

COMPARAÇÃO DOS CICLOS TÉRMICOS OBTIDOS DURANTE A SOLDAGEM A-TIG E TIG CONVENCIONAL

Louriel O. Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹
Ricardo de Moura Araújo, ricardomaraujo@hotmail.com¹
Vinod Kumar, vinod.kumar@twi.co.uk²
Bill Lucas, bill.lucas@twi.co.uk²
Sayee Raghunathan, sayee.raghunathan@twi.co.uk²

¹Universidade Federal de Uberlândia, Laprosolda, Brasil

²TWI Limited, Granta Park, Great Abington, Cambridge, United Kingdom

Resumo: *O emprego da soldagem TIG com fluxo depositado sobre a superfície da peça a ser soldada (técnica conhecida com soldagem A-TIG) proporciona o aumento da penetração para uma mesma corrente se comparado ao processo TIG normalmente observado, isto é, sem uso de fluxo sobre a superfície (TIG convencional). Entretanto, este aumento na penetração possui estreita relação com o tipo de fluxo utilizado. Neste sentido, diferentes autores têm propostos fluxos com composições diferentes e, observando os resultados na geometria do cordão, procuram justificar a utilização de um ou outro fluxo. Desta forma, é importante conhecer os mecanismos envolvidos no aumento da penetração do processo para se estabelecer ou direcionar a aplicação de determinados materiais como constituintes do fluxo a ser depositado sobre a superfície da peça. Neste trabalho, se propõe medir e analisar os ciclos térmicos do processo de soldagem em diferentes posições da chapa durante a soldagem TIG convencional (sem fluxo) e A-TIG. Os ciclos térmicos foram adquiridos com uso de termopares fixados com soldagem por percussão (descarga capacitiva) em oito posições distintas da chapa próximos à interface da região onde foi depositado o fluxo. Foram feitos cordões sobre chapa de aço inoxidável austenítico SUS304 de dimensões 125 x 38 x 5,7 mm. Os resultados indicam que o fluxo de calor para o processo TIG possui características bidimensionais ao passo que para a soldagem A-TIG o fluxo de calor na direção da espessura possui grande componente, caracterizando um fluxo tridimensional de calor, o que contribui para o aumento da penetração no processo.*

Palavras-chave: Soldagem, A-TIG, Fluxo, Temperatura.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem A-TIG tem sido aclamada como possuindo grande potencial para uso na soldagem como forma de aumentar a produtividade do processo TIG. Embora possua relativa simplicidade de uso, onde basta aplicar anteriormente à solda um fluxo sobre a superfície a ser soldada, os mecanismos envolvidos no aumento de penetração não estão consolidados (Kumar et al, 2009). Ao se estudar tais mecanismos, espera-se melhor uso do processo e maior consolidação do mesmo.

Deve-se ressaltar que diferentes autores têm propostos fluxos com diferentes composições e, observando os resultados na geometria do cordão, procuram justificar a utilização de um ou outro fluxo (Modenesi et al, 2000). Isto ressalta a importância de se conhecer os mecanismos envolvidos no aumento da penetração do processo para se estabelecer ou direcionar a aplicação de determinados materiais como constituintes do fluxo a ser depositado sobre a superfície da peça.

Uma abordagem que pode ser feita para se estudar o processo de soldagem é a medição do perfil de temperatura da peça de trabalho ao longo do tempo, ou seja, a medição do ciclo térmico (Zacharia et al, 1989). Alterações de temperatura ao longo do tempo e na posição podem ser um indicativo de diferentes fluxos de calor, que podem atuar de forma benéfica ao aumentar a penetração. Este efeito do aumento da penetração leva a melhorias no processo produtivo da soldagem, pois, ao se manter a mesma penetração, se pode aumentar a velocidade de soldagem, aumentando a produtividade, ou reduzir a corrente, reduzindo distorções/tensões residuais. É possível ainda reduzir efeitos de flutuação na penetração, garantindo um valor mínimo e robusto.

Desta forma, neste trabalho se propõe medir e analisar os ciclos térmicos do processo de soldagem em diferentes posições da chapa de aço inoxidável austenítico SUS304 durante a soldagem TIG convencional (sem fluxo) e A-TIG,

com uso de termopares fixados com soldagem por percussão (descarga capacitiva) em oito posições distintas da chapa próximos à interface da região onde foi depositado o fluxo.

