

Sistema de Visão para Monitoramento dos Processos de Soldagem através do uso de câmera com baixo tempo de exposição

Carolina Pimenta Mota, cpimentamota@gmail.com
Marcus Vinícius Ribeiro Machado, mvmachado@mecanica.ufu.br
Roberto Mendes Finzi Neto, finzi@mecanica.ufu.br
Louriel Oliveira Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br

Resumo: A visão, o sentido predileto do ser humano, e sua grande capacidade de captar, processar e interpretar grandes quantidades de dados de natureza visual tem sido, ao longo dos anos, um grande estímulo para o desenvolvimento de técnicas e de dispositivos tecnológicos que a reproduzam em sistema computacional. Nos processos de soldagem, a visão pode fornecer dados desde na inspeção e qualidade da junta soldada, no monitoramento de parâmetros, na correção de trajetórias até, por fim, no estudo dos fenômenos envolvidos no processo. Porém, a radiação luminosa emitida pelo arco representa uma barreira para tais estudos baseados na visualização do processo. Uma das formas utilizadas atualmente para se obter a visualização do processo, sem a interferência do arco, consiste em iluminar o processo com o infravermelho próximo e utilizar filtros de interferência (passa-faixa), em torno deste mesmo comprimento de onda, durante a aquisição das imagens. Em trabalhos anteriores, criou-se um sistema de visão para monitoramento dos processos de soldagem, “ViaSolda”, de baixo custo e alta flexibilidade, com o uso de iluminação através do acionamento pulsado de diodos laser de alta potência no infravermelho próximo. Este sistema, apesar de validado por simulações computacionais e testes experimentais, e de proporcionar uma iluminação homogênea e em sincronia com a câmera, não foi capaz de sobrepor o arco em sua aplicação em soldagens TIG e MIG/MAG, mesmo em baixos níveis de corrente (aproximadamente 100 A). Atribuiu-se sua principal limitação ao elevado tempo de exposição da câmera utilizada, 100 μ s, quando comparado ao tempo de pulso do conjunto de diodos laser, 1,6 μ s. Desta forma, a proposta deste trabalho é a validação deste sistema de visão “ViaSolda” em conjunto com uma câmera com baixo tempo de exposição, 1,25 μ s, em soldagens TIG e MIG/MAG, investigando as limitações da iluminação de diodos laser e do sistema de visão, e suas aplicações, como um todo.

Palavras-chave: Sistema de Visão, diodo laser, infravermelho próximo, monitoramento, soldagem.

1. INTRODUÇÃO

A experiência visual é a principal forma que os seres humanos usam para se comunicar com o seu mundo (BOVIK, 2009). Uma tarefa como olhar para um objeto e, instantaneamente, obter dados como o tipo do objeto, cor, localização e orientação, é considerada simples e óbvia para um ser humano comum, porém, a simplicidade da tarefa não está ligada ao fato de ser realmente simples, mas sim que a complexidade dela está encapsulada dentro do cérebro (TAYLOR e KLEEMAN, 2006).

Nos processos de soldagem, a visão pode fornecer dados de diferentes naturezas e para diversos fins. Um especialista pode determinar a qualidade de uma junta soldada pelos seus aspectos visuais, como a presença e características, forma, tamanho, localização e frequência de discontinuidades e defeitos. Normas de regulamentação dos processos de soldagem têm, por exemplo, critérios de aceitação que são obtidos apenas por inspeções visuais.

Diferentes sistemas de visão (utilização da visão computacional nos processos de soldagem) podem fornecer informações específicas sobre o processo em andamento: a técnica de perfilografia ou *back-lighting* - projeção da sombra de elementos na região da solda em uma superfície plana visualiza as gotas em transferência como uma forma de estudo da transferência metálica (BÁLSAMO *et al.*, 2000), enquanto novos sistemas de visão têm como o objetivo a visualização direta do metal fundido e da junta propriamente dita, com uma gama de aplicações indo de estudo dos fenômenos na poça até seguidores de junta ou controladores online de parâmetros do processo.

Diversos estudos foram realizados para a obtenção de imagens diretas da poça fundida, minimizando a luz provinda do arco com o uso de filtros de interferência (“passa-banda”) em diferentes comprimentos de onda. Alguns dos primeiros trabalhos para visualização direta da poça (OGAWA, 1999; OGAWA e MORITA, 1999) utilizaram-se de filtros ópticos em torno de 950 nm para o estudo do efeito do gás de proteção e do arame para soldagens MIG (Figura 1) e estudo do comportamento da poça para soldagens TIG.

Trabalhos recentes (VILARINHO *et al.*, 2009; VILARINHO *et al.*, 2010) mostram a aplicabilidade do uso de diodos laser de alta potência no infravermelho próximo para sistemas de visão em processo de soldagem. A intensidade

luminosa emitida pelo arco de soldagem, em comprimentos de onda infravermelha superiores a 850 nm, é pequena quando comparada ao espectro visível. A Figura 2 ilustra resultados obtidos neste tipo de técnica de iluminação.

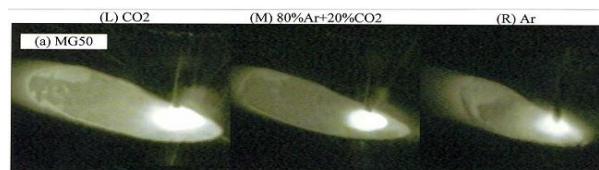


Figura 1. Imagens obtidas com filtro em 950 nm no estudo do processo MIG (OGAWA e MORITA, 1999).

