

SISTEMA DE VISÃO POR INFRAVERMELHO DEDICADO AO MONITORAMENTO DE PROCESSOS DE SOLDAGEM

Louriel O. Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹
Bill Lucas, bill.lucas@twi.co.uk²
Michael Houghton, michael@liv.ac.uk³
Jim Lucas, j.lucas@liv.ac.uk³
Sayee Raghunathan, sayee.raghunathan@twi.co.uk²

¹Universidade Federal de Uberlândia, Laprosolda, Brasil

²TWI Limited, Granta Park, Great Abington, Cambridge, United Kingdom

³The University of Liverpool, Department of Electrical Engineering and Electronics, UK

Resumo: *Sistemas completamente automatizados para soldagem possuem grande importância industrial, principalmente e de forma acentuada atualmente devido à falta de soldadores qualificados disponíveis no mercado de trabalho. Embora a ideia de um sistema totalmente independente, capaz de responder a toda e qualquer variação intrínseca dos processos de soldagem, seja desejada, ela ainda não foi concretizada. Além das dificuldades naturais do ambiente fabril, situações como grandes velocidades de soldagem e processos subaquáticos devem ser resolvidas neste escopo. Uma ferramenta promissora na direção da automatização é o uso da visualização do processo através de um Sistema de Visão. Diferentes sistemas de visão têm sido propostos e estudados. Entretanto, enquanto que avaliações sobre transferência metálica têm-se consolidado, a visualização e monitoramento da poça de soldagem e seguidor de junta demandam grandes desenvolvimentos. Desta forma, é objetivo do trabalho apresentar a capacidade e potencialidade de um Sistema de Visão dedicado à soldagem baseado em iluminação por diodo-led a 905 nm e filtro óptico passa-banda na entrada de uma câmera CCD que opera a 25 quadros por segundo (qps). As características principais deste sistema são o seu baixo custo e utilização robusta, indicada e necessária para o ambiente industrial. Diferentes resultados de filmagem são apresentados para diferentes processos e diferentes parâmetros. Conclui-se que o Sistema de Visão desenvolvido é uma ferramenta direta e poderosa para a visualização em soldagem, com grande potencialidade para emprego na automatização do processo.*

Palavras-chave: *CCD, Infravermelho, Monitoramento, Visualização, Soldagem.*

1. INTRODUÇÃO

A primeira etapa para se estudar um processo é através da escolha do sensor mais adequado. A crescente necessidade por processos de soldagem cada vez mais automatizados, seja por objetivos econômicos, produtivos ou de segurança e saúde ocupacional, passa pelo desenvolvimento de sensores robustos e ao mesmo tempo de baixo custo. Dentre os diferentes tipos de sensores, os sistemas de visão chamam a atenção pela potencialidade e flexibilidade em sua utilização (Balfour et al, 2004 e Abdullah et al, 2007).

No caso da soldagem a arco, para se visualizar o processo deve-se lidar com a grande radiação emitida pelo arco elétrico. Uma das formas de se resolver este problema é através do uso de luz em um comprimento de onda no qual a grande maioria dos processos a arco emita baixa energia, neste caso na região do infravermelho próximo (Houghton et al, 2007 e Rossi & Vilarinho, 2008).

O grande empecilho nesta abordagem é que embora a emissão do arco seja mínima nesta região de comprimento de onda infravermelho próximo, ela ainda é significativa frente às fontes luminosas geradas artificialmente como lâmpadas, lasers, diodos e diodos-laser, para o caso em que a iluminação não seja feita diretamente contra o sensor da câmera de filmagem.

Casos de sucesso na filmagem de transferência metálica em soldagem têm sido apresentados ao longo dos anos (Bálsamo et al. 2000). Neste caso, a luz gerada atinge diretamente o sensor da câmera na forma de uma contra-iluminação (“back-light”), maximizando seu efeito. Já no caso de se tentar visualizar o processo de soldagem a arco de uma forma mais abrangente (transferência, poça e vizinhança), deve-se lançar mão da reflexão difusa da luz sobre a superfície da peça, ou seja, necessitar-se-á de muito mais potência luminosa para garantir que intensidade suficiente seja refletida em direção ao sensor da câmera.

