

## MONITORAMENTO DE DESVIOS DE TRAJETÓRIA PARA SOLDAGEM EM CHANFROS V A PARTIR DO PERFIL TÉRMICO EM CHAPAS DE ALUMÍNIO

Rodrigo da Silva Machado, rodrigo.machado@grad.ufsc.br<sup>1</sup>

Alberto Bonamigo Viviani, alberto@labsolda.ufsc.br<sup>1</sup>

Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Soldagem e Mecatrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Trindade, Florianópolis - SC, Brasil, CEP: 88040-900, C.P.: 476. Phone: +55 (48) 3721-9471

**Resumo:** A utilização de técnicas de monitoramento e controle na área da soldagem é cada vez mais recorrente. As aplicações variam desde o controle da estabilidade do arco elétrico, desvios na trajetória de soldagem ou variações de DBCP/DEP, entre outros. Para tanto, é comum a utilização de modos de controle como AVC, controle adaptativo, seguimento de junta por monitoramento do arco elétrico, etc. O presente trabalho tem por objetivo verificar a eficiência do monitoramento de desvio de trajetória a partir do perfil térmico. A viabilidade de utilização do perfil obtido através da filmagem com câmera térmica, do lado da raiz dos corpos de prova, é estudada. Um dos questionamentos seria quanto à eficiência da leitura do perfil térmico, tendo em vista que o material de base (alumínio naval AlMg 5083 H116) possui alta emissividade e condutividade térmica. Para os testes foram utilizadas chapas de alumínio chanfradas, com raiz previamente soldada. A posição de soldagem foi vertical, com progressão ascendente, onde se induziu um desvio de trajetória na tocha e foi observada a resposta no perfil térmico capturado. O desvio de trajetória causa uma mudança no perfil de temperatura da junta, que se torna difuso conforme a tocha avança sobre a peça e para fora do chanfro. O monitoramento via perfil térmico mostrou-se bastante eficiente, visto que os desvios de trajetória foram avaliados quanto ao tempo de resposta e o comprimento de junta percorrido entre o desvio e a alteração do perfil térmico.

**Palavras-chave:** MIG/MAG Pulsado, Termografia, Seguimento de Junta, Controle da Soldagem, Soldagem Automatizada.

### 1. INTRODUÇÃO

O uso da termografia como ferramenta para controle de trajetória na deposição dos cordões de solda se baseia na utilização do perfil térmico, obtido através da filmagem termográfica, para realimentação do dispositivo responsável pelo deslocamento da tocha de soldagem. A correção de trajetória é uma característica fundamental em aplicações de soldagem automatizada, principalmente na aplicação do passe de raiz. A imagem captada pela câmera termográfica, filmando a peça durante a solda pelo lado da raiz, tem potencial de evidenciar desvio de trajetória, caracterizando soldagem fora da junta. Esse tipo de desvio deve ser corrigido, uma vez que impossibilita o sucesso na operação de união. Na utilização de metal de base de alta condutividade térmica e baixa emissividade, como as ligas de alumínio naval AlMg 5083 H116, a viabilidade do uso desta ferramenta ainda não é conhecida na literatura e configura uma opção atrativa, caso seja viável, pela possibilidade de controle sem contato nem proximidade com a junta. Neste trabalho é explorado o uso da termografia como uma ferramenta de análise e controle da soldagem, verificando sua aplicabilidade para controle de trajetória em soldagens de preenchimento em passe de raiz sobre metal de base de alta condutividade térmica e baixa emissividade.

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso da técnica de termografia em conjunto com a soldagem não é uma ideia inovadora. Além de inspeções não destrutivas e controle de qualidade, tal técnica já foi estudada como ferramenta de controle de trajetória há mais de meio século.

Em 1963, P. W. Ramsey, J. J. Chyle *et al.* [1], publicaram um dos primeiros artigos sobre o tópico em questão. Mais de duas décadas depois, em 1986, os autores M. A. Khan, N. H. Madsen *et al.* [2], avaliaram perfis térmicos da poça capturadas durante o processo de soldagem. Eles identificaram desalinhamento do arco com a junta, no caso de arco estacionário, e também o perfil assimétrico oscilante da poça, no caso de avanço com oscilação da tocha. Esses autores também notaram que, ao filmar o cordão recém-formado, é possível determinar a presença de contaminantes e de escória a partir dos dados radiométricos da superfície. Finalmente, foi também afirmado que o uso de termografia como controle de processo dependeria das

velocidades de captura da câmera, de processamento radiométrico pelo computador, de transferência de dados ao manipulador da tocha e de execução das instruções de correção. Os autores concluíram que “aparentemente, a termografia pode ser incorporada a um laço fechado de *feedback* num sistema contínuo de controle na soldagem”.