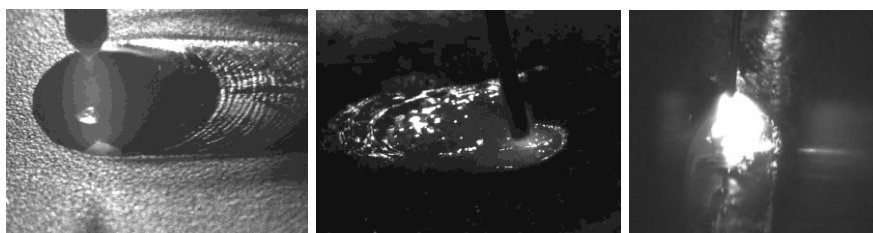


Figura 2. Sistema de visão com diodos laser de alta potência no infravermelho para TIG (esquerda) e MIG/MAG (centro e direita) (VILARINHO *et al.*, 2009; VILARINHO *et al.*, 2010).

Com base no estudo dos trabalhos anteriores, desenvolveu-se um protótipo de um sistema de visão com uso de iluminação no infravermelho próximo, de baixo custo e flexível. Isso foi possível através do uso de diodos laser de alta potência como fonte de iluminação (MOTA *et al.*, 2010) e o uso de uma câmera USB “comum” com alguma resposta no espectro infravermelho e tempo de abertura de 100 μ s (PIXELINK).

Exemplos dos quadros obtidos durante o uso do sistema de visão na soldagem TIG e MIG/MAG são mostrados na Figura 3. A título de obtenção de escala, deve-se considerar que o diâmetro do eletrodo de 2,4 mm e o diâmetro do arame de 1,2 mm.

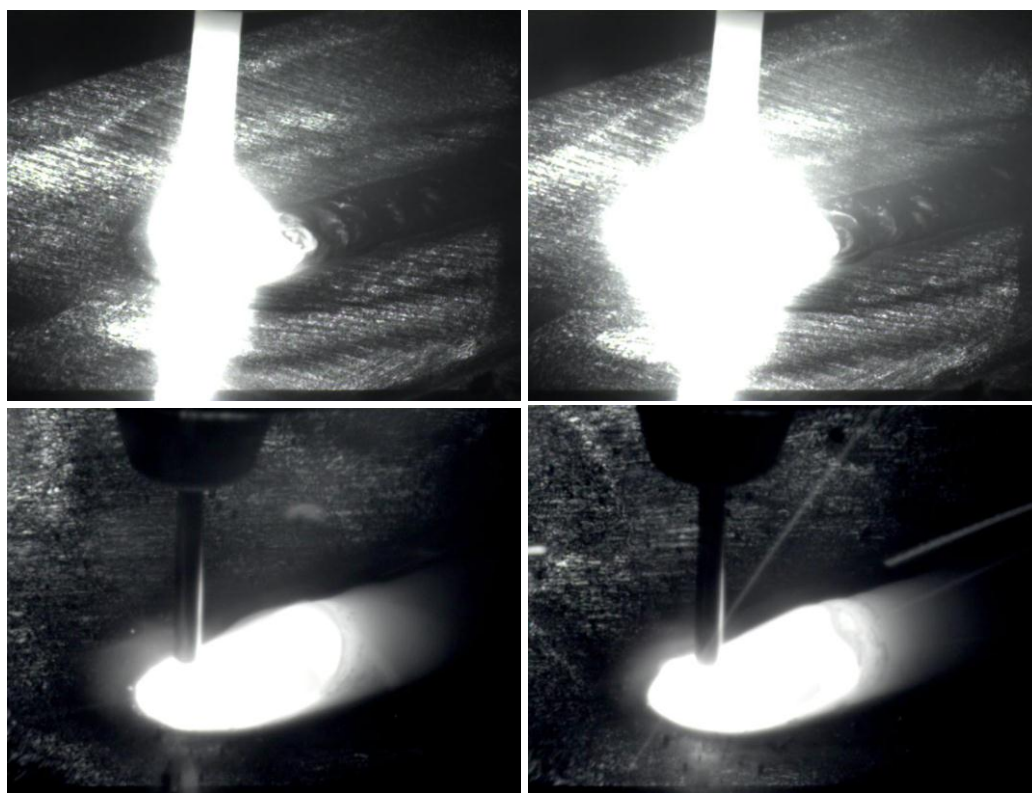


Figura 3. Imagens obtidas pelo sistema de visão “Viasolda” em soldagens TIG (cima) e MAG (baixo) (MOTA, 2011; MOTA *et al.*, 2011)

Acredita-se que o uso de uma câmera CMOS com o tempo de abertura (*exposure time* ou *shutter*) muito superior ao tempo de acionamento máximo dos diodos laser é o principal responsável pela incapacidade do sistema de visão em sobrepor-se à luz provinda do arco. Mesmo com a utilização de sobrechaveamento, como ocorreu nos testes

apresentados, a proporção de tempo de emissão contínua do arco desfavorece a influência dos picos de luz infravermelha provindos do diodo laser.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é conceber e aplicar melhorias para o sistema de visão para monitoramento dos processos de soldagem (ViaSolda) existente através da introdução de uma câmera analógica com baixo tempo de abertura ao sistema de visão, otimização da topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência e validação do novo sistema em comparação ao sistema atual.

