

AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DA GOTA METÁLICA E DA POÇA DE FUSÃO NO PROCESSO MIG/MAG PULSADO VIA FILMAGEM TERMOGRÁFICA.

Arthur Gustavo Moreira dos Santos, arthur.gustavo.moreira.santos@posgrad.ufsc.br ¹

Uallas Henrique de Oliveira de Brito, uallas.brito@posgrad.ufsc.br ¹

Rodrigo Nogueira Fernandes, rodrigo.nogueira@posgrad.ufsc.br ¹

Mateus Barancelli Schwedersky, m.barancelli@ufsc.br ¹

Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br ¹

¹ LABSOLDA – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica - Bloco B, CTC, Campus Universitário, Trindade - Florianópolis – SC, CEP: 88040-900 - Caixa postal: 476.

Resumo. Este trabalho buscou avaliar o valor médio de temperatura superficial das gotas metálicas no processo MIG/MAG Pulsado, utilizando aço inoxidável AWS 309L-Si como metal de adição. Foram utilizadas técnicas de radiação infravermelha com o auxílio de câmera termográfica. O estudo analisou a influência do tempo e da corrente de pulso sobre temperatura das gotas. Foram avaliados quatro conjuntos de parâmetros com intensidades de pulso 245 A, 270 A, 370 A e 450 A, mantendo constante uma corrente média de 150 A. Os resultados mostraram que, existe uma quantidade de energia necessária para destacar uma gota, a energia remanescente é aportada sobre a gota e poça na forma de calor, demonstrando assim que existe uma correlação entre a configuração do pulso (intensidade e tempo) e a temperatura tanto da gota quanto da poça.

Palavras chave: Física do arco, Temperatura da gota, Temperatura da poça de fusão, MIG/MAG Pulsado.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura é uma das variáveis mais usadas na indústria para controle de processos. Na soldagem ela é responsável pela fusão e união dos metais, porém alguns fatores podem ser agravados caso a mesma não seja controlada, como o excesso de distorções, falta ou excesso de penetração e problemas metalúrgicos que podem comprometer a integridade da junta.

A fim de entender melhor o mecanismo de transferência de calor e seus efeitos Ogino et al. (2017) propuseram quantificar o calor presente em cada gota ejetada pelo processo MIG/MAG-P, utilizando um formato de onda trapezoidal com um valor médio de corrente de 150A, como condição inicial adotou-se como temperatura ambiente 300K na qual estimou-se a temperatura das gotas e a temperatura do gás ionizado. Os autores concluíram que em alguns momentos a gota atinge uma temperatura maior que a própria temperatura de vaporização do material, facilitando desta maneira a geração de fumos, corroborando com os estudos de Iuchi (2008), Jelmorini (1977) e Haelsing et al. (2015) que afirmam que o gradiente térmico no centro da gota é superior as temperaturas da massa da mesma.

Pesquisas realizadas por Yamazaki et al. (2010) utilizaram a técnica da pirometria infravermelha de duas cores. Nesta técnica, as gotas são fotografadas imediatamente após extinguido o arco elétrico para que não haja influência da radiação emitida por ele. Esta técnica é possível através de câmeras e lentes especiais que separam diferentes comprimentos de onda quando incididos na lente do equipamento fazendo-os passar por um filtro de interferência formando uma imagem na placa de elementos de uma câmera digital de alta velocidade. Segundo o autor, à medida que o tempo passa, o ponto quente é movido para cima por correntes de convecção e inércia rotacional. Após 12 ms decorrido, observou-se que a temperatura da superfície de gota é na ordem de 2200-2600 K.

Neste contexto, o presente estudo objetivou estimar a temperatura superficial da gota metálica e da poça de fusão, utilizando a técnica de radiação infravermelha com o auxílio de câmera termográfica de alta velocidade, buscou-se compreender a influência do tempo e da intensidade do pulso sobre a temperatura no mecanismo da transferência metálica. Foram avaliados quatro conjuntos de parâmetros com pulso 245 A, 270, 370 e 450 A e com forma de onda quadrada, ambos parâmetros resultaram em um valor médio de corrente de 150 A, procedeu-se com esta pesquisa a avaliação para o aço inoxidável AWS 309LSi

2. MATERIAIS

Para realização dos ensaios foi montada uma bancada experimental, constituída por uma fonte de soldagem DIGITec 500 com capacidade de corrente de até 500 A e um cabeçote alimentador de arame, ambos fabricada pela IMC Soldagem.

