

# REVISÃO E PROJETO DE TÉCNICAS DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE DIVERSAS VARIÁVEIS INERENTES À TRANSFERÊNCIA METÁLICA EM PROCESSOS DE SOLDAGEM GMAW E FCAW

RENAN ZAFALON DA SILVA<sup>1</sup>;  
PAULO JEFFERSON DIAS DE OLIVEIRA EVALD<sup>2</sup> ;  
ADRIANO VELASQUE WERHLI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal do Rio Grande – FURG – renanzafalons@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio Grande – FURG – paulo.evald@gmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal do Rio Grande – FURG – werhli@gmail.com*

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem são utilizados em diversas áreas da indústria, desde a simples união de pequenas estruturas à união de peças para aplicações aeronáuticas e espaciais (SOUZA, 2011), portanto sua qualidade é fundamental para várias de suas aplicações. Com isso, ao longo de décadas vem sendo estudado, com isso novas técnicas foram surgindo e muitas pesquisas são dedicadas à compreensão do comportamento dinâmico desses processos (SCHWEDERSKY, 2011). A compreensão detalhada da dinâmica desses processos permite a inferência de técnicas para otimização da qualidade da solda, além de tornar o processo mais robusto. Esse trabalho foca nos processos de soldagem a arco, especificamente processos GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) e FCAW (*Flux Cored Arc Welding*).

Os processos GMAW podem ser divididos em duas classificações referentes ao gás de proteção utilizado: MIG (*Metal Inert Gas*), quando o gás de proteção não interage com a solda e MAG (*Metal Active Gas*), quando o gás interage com a solda (MODENESI, 2005). Os processos FCAW, derivado dos processos GMAW, também podem ser divididos em duas classificações quanto à presença de gás de proteção. Na primeira variação o eletrodo utiliza proteção gasosa, a qual possui a função de proteção do arco elétrico e da poça de fusão, evitando contaminação da solda pelos gases atmosféricos e também facilita a ionização da atmosfera protetora. Esse gás pode ser inerte, ativo ou mistura de ambos. Assim como nos processos GMAW se for um gás inerte não reage com a solda, porém se for um gás ativo, interage com a solda formada. Na segunda variação, não é exigido proteção gasosa externa, pois o eletrodo possui gás de proteção interno, o qual é liberado na decomposição desse eletrodo formando a atmosfera protetora para o arco e o metal fundido (GOMES, 2006).

Nesses processos de soldagem a corrente elétrica é conduzida através do metal do eletrodo para realizar a coalescência dos metais. O material que compõe o eletrodo necessita ser aquecido até sua temperatura de fusão e com isso ocorre seu derretimento e consequentemente a transferência metálica para a poça de fusão. Em relação aos eletrodos utilizados nesses dois processos de soldagem, pode-se dizer que cada um possui vantagens e desvantagens quando comparados (BARBAREDO, 2011). Ressalta-se principalmente que o eletrodo tubular, utilizado nos processos FCAW, possui inúmeras vantagens como a ótima qualidade da solda, baixo nível de respingo e boa aparência do cordão de solda,

entretanto o custo é superior ao eletrodo maciço, utilizado nos processos GMAW (BARBEDO, 2011).