2. METODOLOGIA

Para o alcance do objetivo proposto para este trabalho, que é conceber e aplicar melhorias para o sistema de visão para monitoramento dos processos de soldagem (ViaSolda) através da introdução de uma câmera analógica com baixo tempo de abertura, tem-se o trabalho dividido basicamente em três etapas lógicas e subsequentes:

- Escolha da câmera com baixo tempo de exposição: nesta etapa deve-se buscar por trabalhos desenvolvidos anteriormente e produtos disponíveis comercialmente. A escolha deve ser feita com base em um tempo de abertura na ordem de 1 μ s e, deve-se, ainda, levar em consideração o baixo custo desejado no projeto.
- Otimização da topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência e adaptação do sistema de visão à câmera escolhida: o sistema deve-se ser adaptado às suas peculiaridades, tendo em vista a necessidade de sincronização entre o momento de acionamento dos diodos laser e a abertura da câmera e os possíveis arranjos de trigger para o controle do sistema.
- Validação do sistema de visão com o uso da câmera com baixo tempo de exposição em soldagens TIG e MIG/MAG: As imagens adquiridas serão comparadas aos resultados obtidos com o protótipo inicial e com base nesta comparação, tomadas de decisão serão realizadas com respeito a melhorias e mudanças no sistema como um todo.

3. CÂMERA DE BAIXO TEMPO DE EXPOSIÇÃO

A escolha da câmera com baixo tempo de exposição é um processo que envolve diversas variáveis, como o grande número de fabricantes, formas de comunicação e sincronização e faixa de preços. Com o intuito de se construir um sistema de visão de baixo custo, tem-se a decisão inicial de descartar câmeras de alta velocidade do conjunto de produtos comercialmente disponíveis. Câmeras de alta velocidade têm, facilmente, tempos de exposição na casa de microssegundos, mas a limitação imposta pelo ciclo de trabalho dos diodos laser (0,1%) permite apenas filmagens de baixa velocidade, o que inviabiliza suas vantagens de altos índices de quadros por segundo.

Algumas considerações iniciais são úteis para a escolha da câmera com baixo tempo de exposição. Além da óbvia restrição do tempo de exposição na casa de 1 μ s, pode-se adotar que a câmera escolhida deve ser facilmente “controlável”, possuindo a capacidade de responder à um sinal de *trigger* externo e respondendo de forma conhecida a esse *trigger* para sua sincronização com o pulso luminoso do diodo laser. Seu controle deve ser de fácil intercomunicação com o sistema de acionamento embarcado (microprocessador) e suas imagens deve ser de fácil interpretação para um computador. Por fim, não é necessária uma alta resolução de imagem, pois a visualização e envio das imagens são prioridades, sem a intenção de utilizar nenhum tipo de processamento.

Desta forma, escolheu-se a câmera SI-M331 da fabricante Costar, ilustrada na Figura 4. Esta é uma câmera analógica monocromática com sensor CCD, resolução de 768x494 pixels e tempo mínimo de abertura de 1,25 μ s (Costar Video Systems). Sua natureza flexível permite diferentes tipos de configuração do *trigger* eletrônico, assim como sincronia com o pulso de iluminação através de um sinal eletrônico de *shutter*. Esta câmera é dotada de uma cabeça remota de 1/2” de diâmetro e cabo de 2 m de comprimento, permitindo a sua adaptação em pequenos espaços e possibilidade de movimentação em conjunto com a tocha de soldagem.



Figura 4. Câmera Costar SI-M331 (Costar Video Systems)

4. TOPOLOGIA DE ACIONAMENTO

A topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência é de fundamental importância na eficácia do sistema de visão como um todo. A forma e intensidade com que os diodos laser são acionados determinam, por consequência, a

quantidade de luz infravermelha emitida pelo canhão de iluminação e, em conjunto com o sistema ótico que a distribui, determina se a densidade luminosa é capaz de sobrepor a luminosidade proveniente do arco de solda. Portanto, sua otimização é determinística na eficiência nos limites de utilização do Viasolda.

O diodo laser de alta potência é um semiconductor com características únicas que devem ser respeitadas para seu bom uso. Sua corrente máxima de pico é de 40 A com um tempo de pulso de 100 ns e, principalmente, um ciclo de trabalho de 0,1%. A primeira topologia de acionamento criada era do tipo ressonante, dividindo a iluminação em dois pulsos de características senoidais subsequentes e respeitando os limites de corrente média e eficaz, além do ciclo de trabalho dos diodos laser. Testes de longa duração e estresse provaram que a topologia não prejudicava o tempo de vida dos diodos laser, uma precaução necessária para o projeto, já que estes semicondutores são de difícil acesso.

Porém, a incapacidade de sobreposição do arco por esta topologia cria a necessidade de sua otimização. Acredita-se que mesmo com o aumento de sua corrente de pico ao máximo e extensão da duração do pulso por mais tempo seria, além de um processo longo e trabalhoso, insuficiente.