2. METODOLOGIA

Para a realização das soldagens A-TIG, utilizou-se chapas de aço inoxidável austenítico SUS304 nas dimensões 125 x 38 x 5,7 mm, aplicando o fluxo a base de sais silicatos (Howse et al, 1997) com uso de aplicador aerossol, medindo-se ao final uma camada homogênea de $8 \pm 2 \mu\text{m}$ (PosiTestDFT, C, 2004). A corrente de soldagem foi ajustada em 150 A, velocidade de soldagem em 100 mm/min, gás de proteção argônio comercialmente puro a 12 l/min, diâmetro do bocal em 10 mm, eletrodo AWS WTh-2 com diâmetro de 2,4 mm e 10 mm para for a do bocal e distância eletrodo-peça em de 3 mm. Adquiriu os sinais elétricos de tensão em corrente a uma taxa de 1 kHz por canal.

Para medição do ciclo térmico utilizou-se de termopares do tipo K fixados à chapa com soldagem por percussão (descarga capacitiva) através do equipamento mostrado na Fig. 1. Foram escolhidas oito (8) diferentes posições de fixação dos termopares.

Para a soldagem TIG convencional (ensaio T1) e para a soldagem A-TIG (ensaio T2), onde se executou cada um destes processos em toda a extensão da chapa, os termopares foram fixados conforme mostra a Fig. 2. Já para o estudo da transição TIG para A-TIG (ensaio T3), os termopares foram fixados próximos à interface de aplicação do fluxo, ou seja, neste ensaio T3 apenas metade da chapa foi recoberta com o fluxo, de forma que o processo se inicie com a soldagem TIG e ao se movimentar a tocha, a partir da metade da chapa, o arco entra no fluxo e o processo A-TIG se inicia.

A aquisição da temperatura foi realizada a 100 Hz com sistema de aquisição DI-718-BX (DataQ Instruments).



Figura 11. Sistema para soldagem por percussão (descarga capacitiva) para fixação dos termopares à peça.

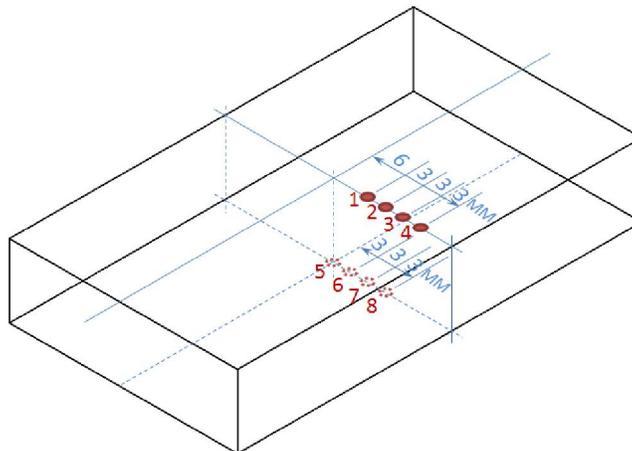


Figura 2. Posição dos termopares na soldagem TIG convencional e A-TIG quando se executando o processo em toda a extensão da chapa.

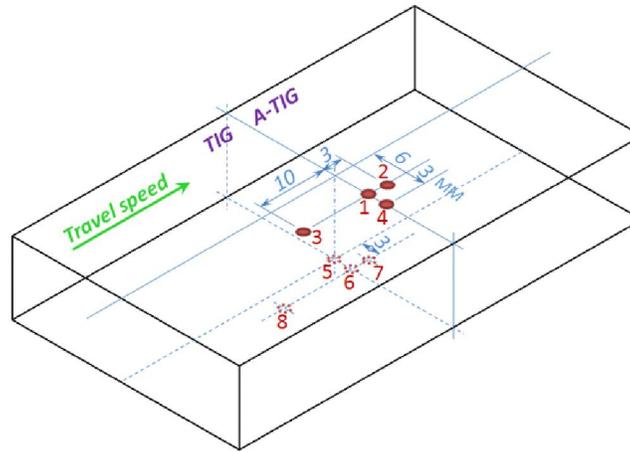


Figura 3. Posição dos termopares fixados próximo à interface do fluxo para estudo da região de transição TIG para A-TIG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ciclos térmicos observados para os oito (8) termopares para os ensaios T1, T2 e T3 propostos são mostrados respectivamente nas Figs. 4, 5 e 6, onde fica clara a maior temperatura atingida no processo A-TIG.