Além deste grande obstáculo da reflexão difusa, deve-se garantir que o custo do sensor seja acessível e que os componentes do mesmo possam ser encontrados sem maiores dificuldades. Existem sistemas lasers de alta potência que poderiam ser utilizados, mas os mesmos possuem custos acima de US\$ 100.000,00.

Desta forma, neste trabalho é proposto um sistema de visão com iluminação no infravermelho próximo que possua intensidade luminosa suficiente e que seja de baixo custo, haja vista que na medida em que se aumenta o comprimento de onda da luz incidente (caminhando para o infravermelho mais afastado) pode-se aumentar o desempenho do sistema, mas a um preço muito alto em função da câmera ser totalmente infravermelha e, conseqüentemente, de alto custo.

2. METODOLOGIA

O sistema de visão aqui proposto, mostrado esquematicamente na Fig. 1, consiste de um cabeçote emissor de luz no comprimento de onda de 905 nm via diodos laser (Fig. 2), uma câmera com sensibilidade suficiente neste comprimento de onda, filtro óptico passa-banda em 905 nm, colocado na entrada da câmera e interface via hardware para sincronizar o pulso do laser com o “shutter” da câmera. A câmera utilizada possui um sensor CMOS de menor custo do que um CCD. Ao se visualizar diretamente o cabeçote com os diodos laser, encontra-se a imagem mostrada na Fig. 3.

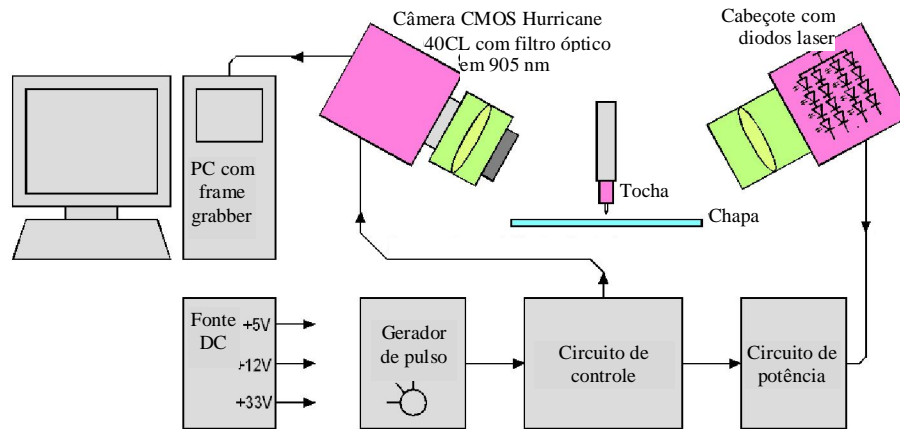


Figura 1. Diagrama esquemático do sistema de visão.



Figura 2. Cabeçote e diodos laser utilizados.

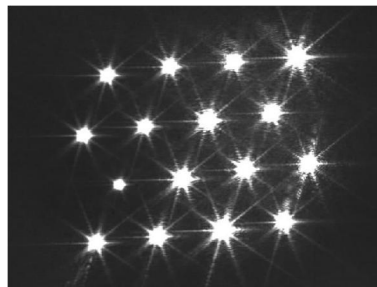


Figure 3. Visão direta dos diodos laser.

A iluminação referida no Item 1 como sendo obtida por reflexão difusa é mostrada na Fig. 4, ou seja, o feixe de luz é emitido no cabeçote laser e depois sofre reflexão difusa na região da solda, iluminando a câmera CMOS. Nesta figura é mostrado o processo TIG com tocha automática. O processo MAG também foi avaliado como mostra os ensaios descritos na Tab. 1. Os demais parâmetros para o processo TIG foram diâmetro do bocal em 10 mm, eletrodo AWS WTh-2 com diâmetro de 2,4 mm e 10 mm para fora do bocal e distância eletrodo-peça em de 3 mm. Já os demais parâmetros para o processo MAG foram indutância da fonte igual a 50%; distância bico de contato peça de 18 mm e eletrodo ER70S-6 de 1.2 mm de diâmetro.

O material de base utilizado em todos os ensaios foi aço C-Mn S235, com dimensões de 250x38x5 mm.