Uma solução encontrada para o aumento da luminosidade do diodo laser é a mudança do formato do pulso de acionamento de ressonante para um pulso quadrado. Seu formato é, por sua natureza, mais prejudicial à junção dos diodos laser, mas o ganho de quantidade de carga passante pelos semicondutores, e por consequência, a energia luminosa emitida pelo sistema é suficiente para uma melhoria considerável na capacidade de iluminação dos diodos laser, como pode ser observado na Figura 6.

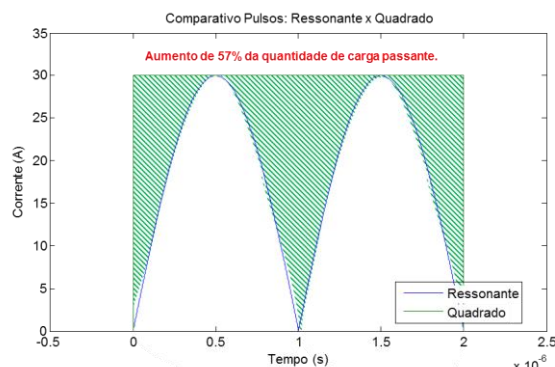


Figura 5. Comparativo entre topologias de acionamento do diodo laser.

Sendo assim, criou-se uma topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência por pulso quadrado, aonde os dois conjuntos de diodos laser (19 diodos) são acionados ao mesmo tempo. A corrente que passa pelos diodos é limitada apenas por uma resistência em série à alimentação e às características dissipativas presentes no circuito *snubber* de proteção à chave de potência que controle a passagem da corrente. A abertura da chave é controlada pelo circuito integrado ICL7667 (INTERSIL CORPORATION, 2010) que recebe um sinal de pulso digital e o transforma em níveis de tensão adequados para a chave de potência utilizada (FINZI NETO, 2003).

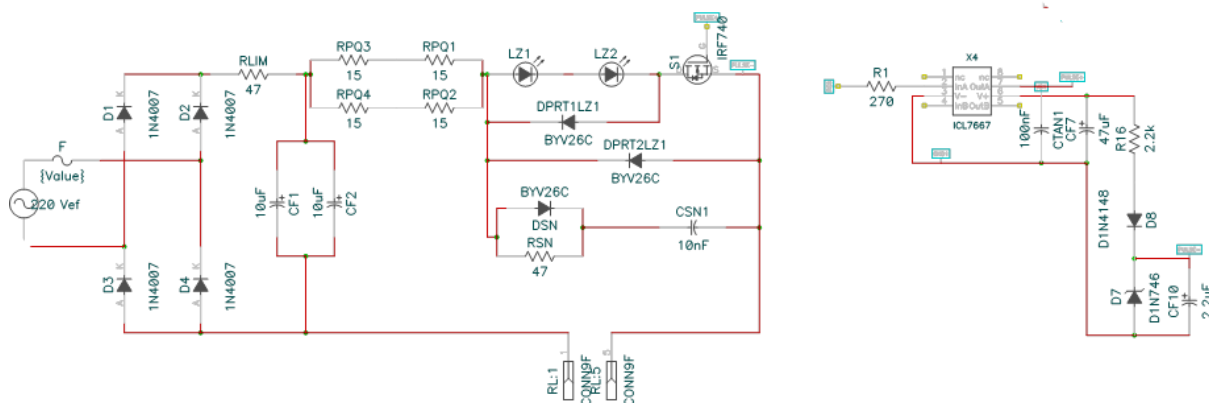


Figura 6. Esquemático de topologia de acionamento por pulso quadrado.

Determinou-se um pulso com corrente de pico de 30 A e duração de pulso de 2 μ s à uma frequência de 30 Hz. Acredita-se que essa configuração, apesar de ultrapassar o tempo de pulso recomendado pelo fabricante (100 ns), respeita as outras limitações do diodo laser, como ciclo de trabalho e corrente eficaz e média na junção e, como a topologia ressonante, não será prejudicial à vida útil dos diodos laser. O pulso extrapola o tempo de abertura da câmera (1,25 μ s) por questões de segurança, ou seja, mesmo que a câmera tenha um pequeno atraso na abertura de seu obturador, a luminosidade do Viasolda estará presente durante todo o tempo de abertura da câmera.

A topologia por pulso quadrado foi desenvolvida através de simulação computacional, construída e testada experimentalmente para a verificação de seu funcionamento. Os principais sinais elétricos foram adquiridos e comparados com a simulação obtida (Figura 7), validando a melhoria da eficiência da topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência.

