

ESTUDO DA MONITORAÇÃO POR INFRAVERMELHO COMO INDICADOR DE PENETRAÇÃO EM SOLDAS OBTIDAS NO PROCESSO TIG

*Cláudio Fernando Benício Araújo¹
Sadek Crisóstomo Absi Alfaro²*

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar qualitativamente a utilização da intensidade das emissões do infravermelho produzidas pela poça de fusão como parâmetro de monitoramento dos processos de soldagem, visando o desenvolvimento posterior de um sistema de controle em tempo real. Corpos de prova soldados pelo processo "GTAW" em chapas de aço 1020 que apresentaram variações dimensionais (específicas) na largura e espessura foram obtidos. Em cada ensaio foram coletados dados tratados como séries temporais relacionando a tensão contínua produzida pelo termômetro infravermelho e a variação dimensional da amostra. Os dados foram registrados a partir de um conversor A/D de 16 canais. O termômetro, acoplado a um robô, monitorava as emissões de infravermelho da poça de fusão durante a produção de cada um dos cordões de solda. As séries temporais foram analisadas de forma gráfica e estatística, buscado a identificação dos efeitos das variações da largura e espessura existentes nos corpos de prova sobre a emissão infravermelha, procurando assim, demonstrar a potencialidade da técnica na utilização como parâmetro de monitoramento em soldagem.

Palavras-chave: Sensor infravermelho; Monitoração, Soldagem.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de controle dos processos de soldagem podem ser classificados em duas categorias: sistemas de controle aberto e sistemas de controle fechado. Os sistemas de controle aberto têm como objetivo o estabelecimento de relações entre os parâmetros de processo e as características finais do cordão de solda, possibilitando a seleção do melhor conjunto de parâmetros que atendam às características de saída desejadas para o cordão de solda [1, 2]. Os sistemas de controle fechado estão relacionados às informações obtidas durante a soldagem com o objetivo de estabelecer ajustes dos parâmetros de processo, de modo a manter as características finais do cordão de solda dentro dos valores desejados [1, 2].

A diferença básica entre estas abordagens reside no fato dos sistemas de controle fechado terem a capacidade de proporcionar a acomodação de fatores que afetam o processo, tais como: desvios da chapa, desalinhamento na junta, variações na espessura, geometria da peça soldada, defeito na largura da junta, composição do gás de proteção [2]; objetivando uma compensação dinâmica destas perturbações.

Portanto, pode-se dizer que estas abordagens se complementam, uma vez que sistemas abertos objetivam a otimização de parâmetros, enquanto sistemas fechados buscam o controle dinâmico dos mesmos.

As técnicas relacionadas à otimização dos processos de soldagem baseiam-se em metodologias empíricas, sendo as que mais se destacam são: Projeto Fatorial e Redes Neurais [3]. Estas técnicas estão fortemente relacionadas a ensaios experimentais e buscam estabelecer relações entre os parâmetros de soldagem e a geometria do cordão de solda. A introdução do controle fechado ou adaptativo à soldagem deve ser efetivada executando o monitoramento de uma variável ou conjunto de variáveis que identifiquem uma perturbação durante o processo. Para cada implementação prática de um sistema adaptativo a um processo de soldagem deve-se identificar o “envelope” da variável ou conjunto de variáveis de monitoramento. Estas variáveis deveram ser utilizadas como valor de referência no controle do processo, fazendo com que o sistema dispare o ajuste do parâmetro de controle (corrente de soldagem, tensão, etc) buscando garantir que as características do cordão fiquem o mais próximo dos valores desejados. Uma vez que os parâmetros de soldagem variam de acordo com o material, tipo de processo escolhido, dimensões da chapa e as características da geometria do cordão de solda, o ajuste do valor de referência da variável de monitoramento dependerá do estabelecimento de um conjunto de parâmetros otimizados, que forneçam um cordão de solda com as especificações desejadas. Portanto, observa-se que as técnicas relacionadas aos sistemas abertos são importantes na implementação de um controle adaptativo a um determinado processo de soldagem.