Para movimentação da tocha utilizou-se o Tartilope V2, fabricado pela empresa SPS Soldagem, o monitoramento da tensão e corrente durante os ensaios, foram realizados com o Sistema de Aquisição Portátil (SAP) com taxa de aquisição de 5 kHz. A monitoração da temperatura foi realizada com câmera termográfica que converte a radiação infravermelha em uma imagem térmica visível que permite a monitoração da temperatura através de gradientes térmicos. Sendo utilizado o modelo SC7000 da empresa FLIR com capacidade para fazer aquisições de imagem em até 62000 Hz.

Os testes consistiram em depósito realizado sobre chapa de aço inoxidável ASTM 304L, na posição plana e ângulo da tocha 90°. A DBCP foi ajustada em 20 mm, e como gás de processo foi utilizado uma mistura de 95% de argônio, 3% de CO₂ e 2% de N₂, ajustado a uma vazão de 18 l/min. Objetivando uma melhor captura de imagens, optou-se por movimentar a peça e não a tocha de soldagem a uma velocidade de 25 cm/min.

3. METODOLOGIA

Para analisar os fatores que influenciam a temperatura da gota no processo MIG/MAG-P foram escolhidos quatro conjuntos de parâmetros, que resultam em diferentes configurações da onda de corrente. Porém ambos ensaios resultam no valor médio da corrente de 150 A. Os parâmetros inseridos na fonte de soldagem podem ser observados na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros utilizados nos ensaios

	Ip (A)	tp (s)	Ib (A)	tb (s)	Im (A)
1	245	5	91	8	150
2	270	4,3	90	8,7	150
3	370	1,6	119	11,4	150
4	450	1,7	105	11,3	150

3.1. Determinação da Emissividade

Utilizando o recurso da filmagem termográfica foi possível obter o valor da temperatura de determinado objeto a partir do conhecimento prévio de sua emissividade nas condições em que o objeto se encontra. Pode-se também percorrer o caminho inverso, ou seja, a partir de uma temperatura conhecida, determina-se o valor da emissividade de determinado objeto naquelas condições. No presente estudo foi utilizado o arame de aço inox ER309LSi em condições de temperatura nas proximidades de seu ponto de fusão. A metodologia desenvolvida para determinar sua emissividade, baseia-se em elevar a temperatura do arame até sua fusão e capturar os dados com a câmera termográfica. Através do software de análise dos dados pode-se ajustar o valor de emissividade de uma região de interesse observando o valor de temperatura. Assim, delineou-se uma área em torno de uma região de temperatura uniforme na superfície da gota de metal fundido e tomou-se como referência o valor médio de temperatura dentro da região definida.

A emissividade foi sendo ajustada recursivamente de forma que o resultado da temperatura média da região monitorada coincidissem com a temperatura de fusão do aço inox 309LSi obtida na literatura. (W. SIF, 2017). Desta maneira o valor determinado para a emissividade que será utilizado nestes ensaios foi de 0,18.

3.2. Determinação da Temperatura das Gotas

A partir da definição do valor de emissividade pode-se estimar a temperatura das gotas no processo MIG/MAG pulsado de forma direta por intermédio do sistema de filmagem termográfica. Entretanto, a fim de reduzir possíveis erros de medição, introduzidos pelo reflexo do arco elétrico na superfície da gota destacada, a forma de onda de corrente foi modificada, de modo a apagar o arco por um curto período de tempo (3 ms) logo após o pulso de corrente. Dessa forma, a gota pode ser observada em sua trajetória em direção à poça de fusão sem a influência luminosa e ação térmica do arco elétrico, resultando desta maneira em valores mais confiáveis. A medição da temperatura das superfícies tanto da gota quanto da poça, no momento em que o arco se encontra extinto, é exibido na Fig. 2.