Observando em maiores detalhes esses ciclos térmicos, tomou-se os termopares 1, 2, 7 e 8 (fixados de forma simétrica em relação à linha central do cordão - Fig. 2) e plotou-se as Figs. 7 e 8 para os ensaios T1 e T2, respectivamente para as soldagens TIG e A-TIG. A importância central destas duas figuras é, além da maior temperatura atingida pelo processo A-TIG; o retrato da diferença entre os ciclos térmicos superiores (termopares 1 e 2) e os inferiores (termopares 7 e 8). No caso da soldagem A-TIG (ensaio T2 - Fig. 8), as diferenças entre os termopares 1 e 7, e entre os termopares 2 e 8 são menores do que as diferenças observadas para a soldagem TIG (ensaio T1 - Fig. 7), o que indica uma rápida homogeneização da temperatura na direção da espessura da chapa, com um fluxo de calor muito rápido nesta direção inicialmente. É como se a poça se comportasse como em um processo de maior concentração de energia, ou seja, ela poderia ser modelada como um cilindro vertical e não como um elipsóide, como é feito normalmente nos processos de soldagem a arco.

Esta afirmação é corroborada pela análise da Fig. 9, que mostra os ciclos térmicos para os termopares 5 e 6, para todos os ensaios propostos. Estes dois termopares estão posicionados no lado oposto à face do cordão e estão dispostos no sentido do centro (termopar 5) para a borda da chapa (termopar 6 mais afastado do centro do chapa). Se a tendência do processo A-TIG é determinar um fluxo de calor inicial maior mais na direção da espessura, é de se esperar que no caso do processo A-TIG os ciclos térmicos entre os termopares 5 e 6 sejam mais pronunciados. De forma contrária, a diferença entre os ciclos térmicos dos termopares 5 e 6 deve ser menor no caso do processo TIG. Esta característica é a observada na Fig. 9, corroborando para a afirmação anterior.

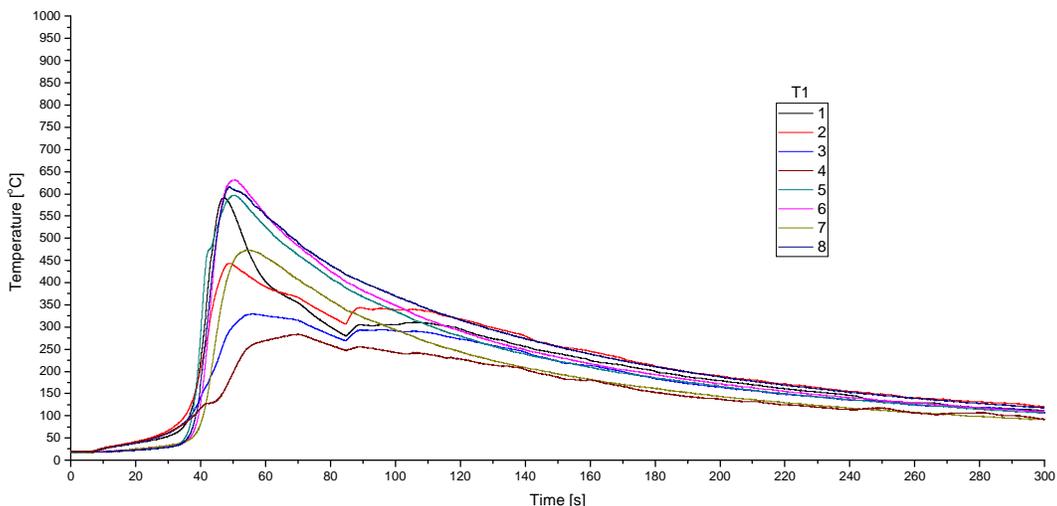


Figura 4. Ciclos térmicos medidos para o ensaio T1.

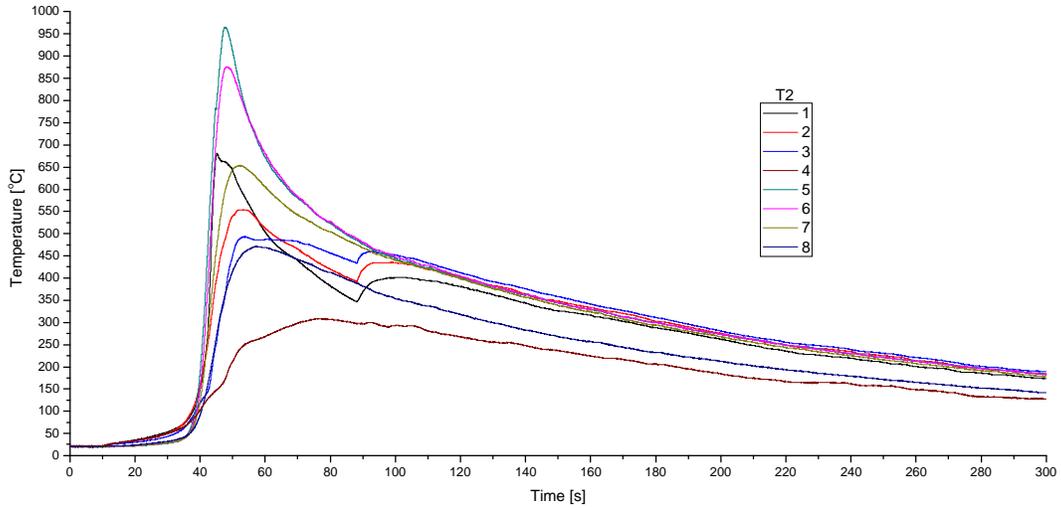


Figura 5. Ciclos térmicos medidos para o ensaio T2.