As pesquisas relacionadas aos sistemas adaptativos para soldagem procuram o desenvolvimento de técnicas de monitoramento direto ou indireto da geometria do cordão de solda. Os sistemas de monitoramento indireto são os mais utilizados buscando relacionar elementos como a oscilação da poça de fusão, distribuição de temperatura superficial e emissão acústica ao tamanho, forma ou profundidade da poça de fusão [4]. Segundo Hong [5], as abordagens mais utilizadas no controle da soldagem são: monitoramento infravermelho, monitoramento acústico, oscilação da poça de fusão e monitoramento da depressão da poça.

2 MONITORAMENTO INFRAVERMELHO

Ultimamente, a busca na soldagem pelo seu controle adaptativo tem levado alguns pesquisadores a identificarem o monitoramento infravermelho como uma ferramenta útil na detecção de alterações ocorridas nas condições de soldagem.

O conceito do controle da penetração por infravermelho baseia-se no monitoramento da distribuição de temperatura da superfície da chapa soldada. As trocas de calor por convecção e radiação com o ambiente, a transferência de calor entre o metal líquido da poça e a parte sólida da peça determinam o perfil da distribuição de temperatura, tanto na região interna quanto na superfície da chapa soldada [6]. Utilizando sensores infravermelhos na medição da distribuição de temperatura superficial, são estudadas as relações entre as características da distribuição da temperatura e a geometria do cordão de solda com o objetivo de desenvolver um sistema de controle eficiente [7].

A distribuição de temperatura superficial pode ser utilizada como indicativo na formação de defeitos, desenvolvimento de deformações e desajustes da junta soldada, além de identificarmos perturbações na penetração. O controle da variação da penetração se torna possível, uma vez que, o padrão de convecção radial da poça de fusão, que é responsável pela variação da penetração em juntas soldadas, pode ser identificado através da distribuição de temperatura na poça de fusão. Para a produção de uma solda de qualidade, deve ser obtida uma soldagem sem variações nas condições de processo, mantendo um padrão regular e repetitivo na distribuição de temperatura superficial [8].

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Cordões de solda foram depositados em corpos de prova com 4 formatos diferentes confeccionados em aço 1020 (Figura 1). A Figura 2 apresenta um esquema do conjunto de coleta de dados.

Os experimentos foram realizados utilizando uma célula robotizada composta por: máquina de soldagem TIG Migatronic BDH 320 triple, robô ABB IRB 2000. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de soldagem utilizados em todos os experimentos.

Tabela 1. Parâmetros de Soldagem.

Corrente	150 A
Tensão	12 Vcc
Veloc. de Soldagem	2,5 mm/seg
Gás de Proteção	Argônio
Metal de Base	AISI 1020
Eletrodo Torinado	2%

O sistema de monitoramento da poça de fusão foi composto por: termômetro infravermelho, sistema de aquisição e tratamento de dados composto de conversor A/D de 16 canais e software. O termômetro infravermelho e a tocha de soldagem TIG foram acoplados à garra do robô através de uma estrutura de alumínio, permitindo assim o monitoramento da poça durante a soldagem. O termômetro infravermelho produzia durante a soldagem um sinal analógico de 1mVcc/°C coletado pelo sistema de aquisição a uma taxa de 350 amostras/seg. Os ensaios foram identificados com a nomenclatura CPxy, onde x indica o tipo de corpo de

prova e y o número do ensaio. Todos os corpos de prova foram marcados com os pontos “O” e “F”, indicado o início e final do depósito dos cordões de solda. Os corpos de prova tipo 1 e 3 buscaram simular um sinal degrau via largura e espessura, respectivamente, sendo os pontos P1, P2 e P3 as localizações das alterações. Os corpos de prova 2 e 4 buscaram simular um sinal rampa via largura e espessura, respectivamente, sendo o ponto P1 a localização do início das alterações.