A implementação de um sistema de controle foi descrita em 1992 por S. Nagarajan, P. Banerjee *et al.* [3]. Através de filmagem direta da poça de fusão durante o processo, esses autores concluíram os seguintes pontos em seu estudo.

- Alterações no perfil térmico ao longo da poça de fusão podem ser usadas para medir sua largura em tempo real.
- Gradientes de temperatura e a quantidade de calor introduzida podem ser utilizadas para a monitoração de profundidade de penetração da poça e espessura das chapas soldadas.
- Diferenças e comparações entre raios médio de poça podem indicar um consistente sinal de erro associado ao estado de alinhamento do cordão em chanfros.

Três anos depois, em 1994, S. M. Govardhan H. C. Wikle e S. Nagarajan [4], obtiveram sucesso na aplicação de um sistema de controle em tempo real da trajetória da tocha em soldagem de chanfros com juntas retas e curvadas. Eles concluíram que as condições da junta afetam o perfil térmico ao redor da poça e que assimetrias em tais perfis podem ser efetivamente empregadas para guiar a tocha de soldagem.

Em 1998, H. C. Wikles, S. Nagarajan *et al.* [5], fizeram uma compilação das diversas técnicas de sensoriamento infravermelho utilizadas ao longo dos anos para monitoramento e controle do processo de soldagem. Eles observaram que a distribuição de temperaturas é um indicador confiável das características e qualidades principais da soldagem. Muitos autores citados nas referências desse trabalho utilizam a termografia como ferramenta de controle de trajetória. Devido à natureza térmica da maioria dos processos de soldagem, a termografia é uma escolha óbvia como técnica de controle e monitoramento, segundo os mesmos autores.

H. C. Wikle, em 2001, publicou outro artigo, juntamente com S. Kottilingam *et al.* [6], sobre a aplicação de termografia infravermelho para controle de profundidade de penetração no processo de soldagem com arco submerso. Eles investigaram o desenvolvimento de um sensor de baixo custo para monitorar perturbações nos perfis térmicos da poça de fusão e realizar com isso o controle do processo – tanto em soldagem MIG/MAG como em soldagem por arco submerso. Utilizando tal sensor como *feedback* em uma malha de controle fechada, a profundidade de penetração no processo foi mantida constante com sucesso.

No ano de 2007, uma equipe francesa, composta por M. S. Mattei *et al.* [7], empregou a termografia para monitoramento e controle do campo de temperaturas no processo de soldagem a laser de polímeros amorfos. As autoras concluíram que técnicas de medição por emissões infravermelhas on-line podem ser usadas para controle do processo de soldagem e monitoramento da qualidade da junta.

Em 2011, U. Sreedhar, C. Khrisnamurthy e K. Balasubramaniam [8] demonstraram que a termografia é capaz de detectar porosidade em soldagem TIG de aço e que, em geral, o campo dinâmico de temperaturas da região da poça de fusão pode indicar a presença de defeitos nos cordões durante o processo. Como as câmeras infravermelho hoje-em-dia têm altas taxas de aquisição e resolução, a termografia está se tornando uma prática opção para monitoramento on-line do processo de soldagem, segundo esses autores.

Finalmente, em 2013, os autores indianos S. Bagavathiappan, B. Lahiri, *et al.* [9] fizeram uma extensa revisão sobre o uso da termografia infravermelho como sistema de monitoramento de estruturas, máquinas, sistemas e processos. Este documento apresenta uma ótima visão geral sobre o estado-da-arte da termografia em aplicações industriais. Uma das seções de tal artigo é dedicada ao monitoramento da soldagem, na qual algumas técnicas são discutidas e comparadas. Os autores fornecem referências atualizadas a respeito desse tópico.

Muitos dos autores citados no presente trabalho, que realizaram e documentaram experimentos inovadores em seus artigos, filmaram diretamente a poça de fusão com a técnica de termografia. Assim, um ponto incomum na proposta do presente trabalho é a captura do perfil térmico dinâmico pela face da raiz do cordão de solda.

### 3. METODOLOGIA E BANCADA EXPERIMENTAL

A utilização de uma ferramenta de controle da trajetória da tocha, baseada na análise em tempo real de vídeos termográficos tomados pela face da raiz dos corpos de prova, depende do conhecimento prévio dos padrões de comportamento e da forma dos perfis de temperatura da peça durante a formação do cordão de solda.