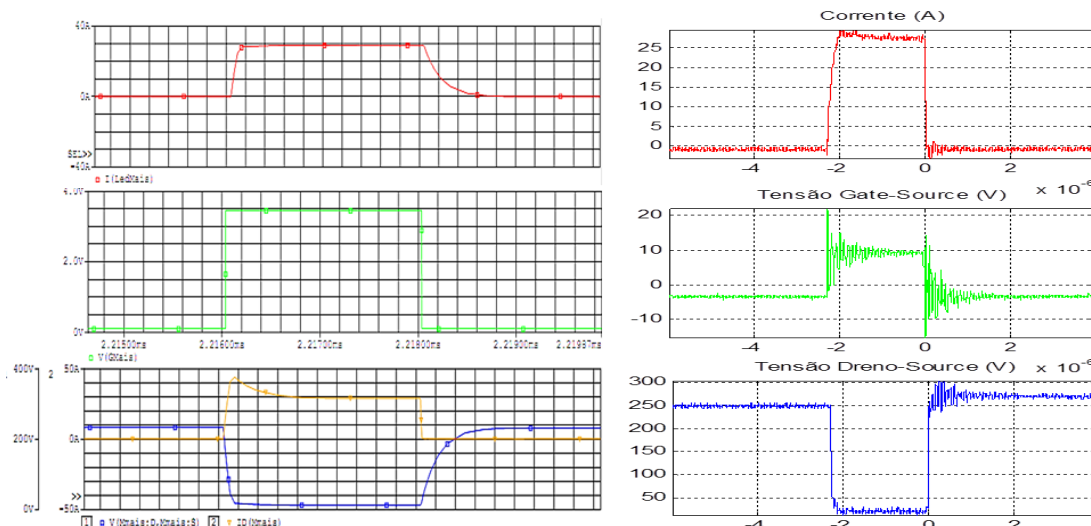


Figura 7. Sinais elétricos da topologia de acionamento: simulação (esquerda) e experimental (direita).

Acredita-se que a topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência aqui apresenta é responsável pela obtenção da energia luminosa máxima possível, quando se utiliza 19 diodos laser em série e a câmera com tempo de abertura de 1,25 μ s. O aumento da luminosidade, a partir deste ponto, se daria apenas por modificações extremas como o uso de um maior número de diodos laser e a transmissão da energia luminosa de forma mais eficiente, seja por um sistema ótico otimizado ou utilização de meios de transmissão da luz com menores perdas, como as fibras óticas.

5. VALIDAÇÃO

Para a validação do sistema de visão para monitoramento dos processos de soldagem foram realizadas soldagens TIG e TIG pulsado e MIG/MAG com transferência por curto circuito e globular. Todos os processos foram iluminados pelo canhão de diodos laser e filmados pela câmera SI-M331 a uma taxa de 30 quadros por segundo com tempo de abertura de 1,25 μ s. Tanto a iluminação quanto a filmagem foram realizadas a uma distância de aproximadamente 300 mm da região de interesse (poça fundida e seus arredores), com um ângulo de inclinação em relação ao horizonte de aproximadamente 35°. Foi utilizada a técnica de iluminação direta, ou seja, a iluminação e filmagem em posições simétricas à região de interesse.

Exemplos dos quadros obtidos durante o uso do sistema de visão na soldagem TIG e TIG pulsado são mostrados na Figura 8. A título de obtenção de escala, deve-se considerar que o diâmetro do eletrodo de 2,4 mm e deve-se considerar a utilização de intensidades de corrente de 100 a 250 A. Cada quadro foi retirado de uma soldagem diferente, com variação na intensidade de corrente, DEP, tensão e diâmetro da abertura mecânica do obturador.

Inicialmente é possível concluir que a luz proveniente do sistema de visão sobrepõe quase que completamente a luminosidade do arco, mesmo quando a abertura mecânica do obturador está próxima de sua abertura total. Com menor entrada de luminosidade (obturador mais fechado), ainda é possível visualizar os arredores da poça fundida com pouca ou nenhuma influência da luz do arco, mesmo para intensidades de corrente ao nível de 250 A. Os quadros apresentam excelente contraste e nitidez, principalmente tratando-se de uma câmera analógica com certa sensibilidade aos ruídos eletromagnéticos provenientes da fonte de soldagem (IMC Digitec 300). A luz proveniente dos diodos laser é tão intensa que, dependendo da concavidade e altura da poça fundida, boa parte da imagem é saturada devido à reflexão direta da superfície fundida espelhada.

Observando-se os quadros obtidos em diferentes instantes de um mesmo vídeo, é possível observar que não há oscilação do perfil de iluminação da área da junta, indicando uma boa sincronização entre a emissão dos pulsos de NIR dos diodos laser e a abertura do *shutter* da câmera para a obtenção da imagem. A sua iluminação provou-se, também, homogênea ao longo da área de projeção da luz no plano da chapa, iluminando perfeitamente a região da junta, da poça fundida, do eletrodo e a chapa ao redor da soldagem. É possível observar que a iluminação extrapola a área de interesse, iluminando também os arredores da chapa e sistema de movimentação.