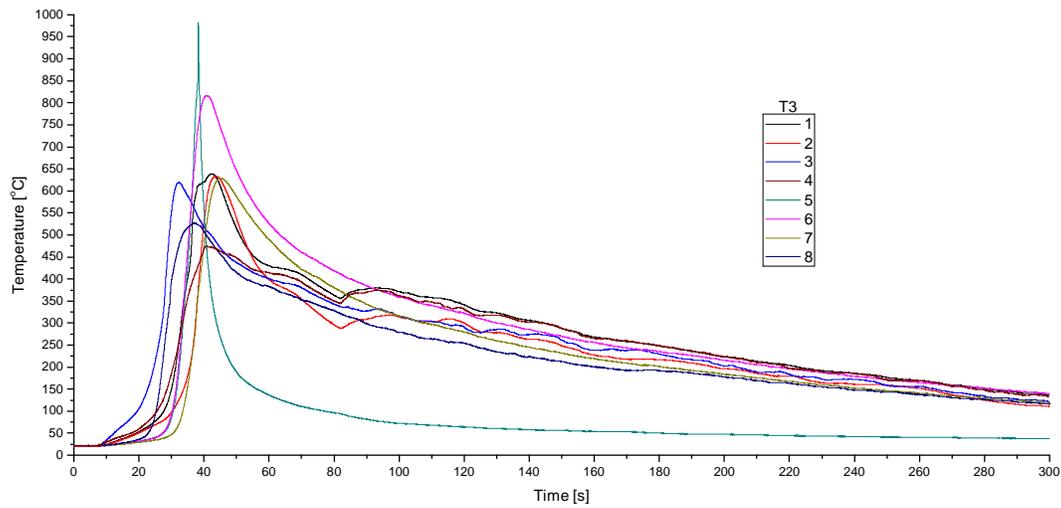


Figura 6. Ciclos térmicos medidos para o ensaio T3.

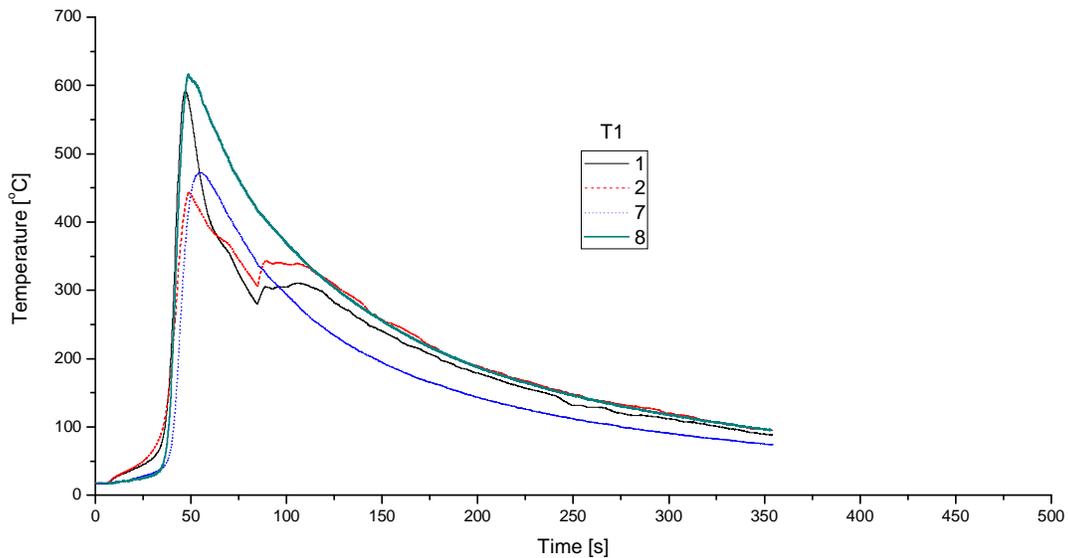


Figura 7. Comparação entre os ciclos térmicos para o ensaio T1 referentes aos termopares 1, 2, 7 e 8.