Esse trabalho apresenta uma breve revisão na área de visão computacional aplicada à área da soldagem e esse conteúdo, agregado de muitas outras informações obtidas que não foram inclusas no trabalho por questões de espaço, serviram de base para o fundamento de um projeto de pesquisa na área de visão computacional, que está em andamento, onde os objetivos são analisar o diâmetro da gota formada, a deposição das gotas de solda na poça de fusão, a própria poça de fusão, comprimento do eletrodo sólido no bico de contato, comprimento do arco elétrico e frequência de respingos. Através das filmagens obtidas será feita a análise desses parâmetros os relacionando com sinais elétricos obtidos por um sistema de aquisição, montado para o projeto, com a qualidade da solda gerada. Essa pesquisa pode contribuir para a otimização dos processos de soldagem a arco, pois através da análise do comportamento dinâmico da transferência metálica, será implementado métodos de regulação dos parâmetros de soldagem que contribuam para redução de perdas de material e com isso a diminuição do custo final da soldagem e evitar acidentes de trabalho por respingos.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho consistiu-se em revisar artigos diretamente relacionados com o tema de pesquisa e realizar uma avaliação das técnicas, equipamentos e resultados obtidos em cada artigo com a finalidade de determinar qual a técnica de visão computacional e quais equipamentos seriam mais adequados a esta pesquisa. Os principais repositórios visitados para coleta de material científico foram: Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE), *ScienceDirect*, *Springer* e *Google Acadêmico*. Para fazer a busca pelos artigos relacionados com a área, foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: visão computacional na soldagem, câmeras de alta taxa e soldagem, câmeras de alta velocidade e soldagem, *welding pool and high speed camera*, *robot welding and high speed camera*, FCAW process e GMAW process. Foram revisados cerca de 50 trabalhos, das quais alguns serão referenciados neste trabalho.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os trabalhos revisados foi identificada a popularidade da técnica de perfilografia, chamada de *shadowgrafía* por vários autores, pois consiste em filmar a sombra projetada da transferência metálica com a utilização do conjunto câmera de alta velocidade e *laser*, ou seja, filma a formação de uma sombra projetada em um anteparo sobre o qual é incidido um feixe de luz, permitindo a análise de parâmetros como frequência de destacamento das gotas de solda, geometria da gota formada, frequência de extinção do arco e o comprimento do arco (LOPERA et al, 2011). No trabalho desenvolvido por Wang e colaboradores (WANG et Al., 2005), foi criado um modelo de rede neural capaz de corrigir problemas de ruído das imagens capturadas da poça de fusão associado à técnica de perfilografia. Além disso, foi implementado um método de filtragem, no software *MATLAB*. Ao todo foram realizadas 16.000 iterações e foi obtido um erro médio de apenas 1,89%. Já no trabalho realizado por Figueiredo e colaboradores (FIGUEIREDO et al, 2002) foi realizado um procedimento experimental para analisar os modos de transferência metálica do Alumínio em função do gás de proteção. Foi posicionada a chapa na posição plana e variado os parâmetros de tensão da

fonte e velocidade de alimentação do arame. O método utilizado também foi perfilografia, com *laser* conjugado e uma câmera de alta velocidade com 2000 *frames* por segundo. Com os resultados de sua pesquisa, os autores mostraram quatro modos de transferência metálica: globular, goticular, curto-círcito e um modo misto entre globular e curto-círcito.

No trabalho desenvolvido por (Starling, 2004) mais uma vez foi utilizada a técnica da perfilografia, com uma câmera de alta velocidade e um *laser* como fonte de iluminação externa para fazer análise da deposição da solda. A câmera de alta velocidade possuia taxa de aquisição de até 8000 *frames* por segundo. A câmera foi acoplada a um monitor controlador de vídeo e uma lente objetiva. Foram feitos ensaios com dois gases de proteção com técnica FCAW. No primeiro ensaio foi utilizado gás de proteção composto de 75% de Ar e 25% de CO<sub>2</sub> e feita uma variação de corrente na faixa de 175 à 296A. No segundo ensaio foi utilizado 100% de CO<sub>2</sub> e a faixa de corrente variada foi de 220 à 252A. Foi constatado que:

- Durante a transferência o metal fundido está misturado ao fluxo de arame;
- Devido a mistura do metal com o fluxo de arame foi difícil fazer diferenciação entre os dois componentes;
- No ensaio com 25% de CO<sub>2</sub>, para valores mais baixos de corrente elétrica ocorreu uma redução do tamanho médio da gota;
- Já para valores maiores de corrente, o diâmetro médio da gota diminuiu e notou-se a formação de um pequeno filamento na ponta do eletrodo.