A fim de verificar a viabilização dessa proposta, alguns experimentos foram planejados com o intuito de observar e correlacionar tal comportamento, durante a aplicação da soldagem. Para a execução dos

ensaios, foram utilizadas chapas de alumínio naval AIMg 5083 H116. A preparação dos corpos de prova é detalhada na seção 3.1.

Inicialmente, os perfis térmicos foram observados e caracterizados quando o chanfro estava alinhado com a direção média de translação da tocha. Isso representou o caso ideal e foi empregado como a trajetória de referência.

Em seguida, um desalinhamento de 10° entre a trajetória da tocha e chanfro foi simulado durante o processo de soldagem. Informações sobre ela e seu manipulador, um robô antropomorfo serial MOTOMAN UP-6, são apresentadas na seção 3.2.

Em todos os experimentos, foram capturados vídeos termográficos da projeção do perfil térmico da poça de fusão no lado da face da raiz da chapa. A partir da observação das diferenças entre os vídeos dos casos considerados como referência com aqueles nos quais havia desalinhamento, foi possível então caracterizar a viabilização do emprego de tais vídeos de perfis térmicos (termografia) como ferramenta de controle de trajetória.

É importante destacar que foi proposta uma análise qualitativa, que não requeria determinação precisa dos parâmetros de emissão, transmissão e reflexão de ondas com frequência na faixa de infravermelho dos corpos de prova. Tais ondas e parâmetros são utilizadas pela técnica de termografia para a medição e cálculo do campo de temperaturas. O presente trabalho enfoca apenas a análise do comportamento destes campos, e não necessariamente os valores pontuais de temperatura. Os parâmetros de processo da soldagem, a partir da qual foram obtidos os perfis, são apresentados na seção 3.3.

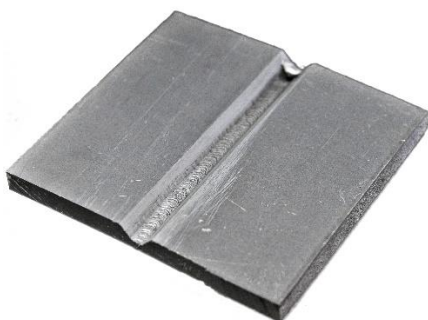
Foram propostas e realizadas três repetições para cada combinação entre condição de alinhamento dos corpos de prova, o que resultou em 6 cordões de solda produzidos e filmados com a câmera termográfica.

### 3.1. Corpos de Prova e Metal de Adição

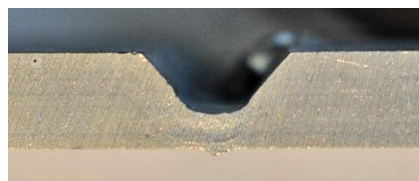
Foi sugerida a análise em chapas de alumínio com especificação AIMg 5083 H116. Conforme proposto, realizou-se o estudo de duas configurações e três repetições de medição, foram produzidos seis corpos de prova, todos possuindo um chanfro em forma de “V” com ângulo de abertura de 90°.

Os corpos de prova de alumínio possuíam as dimensões de 16 mm de espessura, 120 de largura e 190 mm de comprimento, como mostrado nas Figuras 1 e 2. Nestas amostras o passe de raiz foi previamente realizando, tendo uma espessura de 6mm.

O material de adição empregado nos testes em alumínio foi o arame eletrodo AIMg 4,5 Mn Zr de diâmetro 1,2 mm.



**Figura 1: Corpo de prova.**



**Figura 2: Perfil do chanfro com passe de raiz.**

### 3.2. Tocha de Soldagem e Manipulador

Para a realização dos testes, foi utilizada uma tocha de soldagem MIG montada sobre o robô antropomórfico industrial MOTOMAN UP-6. Este é mostrado na Figura 3.



**Figura 3: Robô antropomórfico MOTOMAN UP-6.**

### 3.3. Parâmetros de Processo

Em todos os experimentos a soldagem foi realizada na posição vertical, com progressão ascendente e ângulo de ataque de 5° “empurrando”. A fonte de soldagem foi a IMC Digitec 800 e o processo MIG/MAG Pulsado Sinérgico. Os parâmetros de soldagem dos experimentos estão listados no Quadro 1.