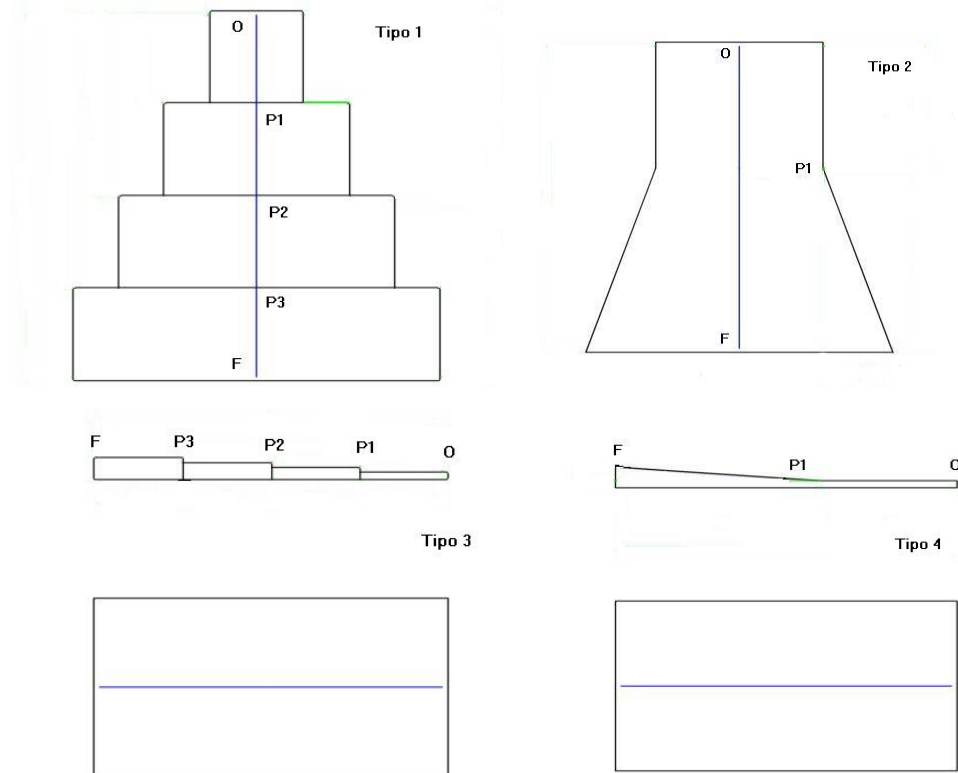


Figura 1. Corpos de Prova.

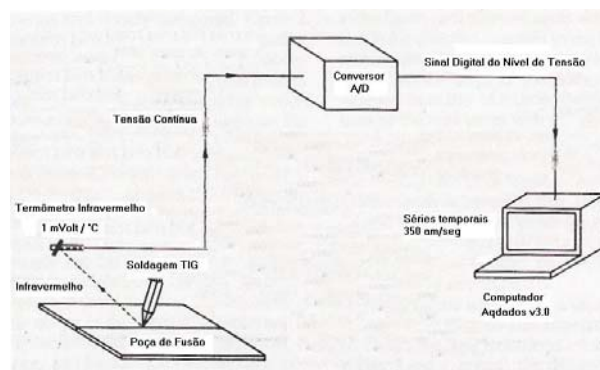


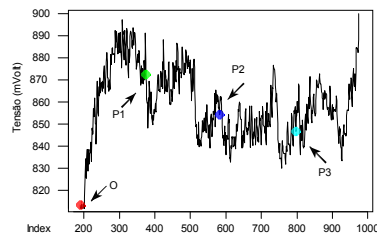
Figura 2. Esquema dos Equipamentos.