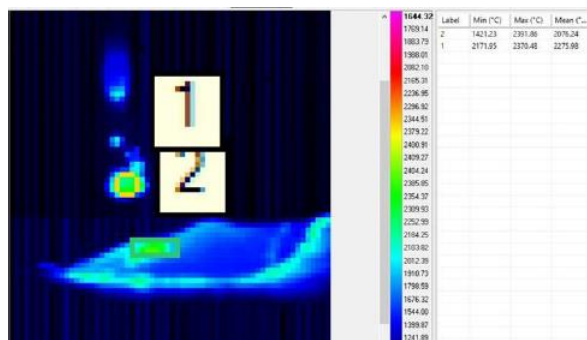


Figura 2. Exemplo da medição das temperaturas da gota e poça de fusão.

3. RESULTADOS

3.1 Temperatura das gotas

Com as filmagens termográficas obtidas a partir dos ensaios utilizando o processo MIG/MAG Pulsado com uma alteração na forma de onda, na qual o arco foi extinto por 3ms para que seu reflexo não influenciasse nas medições realizadas, e de posse do valor da emissividade do material foi possível mensurar a temperaturas médias da superfície de gotas expelidas e da poça de fusão. Os resultados das medições neste estudo foram comparados entre si de duas formas, com base na intensidade da corrente de pulso e analisando o tempo de pulso.

Quando se compara o valor da temperatura da superfície das gotas considerando a corrente de pulso, como mostrado na Fig. 4, notou-se que a temperatura das gotas aumenta à medida que se reduz a intensidade dos pulsos de corrente das formas de onda retangulares utilizadas, mesmo mantendo a corrente média de 150 A, variando apenas as configurações do pulso.

Quando foi comparado o valor da temperatura da superfície das gotas considerando a corrente de pulso, como mostrado na Fig. 3, notou-se que a temperatura das gotas aumenta à medida que se reduz a intensidade dos pulsos de corrente das formas de onda retangulares utilizadas, mesmo mantendo a corrente média de 150 A, variando apenas as configurações do pulso, isto porque ao reduzir-se a intensidade de corrente do pulso, faz-se necessário aumentar o tempo de pulso para manter a mesma corrente média, e consequentemente a mesma quantidade de energia.

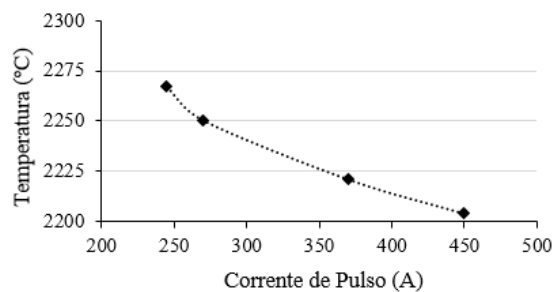


Figura 3. Diminuição da temperatura da gota conforme o aumento da intensidade da corrente do pulso.

Quanto a análise dos tempos de pulso, é possível observar que tempos de pulso mais longos e com intensidade de corrente menor tendem a expelir gotas mais quentes e vice-versa, como pode ser visto no gráfico da Fig. 4.

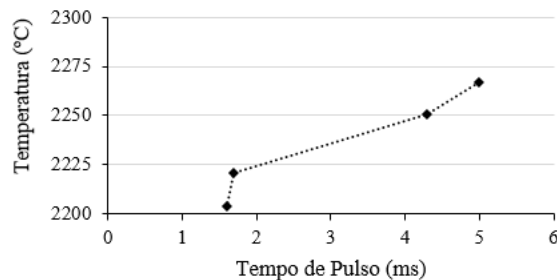


Figura 4. Aumento da temperatura da gota conforme o aumento da intensidade do tempo de pulso.