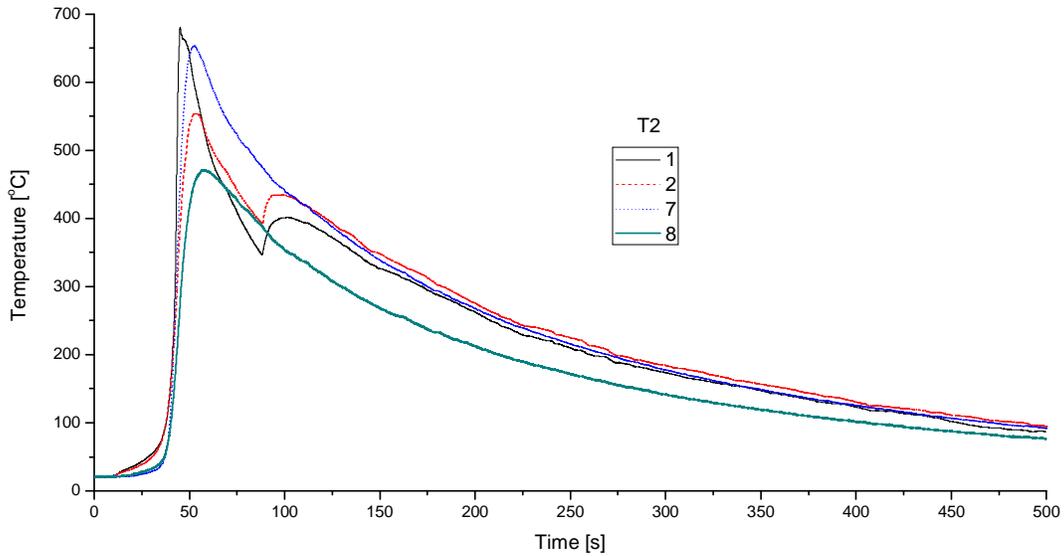


Figura 8. Comparação entre os ciclos térmicos para o ensaio T2 referentes aos termopares 1, 2, 7 e 8.

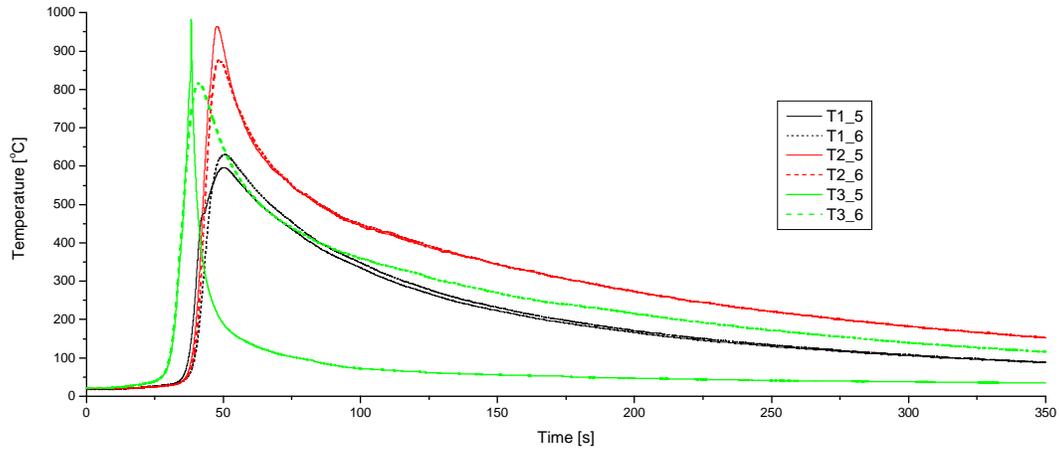


Figura 9. Comparação entre os ciclos térmicos para os termopares 5 e 6 para todos ensaios.

Com base nesta análise, se propõe o modelo qualitativo de distribuição de calor, após a formação do cordão para ambos os processos TIG e A-TIG. Uma avaliação mais quantitativa poderia ser realizada, por exemplo, utilizando-se de problemas inversos em condução de calor.

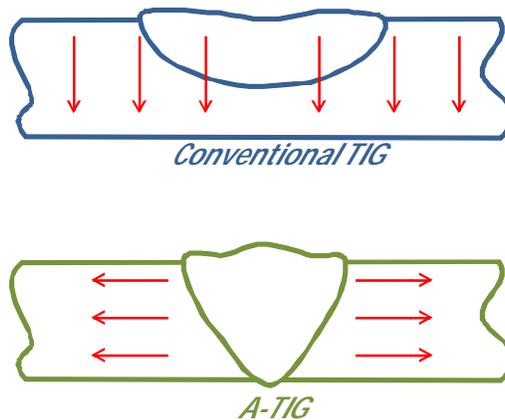


Figura 10. Fluxo de calor esquematicamente proposto.