4 RESULTADOS

Os gráficos (series temporais da tensão contínua produzida pelo termômetro x amostra) foram analisados usando-se técnicas estatísticas (correlação e regressão linear). As Figuras 3, 4 e 5 apresentam gráficos representativos obtidos a partir dos

ensaios dos corpos de prova tipos 1, 3 e 4, respectivamente. A localização, dentro das séries temporais, das alterações na geometria dos corpos de prova foram marcadas com os pontos “O”, P1, P2, P3 e “F” observados nos gráficos. O cálculo para identificação da posição de cada um destes pontos dentro das séries temporais foram realizados a partir da velocidade de soldagem, taxa de amostragem e distância entre os pontos P1, P2, P3 e F e o ponto de referência “O”. Antes dos ensaios, todos os corpos de provas foram medidos e as distâncias entre as alterações geométricas registradas.

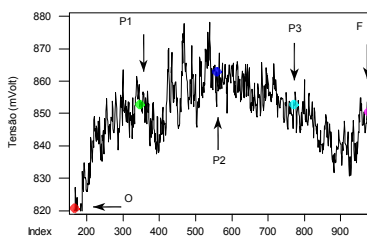
Ensaio CP12



Unidade de Tempo: 1/7seg

Figura 3. Série temporal do ensaio CP12.

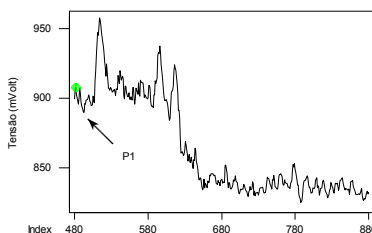
Ensaio CP33



Unidade de Tempo 1/7 seg

Figura 4. Série temporal do ensaio CP33.

Ensaio CP42



Unidade de Tempo 1/7 seg

Figura 5. Série temporal do ensaio CP42.

5 DISCUSSÃO

As análises gráficas dos ensaios tipo 1 mostraram uma redução do sinal analógico (tensão contínua) produzido pelo termômetro durante a soldagem, indicando uma redução da temperatura da poça de fusão a cada aumento da largura

dos corpos de prova. Estes resultados foram confirmados pelas análises estatísticas realizadas para cada intervalo de dados entre as alterações, onde foram registradas relações lineares negativas entre as variáveis “tensão (sinal analógico) x comprimento (cordão de solda)”.

As análises gráficas dos ensaios tipos 3 e 4 também apresentaram uma redução do sinal analógico produzido pelo termômetro durante a deposição dos cordões de solda, com destaque para os ensaios tipo 4, indicando uma redução da temperatura da poça de fusão frente aos aumentos da espessura dos corpos de prova. Estes resultados foram confirmados pelas análises estatísticas realizadas, onde foram registradas relações lineares negativas entre as variáveis “tensão (sinal analógico) x comprimento (cordão de solda)” para os ensaios tipo 3 e “tensão (sinal analógico) x espessura” para os ensaios tipo 4.

6 CONCLUSÃO

Com os ensaios tipo 1, verificou-se que a geometria dos corpos de prova exerce influência sobre a troca de calor durante a soldagem, agindo sobre a formação do cordão de solda. Este resultado fornece indícios sobre a necessidade de um sistema de controle que atenuie este efeito durante o processo.

Os fracos resultados apresentados pelos ensaios tipo 2 podem ser explicados pela forma “em rampa” aplicada a largura. Observando os resultados dos ensaios tipo 1 e 2, concluiu-se que as alterações na largura exerceram menor influência sobre o processo de troca de calor que as alterações de espessura. Deste modo, a percepção do seu efeito durante a soldagem requer uma precisão maior do sistema de monitoramento. Os melhores resultados apresentados pelos ensaios tipo 1, podem ser explicados pela forma mais brusca e elevadas aplicadas à largura. As variações mais suaves produzidas na largura nos corpos de prova tipo 2, em forma de “rampa”, fato que associado às limitações técnicas dos equipamentos utilizados, provavelmente, sejam as causas dos fracos resultados apresentados pelos ensaios realizados com estes corpos de prova.