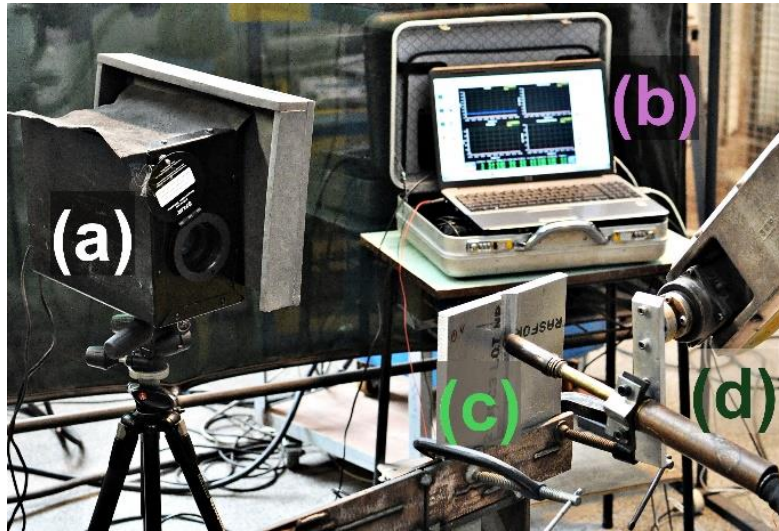
**Quadro 1: Parâmetros e condições de soldagem**

Material de base	AlMg 5083 H116 de 16 mm espessura
Arame eletrodo	AlMg 4,5 MnZr 1,2 mm
Pulsado Sinérgico	“AlMg 5356 1,2 mm”
Gás de proteção	Argônio
Corrente média	130 A
Distância Bico de Contato Peça	17 mm
Constante de correção de altura do arco	3
Velocidade de Soldagem	3 mm/s (18 cm/min)
Frequência de oscilação da tocha	2 Hz
Amplitude de oscilação	6 mm
Tempo de parada nos extremos da oscilação	100 ms

### 3.4. Bancada Experimental

A bancada experimental consistia de uma base para fixação dos corpos de prova, a tocha de soldagem e seu manipulador, a fonte de soldagem, a câmera termográfica e de um sistema de aquisição de dados para monitorar os parâmetros elétricos do processo. O *set-up* é mostrado na Figura 4.





**Figura 4: Bancada experimental. (a) câmera termográfica. (b) sistema de aquisição de dados. (c) corpo de prova. (d) manipulador da tocha.**

Como mencionado em seções anteriores, duas configurações de alinhamento entre trajetória da tocha e direção média do chanfro seriam testadas. Inicialmente, como referência, seria filmado o caso onde não havia desalinhamento. Em seguida, um ângulo de  $10^\circ$  seria imposto entre essas direções. Para tal, ao invés de inclinar o corpo de prova e para evitar a necessidade da produção de um chanfro desalinhado com as direções prismáticas principais, o robô foi programado para conduzir a tocha ao longo de uma reta inclinada.

Marcações foram feitas em todos os corpos de prova, as quais indicavam pontos de fixação à base, bem como posições iniciais e finais da trajetória da tocha. Com isso foi obtido de forma simplificada um desalinhamento entre a direção de soldagem e o chanfro.

### 3.5. Câmera Termográfica

O modelo SC7000, da empresa FLIR, foi a câmera termográfica utilizada neste trabalho para capturar o perfil térmico do lado da face da raiz dos corpos de prova durante a deposição de solda sobre o chanfro. A câmera é mostrada na Figura 5. Ela opera na faixa espectral  $7,7 \mu\text{m}$  a  $9,3 \mu\text{m}$ , grava vídeos e imagens com resolução de  $320 \times 256$  e possui tamanho de pixel de  $29 \mu\text{m}$ .



**Figura 5: Câmera de termografia FLIR SC7000.**

Na Figura 4(a) da seção anterior, é possível notar que a câmera termográfica foi protegida, contra respingos provenientes da soldagem, por uma caixa metálica.

Outro ponto importante a se notar é que os parâmetros relacionados à técnica de termografia não foram calibrados (coeficiente de emissão, reflexão e de transmissão do corpo de prova, temperatura ambiente, etc.). A justificativa para tal é que a medição de temperatura de *facto* não foi o escopo deste trabalho. Com o intuito de viabilizar a termografia como ferramenta de controle da trajetória da tocha de soldagem, uma

mera análise do comportamento do perfil térmico projetado sobre o lado da face da raiz dos corpos de prova foi suficiente.