Outro aspecto interessante e mencionado na literatura (Kumar et al, 2009) é a movimentação de material líquido da poça quando o arco entra no fluxo A-TIG. A poça de metal líquido tende a sofrer um movimento em sentido oposto à velocidade de soldagem, como se “não quisesse” entrar na região onde o fluxo foi aplicado. Esta característica foi observada para o ensaio T3, e a medição de temperatura na região da interface (Fig. 3) apresentou em detalhes os ciclos térmicos mostrados na Fig. 11. Em especial nota-se a maior temperatura atingida na interface (termopar 1), o que é um indicativo da maior permanência da poça nesta posição, corroborando para as observações mencionadas pela literatura.

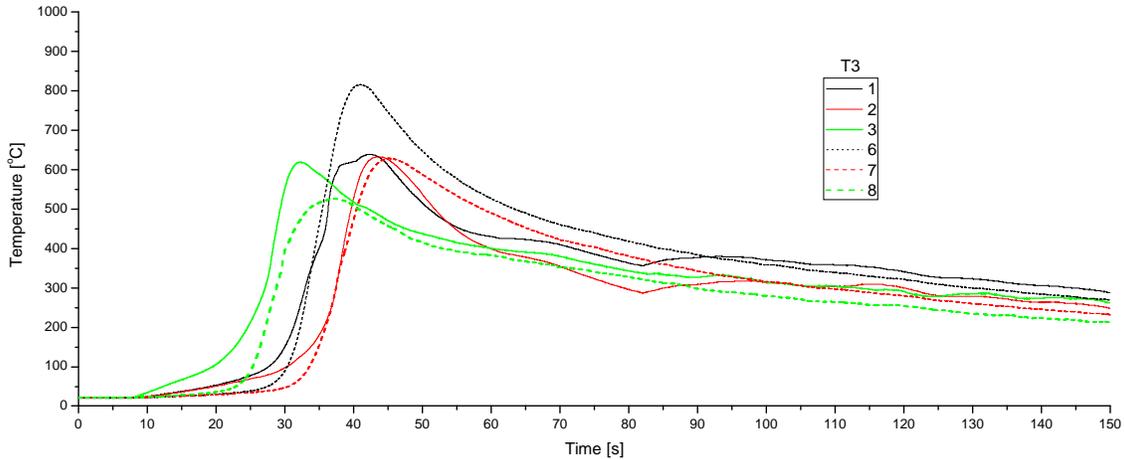


Figura 11. Comparação entre os ciclos térmicos para o ensaio T3 referentes aos termopares s 1, 2, 3, 6, 7 e 8.

Um aspecto final a ser notado refere-se à repartição térmica (TR), ou seja, como varia os máximos de temperatura para os diferentes ciclos térmicos medidos. Assim, a TR é um indicativo do fluxo de calor, ou seja, quanto maior a repartição térmica, maior o fluxo de calor obtido. As curvas de repartição térmica são mostradas nas Figs. 12, 13 e 14, respectivamente para os ensaios T1, T2 e T3. Ao se comparar as curvas de TR para os ensaios T1 (Fig. 12) e T2 (Fig. 13), nota-se que a TR para o processo A-TIG (ensaio T2) é maior do que aquela observada para o processo TIG (ensaios T1), corroborando, mais uma vez, para as afirmações feitas.