Os ensaios com os corpos de prova tipo 3 mostraram a possibilidade de monitoramento da penetração através do infravermelho. Apesar da impossibilidade de se analisar o atraso entre a ocorrência das perturbações e seu registro, devido às limitações técnicas dos equipamentos utilizados, os resultados mostraram a possibilidade de se utilizar as emissões de infravermelho da poça de fusão como parâmetro de monitoramento da penetração durante a soldagem.

Os bons resultados obtidos nos ensaios com corpos de prova do tipo 4, confirmaram as observações verificadas nos ensaios tipo 3, com relação à utilização do infravermelho como indicativo da penetração. Mesmo diante de alterações na forma de rampa, que suavizou a variação da espessura ao longo dos corpos de prova, foram observadas alterações significativas nas emissões de infravermelho que puderam ser registradas pelo sistema de monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Wikle III, H. C.; Zee, R. H.; Chin, B. A, A Sensing System for Weld Process Control, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 89-90, mai. 1999, p. 254-259.
- 2 Wikle III, H. C.; Kottilingam, S.; Zee, R. H.; Chin, B. A., Infrared Sensing Techniques for Penetration Depth Control of the Submerged Arc Welding Process, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113 Issues 1-3, jun. 2001, p.228-233.
- 3 Hartman, D. A.; De Lapp, D. R.; Barnett, R. J.; Cook, G. E., A Neural Network/Fuzzy Logic System for Penetration Control, Vanderbilt University, 2002, p. 1096-1101.
- 4 Kerr, H. W.; Hellina, M. C.; Huissoon, J. P.; Identifying Weld Pool Dynamics for GMA Fillet Welds, University of Waterloo, 2001.
- 5 Hong, L.; Kee, L. F. M.; Mohanamurthy, P. H.; Devanathan, R.; Xiaoqi, C.; Piu, C. S; Vision Based GTA Weld Pool Sensing and Control Using Neurofuzzy Logic, SIMTech Technical Report (AT/00/011/AMP), 2000, p. 1-7.
- 6 Nagesh D. S.; Datta, G. L., Prediction of Weld Bead Geometry and Penetration in Shielded Metal-Arc Welding Using Neural Networks, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 123 issue 2, abr. 2002, p. 303-312.
- 7 Nagarajan, S.; Chen, W. H.; Chin, B. A.; Infrared Sensing for Adaptive Arc Welding, Welding Journal, nov. 1989, p. 462s-466s.
- 8 Chen, W.; Chin, B. A.; Monitoring Joint Penetration Using Infrared Sensing Techniques, Welding Journal, abr. 1990, 181s-185s.

STUDY OF INFRARED MONITORING SENSOR AS INDICATOR OF PENETRATION IN TIG WELDING SPECIMENS

Cláudio Fernando Benício Araújo¹
Sadek Crisóstomo Absi Alfaro²

Abstract

This paper present a qualitative approach to use infrared emissions intensity produced by the arc-welding pool as monitoring parameters to welding procedures specifications with the objective of developing one real time control system. Welding samples TIG welded on SAE 1020, which present variations in dimensions (width and thickness) were obtained. In each test one collect data treated as timing series relating CC voltage produced by infrared thermometer and the dimensional variations of the sample. Data were registered from an A/D converter 16 channels. A thermometer linked to a robot was monitoring the infrared emissions of the welding pool at the time of bead depositions. The timing series were analyzed from graphics and statistics methods looking for identification of width and thickness variations appeared in the samples under infrared emissions. This chooses technique demonstrates the potential for infrared emissions as welding monitoring parameter sensor.

Key-words: Infrared sensor; Monitoring; Welding.

60° ABM Congress, 25 - 28 July. 2005, Belo Horizonte - MG.

(1) MSc student

(2) (2) Professor. GRACO/UnB, Automation and Control Group, Mechanical Eng. Department, Brasilia University, Brazil.