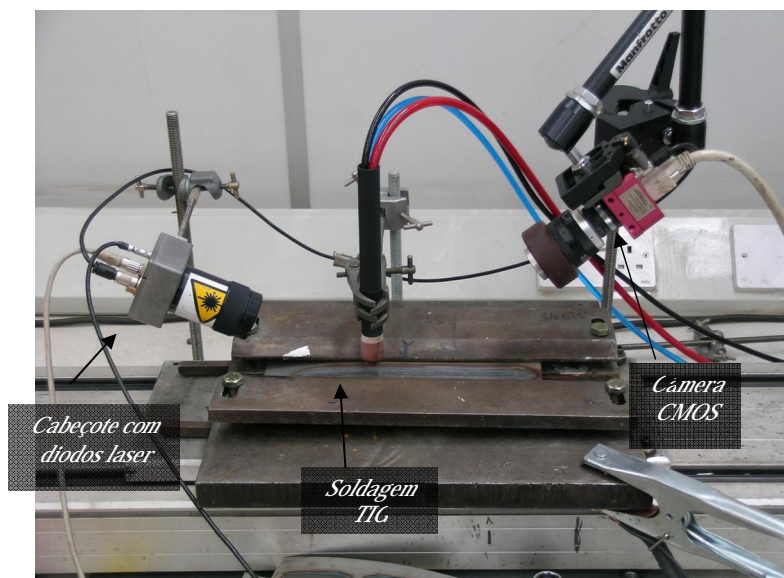


Figura 4. Montagem experimental.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem utilizados e abertura do diafragma da câmera.

Processo	Ensaio	Corrente [A]	Tensão [V]	Veloc. de alimentação [m/min]	Veloc. de soldagem [cm/min]	Gás de proteção a 15 l/min	Abertura do diafragma da câmera
TIG	T01	150	-	-	10	Ar	F/5.6
MAG-curto circuito	SC01	-	18.0	3.0	30	Argonshield Light	F/11
	SC02	-	18.0	5.0	30	Argonshield Light	F/11
	SC03	-	18.0	5.0	30	Argonshield Light	F/5.6
MAG-globular	GL01	-	30.0	4.0	30	Argonshield Light	F/5.6
	GL02	-	30.0	5.0	30	Argonshield Light	F/5.6
	GL03	-	30.0	4.0	30	Argonshield Light	F/11
	GL04	-	30.0	5.0	30	Argonshield Light	F/11
	GL05	-	30.0	5.0	30	Argonshield Light	F/5.6- F/11

Argonshield Light é uma mistura comercial com 93% Argônio, 5% CO₂ e 2% O₂.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira imagem obtida (Fig. 5) apresenta o processo TIG perfeitamente visualizado sem a presença do arco elétrico. É possível notar a poça de fusão como um espelho de metal fundido e as ondulações formadas no cordão em função da solidificação da poça e do movimento da tocha (velocidade de soldagem). Assim, para o processo TIG operando a 150 A, o cabeçote de diodos laser possui potência luminosa suficiente para a completa visualização e conseqüente estudo do processo.

Por outro lado, numa primeira tentativa de se estabelecer a abertura da câmera para ser utilizada no processo MAG (Fig. 6), demonstrou que se deve reduzir a quantidade de luz para se observar o fenômeno, ou seja, a imagem se encontra totalmente fora de nitidez. Uma grande abertura (pequeno F#) promove tanto a entrada de luz do cabeçote de diodos laser quanto da luz do arco, impossibilitando a visualização do fenômeno. Por esta razão, as aberturas propostas na Tab. 1 foram menores.

No caso da soldagem MAG com arcos curtos (menor tensão), a transferência metálica por curto-circuito é visualizada na Fig. 7 para os ensaios SC01 e SC02. Para maior abertura do diafragma (ensaio SC03), o excesso de

luminosidade passa a prejudicar a visualização. Embora a energia disponível e passível de se converter em radiação (tensão*corrente) tenha sido maior no ensaio SC02, frente ao ensaio SC01, ambos os ensaios proporcionaram uma boa visualização do processo. Nesta afirmação pode-se fazer uma ressalva de que a imagem do ensaio SC01 possui um melhor contraste do que a imagem do ensaio SC02, o que indica haverá um limite até o qual esta energia poderá ser aumentada.