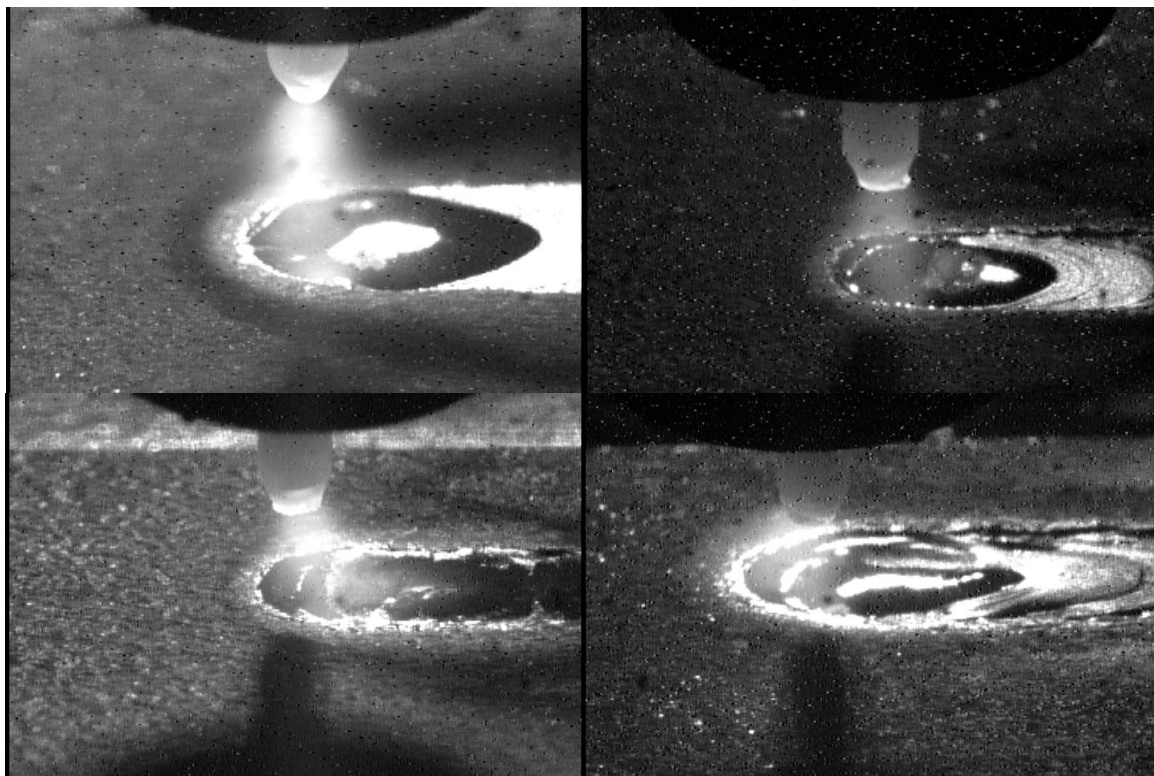


Figura 8. Imagens obtidas pelo sistema de visão “Viasolda” otimizado em soldagens TIG e TIG pulsado.

Exemplos dos quadros obtidos durante o uso do sistema de visão na soldagem MIG/MAG são mostrados na Figura 9. A título de obtenção de escala, deve-se considerar que o diâmetro do arame de 1,2 mm e deve-se considerar a utilização de intensidades de corrente para a obtenção de transferências por curto circuito e globular. Cada quadro foi retirado de uma soldagem diferente, com variação na intensidade de corrente, DBCP, tensão e diâmetro da abertura mecânica do obturador.

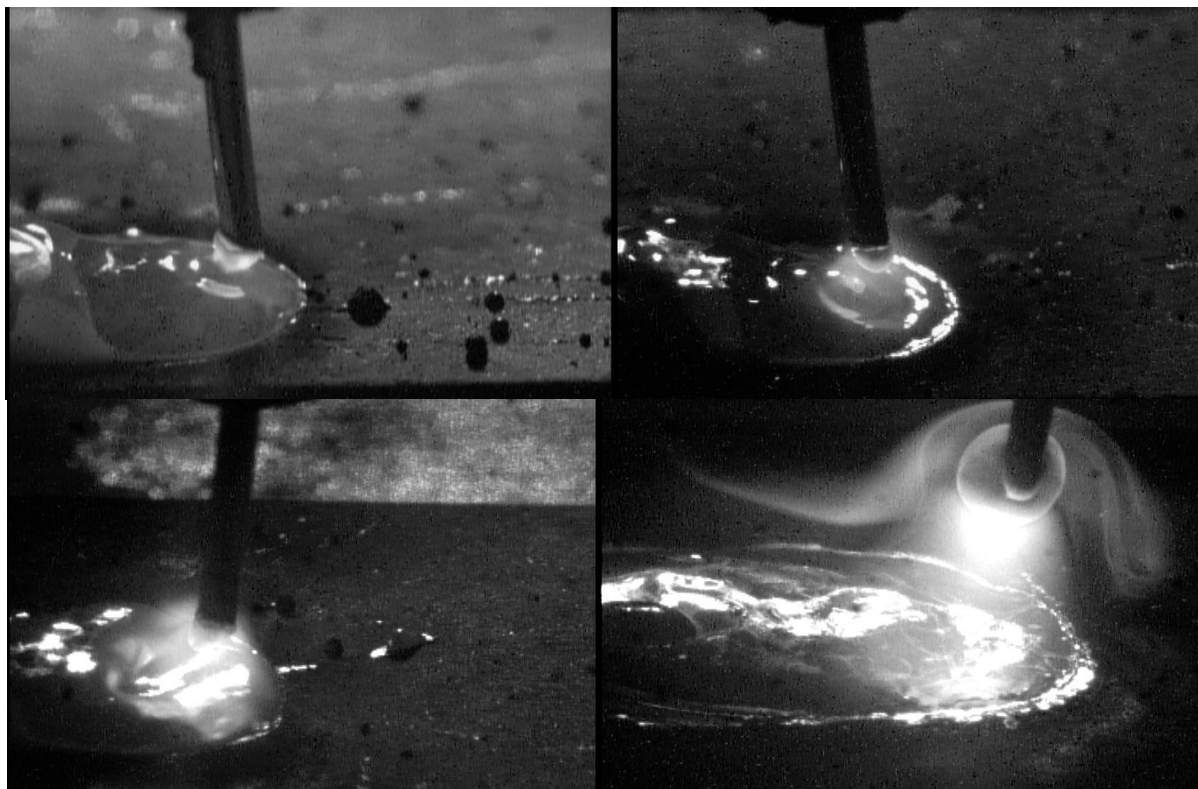


Figura 9. Imagens obtidas pelo sistema de visão “Viasolda” otimizado em soldagens MIG/MAG com transferência por curto circuito e globular.