O conhecimento do campo de temperatura não traria benefícios ao autor em relação ao alcance de seu objetivo. Entretanto, buscando realizar testes empíricos com alguma repetitividade, a bancada experimental e o ambiente de trabalho foram isolados contra fontes de radiação externa, utilizando telas pretas posicionadas ao seu redor, como também pode ser observado no *background* da Figura 4.

Para efeitos de repetitividade experimental, a configuração dos parâmetros associados à radiometria, que foram utilizados na fase empírica do presente trabalho, estão listados no Quadro 2.

**Quadro 2: Parâmetros e condições de soldagem**

Emissividade	0,9
Temperatura de fundo	20 °C
Transmissividade	100%
Distância de medição	1 m
Faixa de medição	50 a 250 °C
Abertura da pupila	F/#2

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram soldados três corpos de prova onde a direção média de deslocamento da tocha estava alinhada com o chanfro. Esses casos foram considerados como referência de comparação para a análise do perfil térmico quando um desalinhamento de 10° foi imposto. Todos os cordões de solda produzidos tinham comprimento de 75 mm.

Foram feitas três repetições para cada configuração de parâmetros. Entretanto, dada a constância dos resultados, neste documento é mostrada apenas uma imagem por configuração. Configurando 2 Hz de frequência de oscilação transversal da tocha, com tempo de parada de 0,1 s nos extremos do movimento e velocidade de deslocamento transversal igual a 18 cm/min, o resultado foi o apresentado nos cordões da Figura 6.



**Figura 6: Cordões de solda sobre os corpos de prova constituídos pela liga de alumínio naval AlMg 5083 H116.**

Na Figura 6 (a) é mostrado um dos casos empregados como referência, nos quais não havia desalinhamento entre a direção média de deslocamento da tocha em relação ao chanfro. Na Figura 6 (b), foi imposto um desalinhamento de 10° para trajetória da tocha.

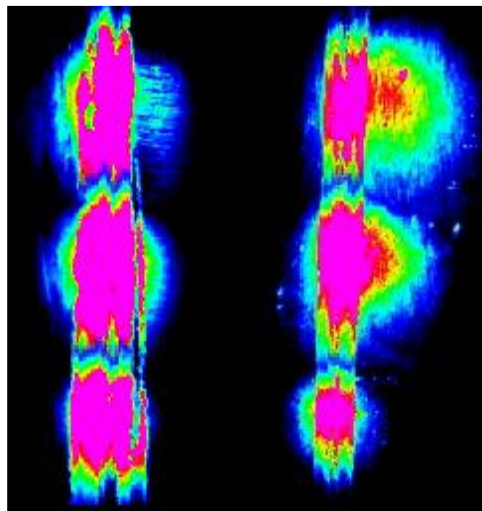
A observação dos perfis térmicos projetados sobre o lado da face da raiz dos corpos de prova, mostrados na Figura 7, pode também ser correlacionada com o estado de alinhamento da direção média da trajetória da tocha com o chanfro. Há pelo menos dois fenômenos indicadores do desalinhamento que podem ser notados ao se comparar os perfis:

- A simetria presente no caso alinhado é perdida: apenas observando o perfil térmico do conjunto de imagens na parte direita da Figura 7, nota-se uma fonte de radiação que se destoa da faixa central, sobre a qual está o passe de raiz. Tal fonte corresponde à região sob a poça de fusão;
- A intensidade da emissão de radiação na região correspondente ao passe de raiz diminui ao longo do cordão. Isso é correlacionado obviamente ao progressivo afastamento do centro da poça de fusão em relação a essa região. No caso representado pelas imagens na esquerda da Figura 7, não há perda de intensidade de emissão.

Vale a pena notar que a região no perfil térmico correspondente ao fundo do passe de raiz estava sempre saturada e parecendo emitir mais intensidade. Este efeito se deve a dois fatores:

- Essa região é aquela de menor espessura e, portanto, o calor oriundo do processo de soldagem atravessa o corpo de prova mais rapidamente e com menor dissipação. O que de fato o tornaria mais quente.
- A geometria da parte inferior do passe de raiz é irregular e contém formas cilíndricas e esféricas que se destoam do modelo de chapa plana. Estes artefatos geométricos possuem propriedades ópticas infravermelho distintas em relação a uma superfície plana e, por isso, eles podem tanto aparentar emitir radiação infravermelho de forma mais intensa como de fato fazê-lo. Entretanto, esse fenômeno não significa, necessariamente, que a região está mais quente.