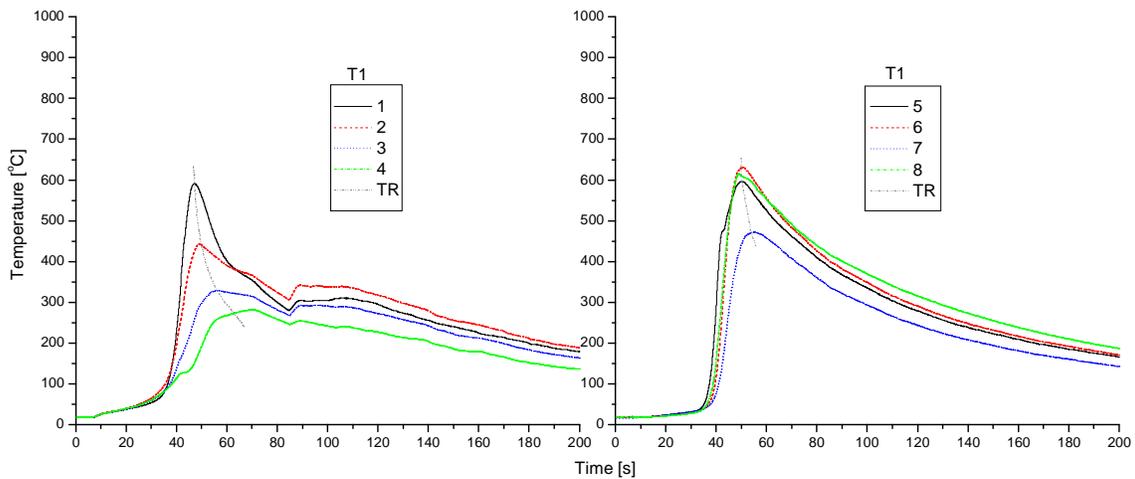


Figura 12. Observação da repartição térmica (TR) para a face (esquerda) e raiz (direita) a partir das medições para o ensaio T1.

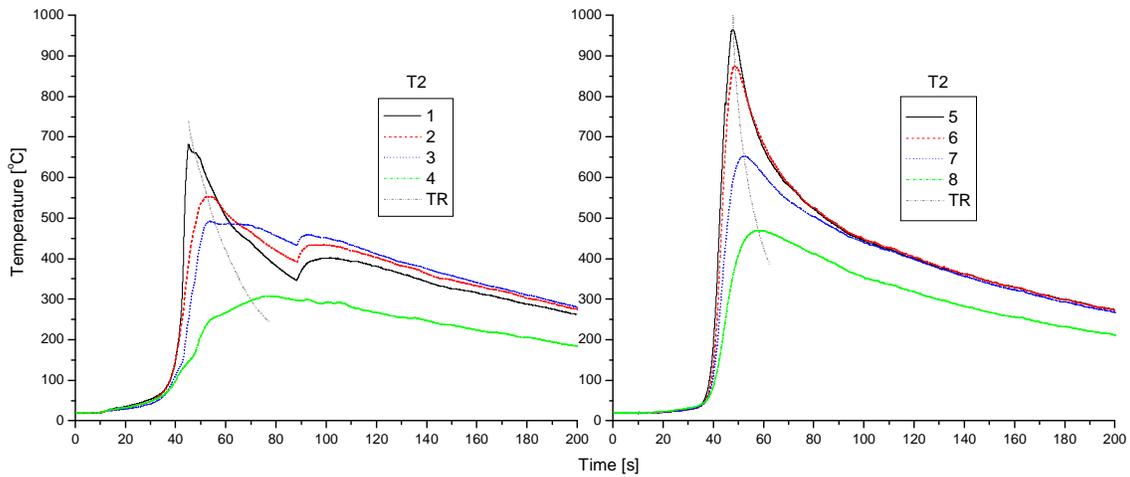


Figura 13. Observação da repartição térmica (TR) para a face (esquerda) e raiz (direita) a partir das medições para o ensaio T2.

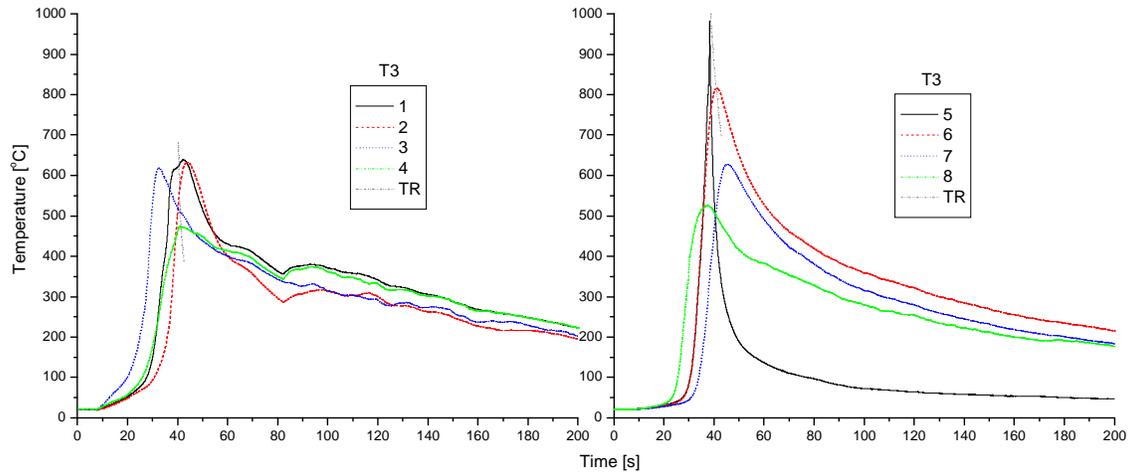


Figura 14. Observação da repartição térmica (TR) para a face (esquerda) e raiz (direita) a partir das medições para o ensaio T3. Neste caso, a TR foi obtida a partir dos termopares 1 e 4 (face) e termopares 5 e 6 (raiz).