Inicialmente é possível concluir que a luz proveniente do sistema de visão sobrepõe boa parte da luminosidade do arco voltaico, mesmo na transferência globular (maior corrente) ou quando a abertura mecânica do obturador está próxima de sua abertura total. Para a transferência por curto circuito, nos momentos de extinção do arco ou antecedentes a ele (menor corrente) a iluminação do sistema de visão provém imagens com alta qualidade, sendo possível discernir detalhes da superfície da poça, da gota em transferência e mesmo da chapa (ou junta, caso houvesse). Para a transferência globular, mesmo que a luz do arco presente na imagem, ainda é possível observar o redor da região de interesse e detalhes como a transferência da gota e a fluidez da poça fundida.

Os quadros apresentam excelente contraste e nitidez, e observou-se que não houve nenhum tipo de influência ruído eletromagnético da fonte de soldagem (Miller PipePro 450 RFC) na sequência de quadros obtidos, resultado em uma imagem (e vídeo) de excelente qualidade. A luz proveniente dos diodos laser é tão intensa que boa parte da imagem é saturada e, em alguns pontos dos vídeos, é possível discernir o próprio conjunto de 19 diodos laser refletidos diretamente na superfície fundida espelhada.

Assim como o observado na soldagem TIG, não há oscilação do perfil de iluminação da área da junta, indicando uma boa sincronização entre a emissão dos pulsos dos diodos laser e a abertura do *shutter* e, sua iluminação provou-se, também, homogeneizada ao longo da área de projeção da luz no plano da chapa, iluminando perfeitamente a região da junta, da poça fundida, do eletrodo e a chapa ao redor da soldagem. É possível observar, nestas imagens também, que a iluminação extrapola a área de interesse, iluminando também os arredores da chapa e sistema de movimentação.

Sendo assim, podem-se definir algumas observações finais sobre a funcionalidade do Viasolda após a inserção de uma câmera de baixo tempo de exposição e a otimização no acionamento e sincronia entre pulsos dos diodos laser e tempo de abertura da câmera. A primeira delas é que o sistema após as modificações apresentou resultados muito superiores aos obtidos com o sistema anterior, possibilitando a aquisição de imagens até de soldagem MIG/MAG com transferência globular e TIG pulsado com níveis de corrente maiores aos obtidos anteriormente. Esses resultados permitem diferentes estudos de baixa velocidade da região de interesse além de um seguidor de juntas adequado para soldagens com intensidades de correntes e proteções gasosas diversas.

A área iluminada pelos diodos laser supera, em duas a três vezes, a área da região de interesse a ser iluminada, o que foi observado principalmente durante a montagem dos testes de validação. Desta forma, é possível ainda aumentar a densidade luminosa da luz proveniente dos diodos laser e, por consequência, a capacidade de sobreposição do arco do Viasolda. O estudo e melhoria do sistema ótico de projeção dos diodos laser são necessários para este aumento de densidade luminosa. Como trabalho futuro espera-se aumentar ainda mais a eficiência e flexibilidade do sistema de visão através da utilização de um maior número de diodos laser em conjunto com sua distribuição através de fibras óticas.

6. CONCLUSÕES

Para conceber e aplicar melhorias para o sistema de visão para monitoramento dos processos de soldagem (ViaSolda) através da introdução de uma câmera analógica com baixo tempo de abertura, dividiu-se o trabalho basicamente em três etapas lógicas e subsequentes: escolha da câmera com baixo tempo de exposição, otimização da topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência e adaptação do sistema de visão à câmera, e validação do sistema de visão com o uso da câmera com baixo tempo de exposição em soldagens TIG e MIG/MAG.

Escolheu-se a câmera SI-M331 da fabricante Costar, uma câmera analógica monocromática com sensor CCD, resolução de 768x494 pixels e tempo mínimo de abertura de 1,25 μ s, que permite diferentes tipos de configuração do *trigger* eletrônico, assim como sincronia com o pulso de iluminação através de um sinal eletrônico de *shutter*. Esta câmera é dotada de uma cabeça remota de 1/2" de diâmetro e cabo de 2 m de comprimento, o que permite sua adaptação em pequenos espaços e possibilidade de movimentação em conjunto com a tocha de soldagem.

A topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência é de fundamental importância na eficácia do sistema de visão como um todo. Acredita-se que mesmo com o aumento da corrente de pico ao máximo e extensão da duração do pulso por mais tempo para a topologia de acionamento ressonante seria insuficiente para a sobreposição do arco de soldagem. Modificou-se o formato do pulso de acionamento de ressonante para um pulso quadrado que, por sua natureza, mais prejudicial à junção dos diodos laser, mas provém ganho de quantidade de carga passante pelos semicondutores, e por consequência, a energia luminosa emitida pelo sistema.