Ainda na Figura 7, a parte inferior da figura representa o início da produção do cordão de solda. A parte superior representa os últimos quadros filmados enquanto o arco voltaico ainda estava aberto. O conjunto de imagens na parte esquerda da figura representa o caso alinhado com o chanfro. O conjunto de imagens na direita representa um caso no qual 10° de desalinhamento foram impostos entre essas direções.



**Figura 7: Três estados de perfil térmico projetado sobre o lado reverso da chapa soldada em corpos de prova constituídos pela liga de alumínio.**

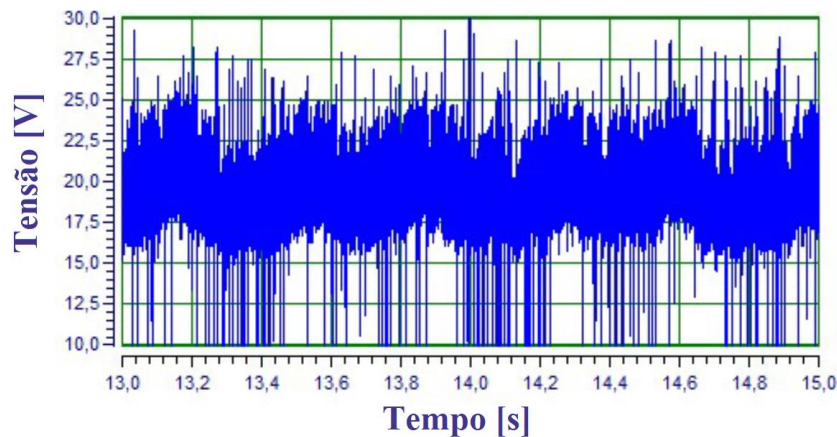
De forma complementar ao uso da termografia, com um osciloscópio foram medidos os parâmetros elétricos do processo. Foi percebido que a curva de diferença de potencial entre os eletrodos também denota o desalinhamento da direção média da tocha em relação ao chanfro.

A Figura 8 apresenta um oscilograma medido no caso onde não havia desalinhamento. As curvas de tensão são compostas por uma sobreposição de diferentes frequências de oscilação. Oriunda da fonte, há uma curva de frequência 100Hz correspondente ao processo pulsado de transferência metálica. Para este trabalho, entretanto, estamos interessados na menor frequência de oscilação, ou seja, aquela correspondente à oscilação da tocha (2Hz). Por esse motivo, quando o termo “formato da curva” for mencionado, faz-se referência a essa oscilação em menor frequência.

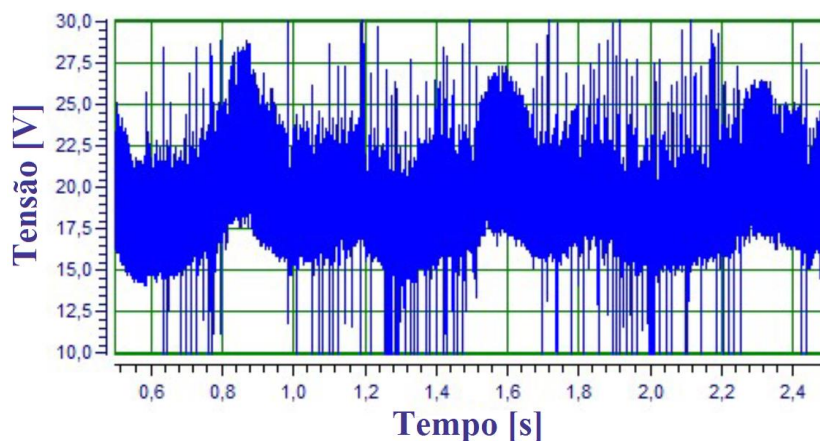
Então, o formato da curva mostrada na Figura 8 repete-se sempre que o eixo de oscilação se aproxima do plano de simetria longitudinal do chanfro. Todas as repetições de mediação em alumínio nas quais não foram impostos desalinhamento apresentaram tal formato. Isto indica que não havia desalinhamento entre a direção média da tocha em relação ao chanfro.

Ao analisar os oscilogramas no caso da soldagem desalinhada, percebe-se uma progressiva evolução da curva de tensão. Inicialmente, enquanto a tocha está sobre o vale do chanfro, foram registrados

oscilogramas semelhantes àquele referente ao caso sem desalinhamento (Figura 8), como mostrado na Figura 9.



**Figura 8:** Oscilograma de tensão obtido no início do cordão de solda em procedimento sem desalinhamento do centro da trajetória da tocha em relação à linha central do chanfro.