Com estes resultados pode-se afirmar que, a temperatura das gotas ejetadas no processo MIG/MAG Pulsado é diretamente proporcional ao tempo em que as mesmas permanecem em alta intensidade de corrente. O tempo de pulso mostrou ser o fator de forte influência para o acréscimo da temperatura das gotas.

3.2. Temperatura da poça

Em relação a temperatura da poça, observa-se o efeito inverso ao observado para a temperatura das gotas. Quanto maior o valor do pulso de corrente para o destacamento de uma gota maior a temperatura da poça. Este comportamento se manteve proporcional para os ensaios de 1, 2 e 3, no entanto no ensaio 4 mesmo para um alto valor de corrente a temperatura da poça teve um decréscimo na temperatura. Essa dinâmica pode ser observada no gráfico da Fig. 5.

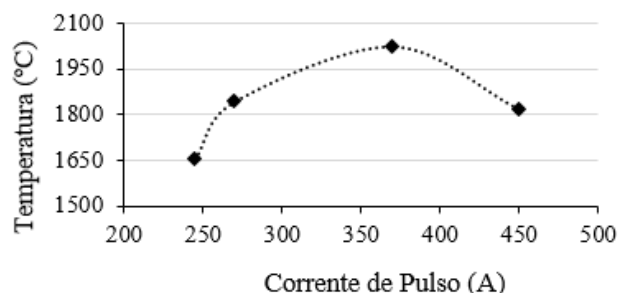


Figura 5. Temperatura da gota conforme o aumento da intensidade de corrente do pulso.

Quando a análise é feita a partir do tempo de pulso, percebe-se que quanto maior o tempo para o destacamento de gota menor a temperatura da poça e quanto menor o tempo para o destacamento de gota maior a temperatura da poça. Como é possível observar no gráfico na Fig. 6 tal comportamento deve-se ao fato da gota absorver uma quantidade considerável de energia durante o seu destacamento e, considerando ondas com mesmo período, se um tempo mais longo para o destacamento desta se decorre, há menos tempo para o sistema aportar calor exclusivamente para a poça.

Da mesma forma, se a gota demora mais tempo para se destacar, resta menos tempo no período para o qual o arco elétrico fornecerá calor exclusivamente para a poça, fazendo com que esta não atinja altas temperaturas.

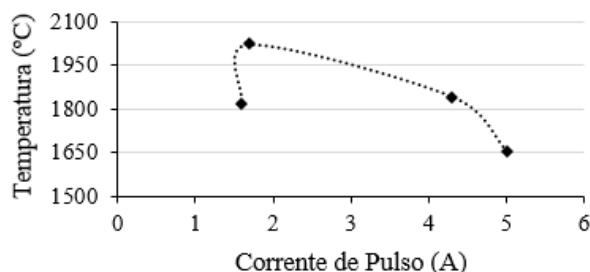


Figura 6. Temperatura da poça conforme o aumento da intensidade do tempo de pulso.

Foi mostrado que diferentes tempos e intensidades de pulso influenciam na temperatura tanto da poça quanto das gotas, o gráfico evidencia que, para um nível de confiança de 95%, mesmo mantendo uma corrente média constante, a utilização de diferentes configurações de onda (intensidade e tempo de pulso) fornece poças de fusão com temperaturas distintas. Outra forma de expressar os mesmos resultados pode ser considerando a quantidade de cargas que flui pelo eletrodo durante o pulso. Essa grandeza é obtida multiplicando a intensidade do pulso, expresso em Amperes que é o mesmo que Coulomb/segundo, pelo tempo do pulso, expresso em milissegundos, as relações entre as temperaturas de interesse e a quantidade de cargas por pulso.

4. CONCLUSÕES

A análise da temperatura da superfície da gota e da poça de fusão dos processos MIG/MAG Pulsados abordados neste estudo demonstram que existe correlação entre a configuração do pulso (intensidade e tempo) e a temperatura, tanto da gota quanto da poça. Essa correlação demonstra que pulsos com maior duração aparecem acompanhados de gotas mais quentes, por expô-las a altas intensidades de corrente por períodos maiores. Por outro lado, pulsos mais curtos diminuem o tempo de exposição das gotas a correntes de altas intensidades e aumentam o tempo de exposição à poça.