Sendo assim, criou-se uma topologia de acionamento dos diodos laser de alta potência por pulso quadrado, aonde os dois conjuntos de diodos laser (19 diodos) são acionados ao mesmo tempo. Determinou-se um pulso com corrente de pico de 30 A e duração de pulso de 2 μ s à uma frequência de 30 Hz. Acredita-se que essa configuração não é prejudicial à vida útil dos diodos laser. A topologia por pulso quadrado foi desenvolvida através de simulação computacional, construída e testada experimentalmente para a validação de seu funcionamento. Acredita-se que a topologia de acionamento dos diodos laser alcançou seu potencial máximo, quando se utiliza 19 diodos laser em série e a câmera com tempo de abertura de 1,25 μ s.

Para a validação do sistema de visão para monitoramento dos processos de soldagem foram realizadas soldagens TIG e TIG pulsado e MIG/MAG com transferência por curto circuito e globular. O sistema após as modificações apresentou resultados muito superiores aos obtidos com o sistema anterior, possibilitando a aquisição de imagens até de

soldagem MIG/MAG com transferência globular e TIG pulsado com níveis de corrente maiores aos obtidos anteriormente. Os quadros apresentam excelente contraste e nitidez, iluminação homogênea e sincronizada com a obtenção das imagens. Esses resultados permitem diferentes estudos de baixa velocidade da região de interesse além de um seguidor de juntas adequado para soldagens com intensidades de correntes e proteções gasosas diversas.

A área iluminada pelos diodos laser supera, e muito, a área da região de interesse a ser iluminada e, desta forma, é possível ainda aumentar a densidade luminosa e, por consequência, a capacidade de sobreposição do arco voltaico. O estudo e melhoria do sistema ótico de projeção dos diodos laser são necessários para este aumento de densidade luminosa. Como trabalho futuro espera-se aumentar ainda mais a eficiência e flexibilidade do sistema de visão através da utilização de um maior número de diodos laser em conjunto com sua distribuição através de fibras óticas.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pela bolsa de doutorado (Processo 140744/2011-8), à Fapemig (Processo TEC - APQ-00473-11_213792), ao Laprosolda/UFU e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e à CAPES/PROEX.

8. REFERÊNCIAS

- BÁLSAMO, P. S. S.; VILARINHO, L. O.; VILELA, M.; SCOTTI, A. Development of an experimental technique for studying metal transfer in welding: synchronized shadowgraphy. **Int. J. for the Joining of Materials** 2000.
- BOVIK, A. **The Essential Guide to Image Processing**. London: Academic Press of Elsevier Inc., 2009. 853 p. p. ISBN 978-0-12-374457-9.
- Costar Video Systems. **Remote Head Monochrome CCD Camera SI-M330 Operation Manual**. Temecula, CA, 32 p. Operation Manual: SI-M330.
- FINZI NETO, R. M. **Um Carregador De Baterias Inteligente, Alta Potência, Usando Tecnologia De Fontes Chaveadas Com Comutação Não Dissipativa E Correção Do Fator De Potência**. 2003. 237 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- INTERSIL CORPORATION. **ICL7667 - Dual Power MOSFET Driver**. 2010. 10 p. Datasheet: FN2853.6.
- MOTA, C. P. **Sistema de Visão por Infravermelho Próximo para Monitoramento de Processos de Soldagem a Arco**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- MOTA, C. P.; MACHADO, M. V. R.; FERNANDES, D. B.; VILARINHO, L. O. Estudo da emissão de raios infravermelho próximo em processos de soldagem a arco. **Soldagem e Inspeção**, v. 16, n. 1, p. 044-052, Jan./Mar. 2011.
- MOTA, C. P.; NETO, R. M. F.; VILARINHO, L. O.; GALLO, C. A. Topologia De Acionamento De Diodos Laser De Alta Potência Visando Sua Utilização Em Auxílio Visual A Processos De Soldagem. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), 2010. Campina Grande, Paraíba. 18-21 Agosto. 10 p.
- OGAWA, Y. Observation of Weld Pool Behavior on TIG Welding. Proceedings of OMAE99, 18th International Conference On Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1999. St. Johns, Newfoundland, Canada. July 11–16. 13 p.
- OGAWA, Y.; MORITA, T. Effect Of Shielding Gas And Wire Electrode On Mig Welding. Proceedings of OMAE99, 18th International Conference On Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 1999. St. Johns, Newfoundland, Canada. July 11–16. 13 p.
- PIXELINK. **PL-B776F Firewire, PL-B776G Gigabit Ethernet, PL-B776U USB 2.0**. Ontario, 3 p. Datasheet: 776.
- TAYLOR, G.; KLEEMAN, L. **Visual Perception and Robotic Manipulation: 3D Object Recognition, Tracking and Hand-Eye Coordination**. Springer, 2006. p. ISBN 3540334548.
- VILARINHO, L. O.; LUCAS, B.; HOUGHTON, M.; LUCAS, J. J.; RAGHUNATHAN, S. Sistema de Visão por infravermelho próximo Dedicado ao Monitoramento de Processo de Soldagem. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM), 2010. Gramado, RS, Brasil. Agosto 18-21. 8 p.
- VILARINHO, L. O.; LUCAS, B.; RAGHUNATHAN, S.; HOUGHTON, M.; LUCAS, J. J. Dedicated Near-Infrared Vision System for Monitoring Welding Processes. 20th International Congress of Mechanical Engineering, 2009. Gramado, RS, Brasil. November 15-20. 7 p.