**Figura 9:** Oscilograma de tensão capturado no início da soldagem do cordão na situação com desalinhamento entre o centro da trajetória da tocha e o centro do chanfro.

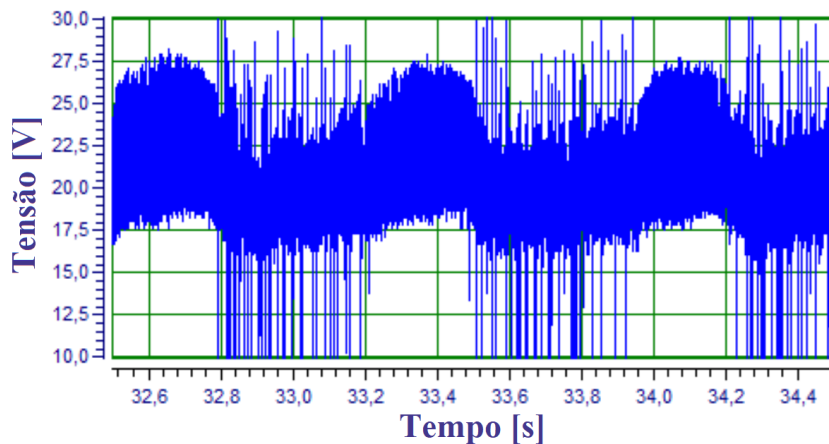
Fica evidente na Figura 9 que, neste caso, havia desalinhamento entre a direção média da tocha em relação ao chanfro. Entretanto, esse oscilograma corresponde aos primeiros segundos do processo.

A Figura 10 mostra o oscilograma no caso desalinhado ao final do processo. Aqui, a tocha já se encontra parcialmente fora do chanfro e é observada uma significativa variação no formato da curva em relação aos casos onde a oscilação ocorre de forma simétrica ao eixo longitudinal do chanfro.

Fica evidente na Figura 10 que havia desalinhamento entre a direção média da tocha em relação ao chanfro. Esse diagrama corresponde aos segundos finais do processo. É notado que a menor frequência de oscilação da curva de tensão diminui em função do aumento da distância média entre o ponto no entorno do qual a oscilação é realizada sobre o plano médio de simetria longitudinal do chanfro. O arco não atravessa duas vezes o vale do chanfro como antes, o que implica em menos pontos de inflexão da curva de tensão. Isso ocorre porque a fonte utiliza comando em corrente e, nesses casos, a tensão é adequada ao comprimento do arco, visando manter a corrente média constante.

Além disso, quando o arco está sobre a superfície plana dos corpos de prova, nas etapas finais do processo desalinhado, não há uma queda na tensão durante boa parte da oscilação. Esse efeito também origina as alterações no formato da curva, um “plateau de tensão constante”. Tal fenômeno é evidente na figura 10 quando comparadas às 8 e 9.





**Figura 10: Oscilograma de tensão capturado próximo do fim da soldagem do cordão na situação com desalinhamento entre a trajetória da tocha e o chanfro.**

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados experimentais obtidos sustentam a hipótese de viabilidade da utilização da técnica de termografia como ferramenta de controle da trajetória da tocha no processo de soldagem MIG/MAG pulsado.

Os perfis térmicos dinâmicos do lado da face da raiz da chapa durante a deposição metálica foram capturados por uma câmera termográfica e analisadas. Inicialmente foram depositados cordões bem alinhados com o chanfro. Esses casos foram tornados como referência. A seguir, um desalinhamento relativo de  $10^\circ$  foi imposto entre a direção média de translação da tocha de soldagem e o plano de simetria longitudinal do chanfro. Novamente foram capturados os perfis térmicos. Estes foram então comparados com as referências.

Pelo menos dois fenômenos observados durante a comparação dos perfis indicaram o desalinhamento. São eles:

- A simetria do perfil é perdida nos casos onde o desalinhamento foi imposto. A fonte de emissão correspondente à poça de fusão foi claramente deslocada para fora do vale do chanfro;
- A região correspondente ao vale do chanfro deixou de ser uma grande emissora de radiação e a emissão correspondente à poça de fusão se tornou menos intensa. Isso ocorre pois há maior espessura de chapa que dissipa o calor entre o lado da face da raiz e a poça de fusão quando a tocha se afastou do vale.

Esses dois fenômenos indicam que o campo de temperatura do lado da face da raiz de um chanfro soldado pode determinar se um cordão de solda está sendo depositado de forma alinhada com tal chanfro ou não. Entretanto, a análise em tempo real não foi testada como ferramenta para controle da trajetória da tocha. Isso exigiria uma malha fechada de controle onde a termografia faria parte do laço de *feedback* do sistema.

