscience, Nova Jersey, 461 p.
- Melo, R. L. F., 2014 “Análise numérica-experimental da influência da espessura da chapa no campo de temperatura em soldagem TIG do AISI 1020”, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Vol 22, Natal, 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.
- Modenesi, P.J., Marques, P.V and Bracarense, A. Q, 2013, “Soldagem: Fundamentos e tecnologia”, UFMG, Belo Horizonte, 362 p.
- 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.
- Wainer, E., and Brandi, S. D., 2004, “Soldagem: Processos e metalurgia”, Blucher LTDA, São Paulo, 506 p.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

NUMERICAL EVALUATION OF TEMPERATURE PROFILE IN TIG WELDING OF AISI 304 STEEL PLATES OF DIFFERENT THICKNESS

Rafael Leandro Fernandes Melo, rafaellfm@outlook.com
João Dehon Rocha Junior, joaodehonjunior@hotmail.com
João Felipe Vieira Lima, joaofelipe_12@hotmail.com

André Ferreira de Oliveira, engmecandre@hotmail.com
Shyrlei da Silva Oliveira, shyrlei.arquiteta@gmail.com

Abstract: The temperature gradient generated in a welding process promotes residual stresses that generate distortions in the parts so that operational losses can be obtained. The thickness of a part is a factor that influences the heat dissipation. In this context, a numerical analysis of the autogenous TIG welding process was carried out on three plates of different thicknesses of AISI 304. For the numerical procedure ANSYS Workbench 16.0 was used, with the aid of a mathematical routine for the movement of the flow of heat that used as geometry of the source the double elipsoide of Goldak. The AISI 304 was created in software with the physical properties of the material (thermal conductivity, specific heat and density) variants with the temperature. The heat losses by natural convection, conduction (in the piece itself) and radiation were considered. The temperature profile was obtained through 6 measurement points, 3 points at 10, 20 and 30 mm from the beginning of the weld bead formation and 3 points located on the opposite side of the weld in a symmetrical distribution in relation to the 3 First points. This was done for the 3 plates of different thicknesses. The validation of the numerical process was done through data obtained from the literature.

Keywords: Heat conduction, Welding, Simulation.