4. CONCLUSÃO

Os ciclos térmicos apresentados neste trabalho retratam que no processo A-TIG, as temperaturas atingidas são maiores e que o fluxo de calor para o processo TIG possui características bidimensionais ao passo que para a soldagem A-TIG o fluxo de calor na direção da espessura possui grande componente, caracterizando um fluxo tridimensional de calor, o que contribui para o aumento da penetração no processo. Esta afirmação foi corroborada pelas curvas de repartição térmica.

Como trabalhos futuros, sugere-se o uso de técnicas de problemas inversos para estimação do fluxo de calor para comprovação das assertivas deste trabalho. Sugere-se também correlacionar a mudança no perfil dos ciclos térmicos medidos, para as condições com e sem fluxo, com o mecanismo de mudança na direção do fluxo líquido da poça decorrente da presença de elementos químicos tenso-ativos, ou seja, mudança nas direções do fluxo produzindo diferentes perfis de penetração x diferentes formas de dissipação de calor.

5. AGRADECIMENTOS

O Prof. Vilarinho gostaria de agradecer à Capes (Processo BEX 1535/08-0), ao CNPq (Processo 473953/2009-9 e Processo 307554/2008-2), à Fapemig (Processo TEC - APQ-01389-08) e ao Laprosolda/UFU.

6. REFERÊNCIAS

- Howse D, Lucas W and Russell JD, 1997. "An investigation into the mechanisms of active fluxes for TIG (A-TIG) welding", TWI Members report 604, 1997.
- Kumar, V. et al, 2009. "Investigation of the A-TIG Mechanism and the Productivity Benefits in TIG Welding". In: JOM-15 - Fifteenth International Conference on the Joining of Materials, 2009, Helsingor. Proceedings of the JOM15 - 03-06/05/2009, p. 1-11.
- Modenesi, P.J., E.R. Apolinario, and I.M. Pereira, 200. "TIG Welding with Single-Component Fluxes". Journal of Materials Processing and Technology, 99: p. 260-265
- PosiTestDFT, C, 2004. "Coating Thickness Gage - Instruction Manual ver. 1.0", USA, p. 1.
- Zacharia, T., et al., 1989, "Modeling the Effect of Surface Active Elements on Weld Pool Fluid Flow", Heat Transfer and Geometry, in 2nd Int. Conf. on Trends in Welding Research. Gatlinburg, Tennessee, USA

7. DIREITOS AUTORAIS

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

COMPARISON AMONG THERMAL CYCLES DURING A-TIG AND CONVENTIONAL TIG WELDING

Louriel O. Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹
Ricardo de Moura Araújo, ricardomaraujo@hotmail.com¹
Vinod Kumar, vinod.kumar@twi.co.uk²
Bill Lucas, bill.lucas@twi.co.uk²
Sayee Raghunathan, sayee.raghunathan@twi.co.uk²

¹Universidade Federal de Uberlândia, Laprosolda, Brasil

²TWI Limited, Granta Park, Great Abington, Cambridge, United Kingdom

Abstract: *The use of flux deposited on the plate prior to TIG welding is known as A-TIG process. This approach leads to penetration increase for a given current when compared to conventional TIG, i.e., without the flux. However, this increase on penetration is strictly dependent on flux composition. Thus, different authors have proposed a variety of flux compositions and, by observing the results on bead geometry; they have claimed the benefits regarding certain base materials, especially austenitic stainless steel. Hence, it is important to study the mechanisms behind the penetration increase in order to establish or direct the application of a given flux for specific base materials. One approach to contribute for the better understanding of the A-TIG process is the measurement of temperature profiles that take place during the welding. Therefore, this work aims to measure and analyse thermal cycles during both TIG and A-TIG the welding at different positions on the plate. The thermocouples were fixed by capacitive discharge (percussion welding) at eight positions close to the flux interface. The plate is austenitic stainless steel SUS304 with dimensions 125 x 38 x 5,7 mm. The results indicate that the heat flow for TIG welding has bi-dimensional behaviour; whereas the heat flow for A-TIG presents a larger component on the thickness direction, which characterizes a tri-dimensional flow. This characteristic contributes for the penetration increase.*

Keywords: *Welding, A-TIG, Flux, Temperature.*