## 6. REFERÊNCIAS

[1] P. W. Ramsey, J. J. Chyle, J. N. Kuhr, P. S. Myers, M. Weiss, and W. Groth, "Infrared temperature sensing systems for automatic fusion welding." *Welding Journal*, p. 337S. Agosto de 1963.

[2] M. A. Khan, N. H. Madsen, J. S. Goodling, and B. A. Chin, "Infrared thermography as a control for the welding process." *Optical Engineering*. Vol. 25. No. 6, pp. 256799-256799-. 1986.

[3] S. Nagarajan, P. Banerjee, W. Chen, and B. A. Chin, "Control of the welding process using infrared sensors," *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, vol. 8, pp 86-93, Feb 1992.

[4] S. M. Govardhan, H. Wikle, S. Nagarajan, and B. Chin, "Real-time welding process control using infrared sensing," in *American Control Conference, Proceedings of the 1995*, vol. 3, pp. 1721-1716 vol.3, Jun 1995.

[5] H. C. W. III, F. Chen. S. Nagarajan. And B. A. Chin, “Survey of infrared sensing techniques for welding process monitoring and control”, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 21. no. 6, pp. 645-657, 1998.

[6] H. W. III, S. Kottilingam, R. Zee, and B. Chin, “Infrared sensing techniques for penetration depth control of the submerged arc welding process”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 113, no. 1-3, pp. 288 – 233, 2001. 5<sup>th</sup> Asia Pacific conference on Materials processing.

[7] M. Speka, S. Mattei, M. Pilloz, and M. Ilie, “The infrared thermography control of the laser welding of amorphous polymers”, *NDT and E International*, vol. 41, no. 3, pp. 178 – 183, 2008.

[8] U. Sreedhar, C. Krishnamurthy, K. Balasubramaniam, V. Raghupathy, and S. Ravisankar, “Automatic defect identification using thermal image analysis for online weld quality monitoring”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, no. 7, pp. 1557 – 1566, 2012.

[9] S. Bagavathiappan, B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip, and T. Jayakumar, “Infrared thermography for condition monitoring – a review”, *Infrared Physics and Technology*, vol. 60, no. 0, pp. 35 – 55, 2013.

[10] “FLIR SC7000 website.” [flir.com/science/display/?id=50093](http://flir.com/science/display/?id=50093). [Online, acessado em 2015-07-11].

## THERMAL PROFILE TRAJECTORY DEVIATIONS MONITORING FOR V GROOVE WELDING IN ALUMINUM PLATES

Rodrigo da Silva Machado, [rodrigo.machado@grad.ufsc.br](mailto:rodrigo.machado@grad.ufsc.br)<sup>1</sup>

Alberto Bonamigo Viviani, [alberto@labsolda.ufsc.br](mailto:alberto@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

Régis Henrique Gonçalves e Silva, [regis.silva@labsolda.ufsc.br](mailto:regis.silva@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Welding and Mechatronics Institute. Federal University of Santa Catarina, Trindade, Florianópolis - SC, Brazil, CEP: 88040-900, C.P.: 476. Phone: +55 (48) 3721-9471

**Abstract:** *Monitoring and control techniques use in welding is increasingly recurrent. The applications vary from electric arc stability control, deviations in the welding trajectory or variations of CTWD, among others. Therefore, it is common to use control modes such as AVC, adaptive control, seam tracking by electric arc monitoring, etc. The present work has as objective to verify the efficiency of thermal profile trajectory deviations monitoring. The feasibility of using the profile obtained through thermal camera filming, on the root side of the test pieces, is studied. One of the questions would be about the thermal profile reading efficiency, considering that the base material (AlMg 5083 H116 naval aluminum) has high emissivity and thermal conductivity. For the tests, beveled aluminum plates with pre-welded root pass were used. The welding position was vertical, with ascending progression, where a torch trajectory deviation was induced and the response in the captured thermal profile was observed. The trajectory deviation causes a change in the joint temperature profile, which becomes diffuse as the torch advances over the test piece and away from the chamfer. Thermal profile monitoring proved to be very efficient, as the trajectory deviations were evaluated for the response time and the joint length traveled between the deviation and the thermal profile alteration.*

**Keywords:** *Pulsed GMAW, Termografia, Seam Tracking, Welding Control, Automatic Welding.*