A radiação do arco visualizada na Fig. 7 e nas figuras subsequentes se deve ao fato de que o Argônio do gás de proteção emite radiação no comprimento de onda de 912 nm, ou seja, próximo àquela emitida pelos diodos laser (905 nm). Deve-se conviver com esta limitação, haja vista que se encontrou diodos laser de menor custo com potência suficiente somente neste comprimento de onda.

Ao se aumentar a tensão no processo MAG, mantendo-se a mesma velocidade de alimentação, obtém-se a transferência metálica globular (Figs. 8 e 9). Em virtude do maior comprimento de arco (maior tensão), maior radiação atinge o sensor da câmera. Neste caso, deve-se utilizar a menor abertura do diafragma possível, pois nos ensaios GL01 e GL02 não foi possível visualizar o processo (Fig. 8). Notar que o ensaio GL02 apresentou radiação luminosa maior ainda do que o ensaio GL01, devido à maior corrente (maior velocidade de alimentação) empregada no primeiro.

O ensaio GL05 (Fig. 9) foi realizado de tal forma a ser uma repetição do ensaio GL04, procurando-se utilizar inicialmente uma maior abertura do diafragma, que é depois diminuída ao longo da soldagem para se garantir que está se trabalhando com o mesmo arco de soldagem. A Fig. 9 confirma as observações feitas anteriormente.

A partir destes resultados, considera-se que o sistema de visão proposto atingiu sua capacidade máxima para os ensaios GL04 e GL05b (maior energia empregada). Mesmo que um cabeçote de diodos laser com maior potência fosse empregado, ele iria saturar o sensor CMOS da câmera, já que o conjunto de lentes está com a abertura mínima do diafragma. Desta forma, deve-se balancear o conjunto câmera CMOS, lentes e cabeçote de forma a se encontrar um novo ponto de trabalho para maiores energias de soldagem. Vale ressaltar que ensaios realizados com transferência goticular (spray) não foram possíveis de serem visualizados com o presente sistema.

É importante destacar que a qualidade das imagens obtidas é dependente de diferentes fatores, como o acabamento superficial da peça e seu estado, aparência e convexidade do cordão, oxidação ao redor do cordão e geração de fumos no processo. Quanto mais escura for a superfície da peça, mais difícil é realizar uma visualização adequada da peça. Superfícies limpas e escovadas garantem uma parcela de reflexão especular (ao invés da reflexão difusa), que auxilia na visualização do processo de soldagem.

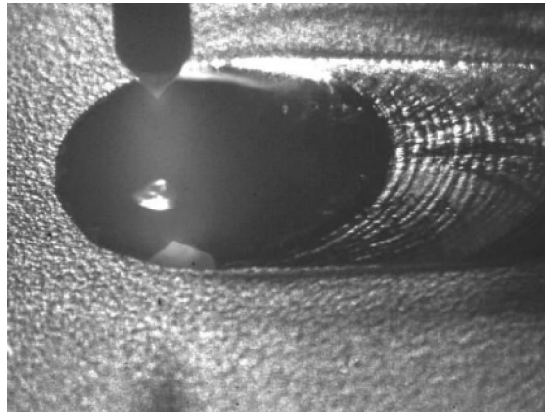
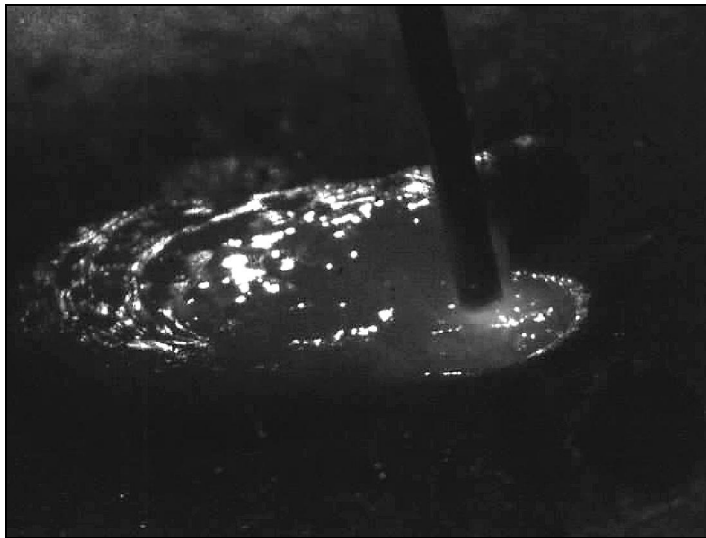


Figura 5. Imagens mostrando o processo TIG – ensaio T01 (como escala adotar diâmetro do eletrodo 2,4 mm).