Outro trabalho relevante nesse mesmo seguimento foi desenvolvido é de (PRAVEEN et al, 2009), o qual analisou a dinâmica de transferência da gota e o comportamento dos sinais elétricos durante as diferentes fases de transferência metálica da gota. Para desenvolver os testes foram utilizados uma câmera de alta velocidade de 10.000 *frames* por segundo, uma fonte externa composta por uma lampada *xenon*, além de um conjunto de lentes e filtros. Nesses testes foi utilizada a técnica GMAW e a partir das mensurações das informações elétricas do processo foram detectadas as diferenças de tensão durante o deslocamento da gota em diferentes modos de transferência metálica.

#### 4. CONCLUSÕES

Após a absorção dessas informações pertinentes às técnicas e equipamentos utilizados para análise dinâmica de diversas variáveis e comportamento da transferência metálica do material de solda foi decidido que nesta pesquisa será utilizada uma câmera de alta aquisição e um *laser* para capturar imagens do processo de soldagem GMAW e FCAW com transferência metálica mista de curto-círcito e globular para analisar diversos fatores: o diâmetro da gota formada, a deposição das gotas de solda na poça de fusão, a própria poça de fusão, comprimento do eletrodo sólido no bico de contato, comprimento do arco elétrico e frequência de respingos.

Em primeira análise, as imagens obtidas no processo de filmagem serão tratadas com técnicas de visão computacional a partir da biblioteca de programação com licença livre *OPENCV*, que utiliza as linguagens de programação C++ e *Python*, para reduzir as emissões de fumaça e abstrair os respingos que possam interferir na clareza da imagem do arco elétrico, do eletrodo sendo transferido, da poça de fusão e visualizar os diferentes modos de

transferência metálica. Em segunda análise, será admitida a visualização dos respingos com intuito de caracterizar o que provoca esse fenômeno e quantificar o quanto de material é perdido com relação à frequência desse evento. Em ambas as análises serão feitos cruzamentos de dados com as informações aquisitadas de corrente elétrica e tensão do arco em sincronia com as imagens, para poder justificar as causas dos respingos e corroborar adequadamente os intervalos de corrente e tensão em que se obtêm os diferentes modos de transferência metálica e emissão de respingos em processos GMAW e FCAW.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBEDO, Nancy Del Ducca. Avaliação Comparativa dos Processos de Soldagem GMAW e FCAW Utilizando Aço ASTM A-36 para Verificar a Soldabilidade, Propriedades Metalúrgicas e Geométricas e Resistência Mecânica. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá.

FIGUEIREDO, Kléber Mendes de et al. Mapeamento dos modos de transferência metálica na soldagem MIG de alumínio. 2002.

GOMES, Enedina Beatriz. Análise do comportamento da soldagem por Curto-Círculo aplicado ao processo Eletrodo Tubular através da Metodologia Taguchi. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá.

LOPERA, Jesús Emilio Pinto et al. Uso da técnica de perfilografia para visualização dos modos de transferência metálica no processo de soldagem GMAW usando uma câmera CMOS de alta velocidade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 6º. 2011.

MODENESI, Paulo José; MARQUES, Paulo Villani; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Soldagem - Fundamentos e tecnologia. Editora UFMG, 2005.

PRAVEEN, P.; KANG, Mun-Jin; YARLAGADDA, P. K. D. V. *Arc voltage behavior in GMAW-P under different drop transfer modes*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, v. 32, n. 2, p. 196-202, 2009.

SCHWEDERSKY, Mateus Barancelli et al. Soldagem TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos. Soldagem e Inspeção, v. 16, n. 34, p. 333-340, 2011.

SOUZA, Claudio Ivanei de. Análise comparativa dos processos de soldagem gmaW e fcaw com transferência metálica por curto-círcito na posição horizontal. 2011.

STARLING, CMD; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. Estudo da Transferência de Metal de um Arame Tubular Rutílico. Soldagem e Inspeção, v. 9, n. 4, p. 185-191, 2004.

WANG, J. J.; LIN, Tao; CHEN, S. B. *Obtaining weld pool vision information during aluminium alloy TIG welding*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 26, n. 3, p. 219-227, 2005.