Foi desenvolvida uma metodologia para filmagens termográficas das gotas ejetadas em processos MIG/MAG Pulsado na qual altera-se a forma de onda original adicionando momentos de extinção de arco para que este não interfira na medição das temperaturas.

Uma outra forma de analisar os resultados obtidos é considerar tanto a intensidade quanto o tempo de pulso ao mesmo tempo multiplicando as duas grandezas e obtendo, assim, a quantidade de carga que flui pelo eletrodo a cada pulso. É possível observar que a temperatura da gota aumenta conforme aumenta o número de cargas presentes em um único pulso. Por outro lado, a temperatura da poça diminui conforme mais cargas estão presentes no pulso. Partindo do pressuposto que a quantidade de cargas pertencentes a um período completo é a mesma devido a corrente média não se alterar (150A), é possível concluir que a temperatura das gotas varia de forma direta com a proporção do total de cargas destinada ao pulso.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à toda equipe do LABSOLDA, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC (POSMEC) e ao CNPq por tornarem possível este trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- FLIR, "FLIR SC7200," 12 05 2017. [Online]. Available: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_017/RND_017_US.pdf. [Accessed 25 11 2017].
- Haelsig, A., Mayr, P., Kush, M. "Calorimetric analyses of the comprehensive heat flow for gas metal arc welding," *Weld World*, vol. 59, no. 2, p. 191–199, 2015.
- Iuchi, T. "METHOD FOR SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF TEMPERATURE AND EMISSIVITY, AND ITS APPLICATION TO STEEL PROCESSING.," *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, vol. 19, pp. 474–483, 1979.
- Ogino, Y., Hirata, Y. e Asai, S. "Numerical simulation of metal transfer in pulsed-MIG welding," *Weld in the World*, pp. 1289-1296, 2017.
- Yamazaki, K. E. A. "The measurement of metal droplet temperature in GMA welding by infrared two-colour pyrometry.," *Welding International*, vol. 24, no. 2, pp. 81-87, 2010.
- W. SIF, "309LSi - Datasheet," [Online]. Available: <http://www.weldabilitysif.com/media/pdfs/info/WO340840.pdf>. [Accessed 16 09 2017]

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Evaluation of the Temperature of the Metal and Drop Melting Puddle in the Process of GMA Welding Pulsed with High-speed Infrared Thermographic Footage

Arthur Gustavo Moreira dos Santos, arthur.gustavo.moreira.santos@posgrad.ufsc.br¹

Uallas Henrique de Oliveira de Brito, uallas.brito@posgrad.ufsc.br¹

Rodrigo Nogueira Fernandes, rodrigo.nogueira@posgrad.ufsc.br¹

Mateus Barancelli Schwedersky, m.barancelli@ufsc.br¹

Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br¹

¹ LABSOLDA – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica - Bloco B, CTC, Campus Universitário, Trindade - Florianópolis – SC, CEP: 88040-900 - Caixa postal: 476.

Abstract. *This work sought to evaluate the average temperature value of the metal droplets ejected by the Gas Metal Arc Welding Pulsed process using the 309L-Si stainless steel electrode wire as the addition metal. The proposed methodology aimed at quantifying the average temperature value of the surface of the metal droplets and the melting pool. Infrared radiation techniques were used with the help of a thermographic camera, maintaining an average current of 150 A. This study aimed to analyze the influence of pulse time, pulse current on temperature of droplets. Four sets of parameters with 245 A, 270 A, 370 A and 450 A pulse intensities were evaluated in the trials. The results demonstrate that there is a correlation between the pulse (intensity and time) and the temperature of both the drop and the pulse. pool. This correlation shows that longer pulses appear accompanied by warmer droplets by exposing them to high heat intensities for longer periods. This is due to the fact that physically always the same amount of energy is needed to detach a drop from the wire, and if one configuration has more energy than the other, the remaining energy is brought on the puddle in the form of heat.*

Keywords: *ARC physics, temperature drop, GMA Welding Pulsed.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.