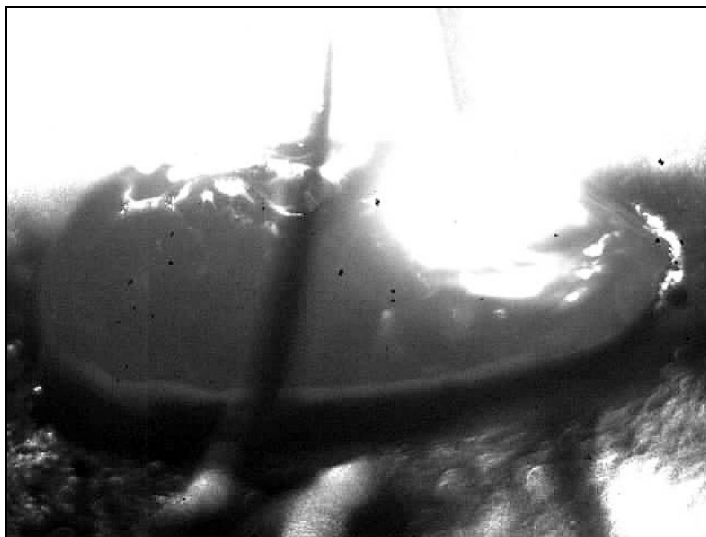
Figure 6. Alta radiação luminosa observada em ensaios preliminares para maior abertura do diafragma (F/2.8).



SC01



SC02

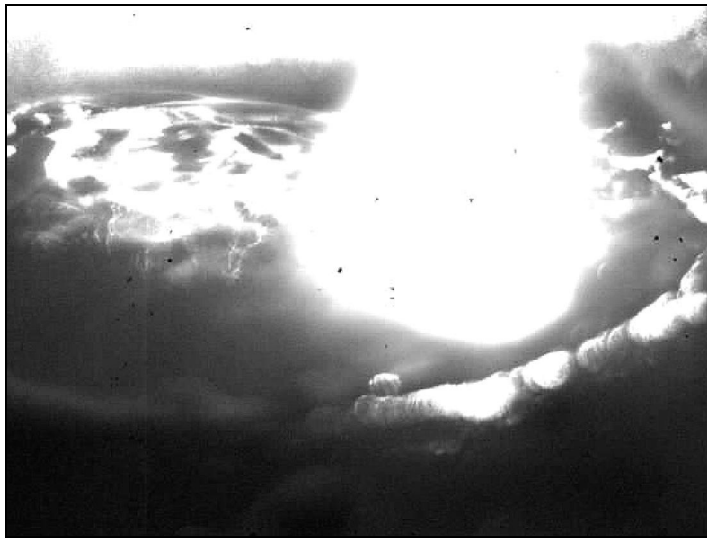


SC03

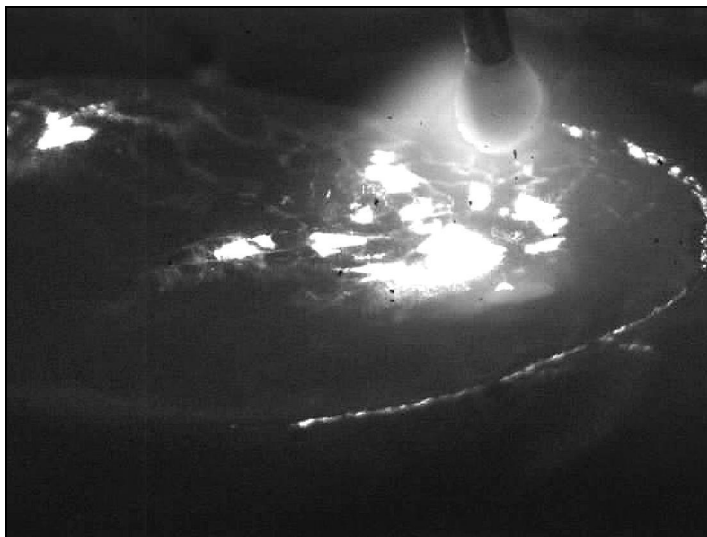
Figura 7. Imagens para a transferência por curto-circuito no processo MAG (como escala adotar diâmetro do eletrodo igual a 1,2 mm).



GL01

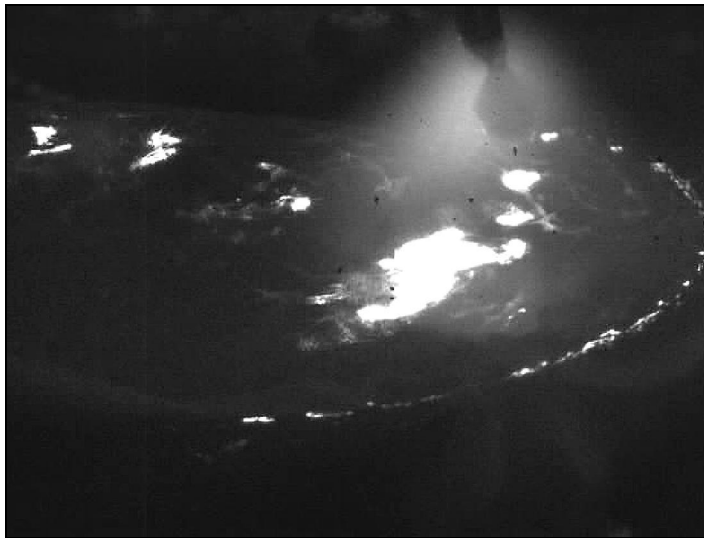


GL02

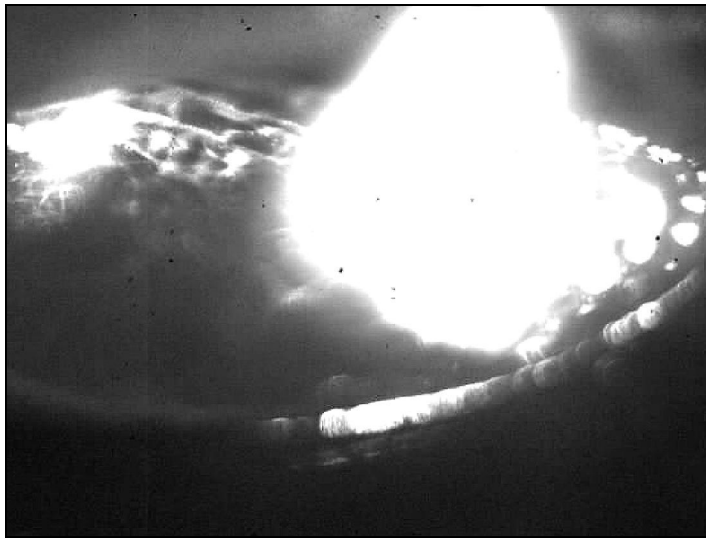


GL03

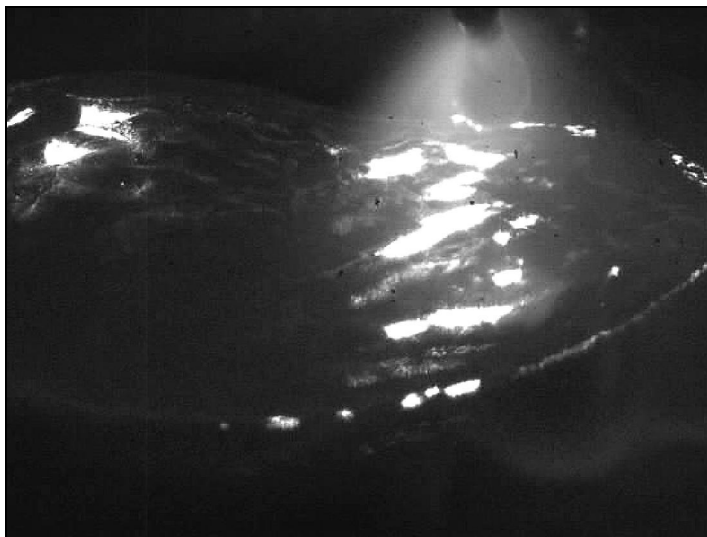
Figura 8. Imagens para a transferência globular GL01 a GL03 no processo MAG (como escala adotar diâmetro do eletrodo igual a 1,2 mm).



GL04



GL05a



GL05b

Figura 9. Imagens para a transferência globular GL04, GL05a (maior abertura do diafragma) e GL05b (menor abertura do diafragma) no processo MAG (como escala adotar diâmetro do eletrodo igual a 1,2 mm).

4. CONCLUSÕES

O sistema de visão proposto foi capaz de visualizar com sucesso os processos TIG e MAG, com limite superior para o processo MAG de 30 V e 5 m/min (transferência globular) durante a soldagem de aço carbono. Como trabalhos futuros sugere-se estabelecer a relação entre a radiação do arco, tipo de gás, preparação superficial, comprimento de onda e capacidade de capacidade de filmagem "formação da imagem" (se possível, de forma esquemática/gráfico).

5. AGRADECIMENTOS

O Prof. Vilarinho gostaria de agradecer à Capes (Processo BEX 1535/08-0), ao CNPq (Processo 473953/2009-9 e Processo 307554/2008-2), à Fapemig (Processo TEC - APQ-01389-08) e ao Laprosolda/UFU.

6. REFERÊNCIAS

- Abdullah, B. M. et al., 2007. "A low cost vision system for real-time monitoring of welding applications", JOM 14, Intl. Conf. on Joining Materials, Helsingor, Denmark.
- Balfour, C. et al., 2007. "Real time vision based control of weld pool size", Proc. 14 Intl. Conference, Largest Technology on Welding and Manufacturing, Sheffield, UK, 2004
- Bálsamo, P.S.S. et al, 2000. "Development of an experimental technique for studying metal transfer in welding: synchronized shadowgraphy". International Journal for the Joining of Materials, v.12, p.48-59.
- Houghton, M.A.; Lucas, J.J. and Lucas, W., 2007. "Vision Systems for Monitoring and Control of Arc Welding Operations", Soldagem & Inspeção, 12(4), pp. 293-299, 2007.
- Rossi, M.L. e Vilarinho, L.O., 2008. "UV and Visible Radiation Measurement during Arc Welding for Health and Occupational Hygiene Issues. Soldagem & Inspecao, 13(4): p. 296-303.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INFRARED VISION SYSTEM DEDICATED TO WELDING PROCESSES MONITORING

Louriel O. Vilarinho, vilarinho@mecanica.ufu.br¹
Bill Lucas, bill.lucas@twi.co.uk²
Michael Houghton, michael@liv.ac.uk³
Jim Lucas, j.lucas@liv.ac.uk³
Sayee Raghunathan, sayee.raghunathan@twi.co.uk²

¹Universidade Federal de Uberlândia, Laprosolda, Brasil

²TWI Limited, Granta Park, Great Abington, Cambridge, United Kingdom

²The University of Liverpool, Department of Electrical Engineering and Electronics, UK

Abstract: Fully automatized welding process has been a challenge for researchers and research centres worldwide. Although the idea of having a total independent system, capable of responding to any variation on the welding process, is surely desired, it has not been accomplished. In addition, puzzling conditions, such as high-productivity and underwater processes, must be solved in the welding scope. A promising tool to accomplish this task is based on visualisation, i.e., by using a Vision System. Vision Systems have been studied and developed under different approaches. However, while the metal transfer studies are consolidated, the weld pool visualization and studied are scarcely and demands development. Therefore, the objective of this work is to show all the capability and potentiality of a dedicated Vision System developed using diode-led illumination at 905 nm and an optical bandpass filter at the entrance of a CMOS camera at 25 frames per second (fps). The main feature of the developed system is its low cost and robust utilisation. Different results are shown for different process and parameters. It is concluded that the Vision System is a straightforward and powerful tool for the welding process imaging.

Keywords: CCD, Infrared, Monitoring, Visualization, Welding.