



EFEITO DA DISTÂNCIA BICO DE CONTATO PEÇA NO MAPA DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA DE UM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

Aldemi Coelho Lima

CEFET-GO, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, R. 75, N° 46, Centro, Goiânia – GO, CEP 74.055-110
acl@cefetgo.br; aclima@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Caixa Postal 593, CEP 38.400-902, Uberlândia-MG
valtairf@mecanica.ufu.br

Resumo: *O objetivo deste trabalho é demonstrar a influência da distância bico de contato peça (DBCP) no mapa de transferência metálica de um arame tubular autoprotegido da liga Fe-Cr-C indicado para aplicações de revestimento duro, com diâmetro de 1,6 mm. Os testes de soldagem foram feitos em chapa de aço 1020, variando-se a velocidade de alimentação e a tensão, com DBCP de 20 e 35 mm. A classificação das regiões de transferência foi feita com base nas imagens do arco obtidas com câmera de alta velocidade (2000 quadros/s) e nos oscilogramas de corrente e tensão. Verificou-se que o aumento da DBCP, além de reduzir a corrente para mesma tensão e velocidade de alimentação, provocou mudanças significativas nos mapas de transferência metálica, deslocando para cima, no sentido de maiores tensões, e para a direita, no sentido das maiores velocidades de alimentação, as regiões de transferência. Com DBCP de 35 mm, obtiveram-se os modos de transferência curto circuito, globular repulsiva e o modo misto, globular repulsiva/curto circuito. Com DBCP de 20 mm, além desses, obteve-se o modo globular.*

Palavras-chave: *aramé tubular, transferência metálica, mapeamento, curto circuito.*

1. INTRODUÇÃO

O processo Arames Tubulares é um processo de soldagem considerado semiautomático, mas também utilizado em operações automáticas ou mecanizadas, que utiliza o calor gerado do arco elétrico para a fusão do metal. A característica que distingue o processo Arames Tubulares de outros processos a arco é dada pelos ingredientes do fluxo encerrados dentro de um arame alimentado continuamente, cuja queima provê a proteção da solda. O processo oferece duas variações que diferem no método de proteção do arco (aramé autoprotegido e com proteção gasosa). No tipo autoprotegido a proteção do metal fundido é feita pela decomposição e vaporização do fluxo do eletrodo pelo calor do arco. No outro tipo, com proteção gasosa, faz-se uso de um jato de gás protetor em adição à ação do fluxo do eletrodo (AWS, 1991).

O processo de soldagem com arames tubulares agrega as principais vantagens do MIG/MAG, como elevados valores de taxa de deposição, rendimento e fator de trabalho do soldador, possibilitando a obtenção de alta produtividade e qualidade de solda. Além disso, apresenta características da soldagem manual com eletrodos revestidos, como a possibilidade de ajustes da composição química do cordão de solda, a facilidade de aplicação em campo e a alta versatilidade (AWS, 1991). Na aplicação de revestimentos duros, os arames tubulares têm sido preferidos por apresentarem maior produtividade que com eletrodos revestidos e maior flexibilidade que com arco

submerso e, além disso, apresentarem menor aporte térmico, menos distorções e Zona Termicamente Afetada (ZTA).

A forma pela qual o metal fundido transfere-se da ponta do arame eletrodo para a poça de fusão influencia diversos aspectos operacionais da soldagem. Em particular, o nível de respingos e fumos, a capacidade do processo ser utilizado fora da posição plana, o formato do cordão e, enfim, a estabilidade e o desempenho operacional do processo. Dependendo das condições de soldagem e do processo utilizado pode-se observar diferentes modos de transferência metálica. Várias técnicas foram utilizadas para investigar os modos de transferência na soldagem, dentre estas a filmagem com câmeras de alta velocidade (1000 a 14000 quadros por segundo) ou osciloscópios, que registram sinais de tensão e corrente simultaneamente. As investigações levaram à classificação de 12 tipos de transferência metálica observadas no processo MIG/MAG, feita pelo IIW - International Institute of Welding. Classicamente, contudo, considera-se quatro formas básicas de transferência obtidas com essas combinações: transferência por curto circuito, globular e goticular (“spray”) e goticular com alongamento (AWS, 1991).

Comparado com MIG/MAG, o processo Arame Tubular é muito complicado devido às interações fluxo/metálica. Como a área metálica da seção transversal de um arame tubular é muito menor que a de um arame sólido, o primeiro é percorrido por uma densidade de corrente muito alta, o que leva a uma grande importância dos parâmetros de soldagem na determinação dos seus modos de transferência (Wang et al, 1995).

Segundo Luz (2004), quando se compara a transferência metálica de arame tubular com arame sólido, observa-se que apesar de o primeiro ser mais sujeito à ocorrência de explosões, os seus modos de transferência são mais bem definidos, apresentando zonas maiores para os modos simples, como globular (GL), curto-circuito (CC), goticular (GT) e goticular com alongamento (GTE) e, além disso, apresenta menos modos mistos nas regiões de transição.

Uma das características dos arames tubulares autoprotetidos é a possibilidade de uso de eletrodos com grande extensão (comprimento não fundido até o tubo de contato), podendo variar de 19 a 95 mm, dependendo da aplicação. Aumentando a extensão ocorre um aumento da resistência ao calor do arame, podendo reduzir a corrente de soldagem e diminuir o calor para fundir o metal de base, resultando numa solda estreita e rasa (AWS, 1991).

O objetivo deste trabalho é determinar os modos de transferência metálica de um arame tubular autoprotetido utilizado em aplicações de revestimento duro e demonstrar a influência da distância bico de contato peça (DBCP) no mapa de transferência.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos testes de soldagem, foi utilizada uma fonte eletrônica multi-processo operando no modo de tensão constante. Os testes foram realizados em chapa de aço carbono ABNT 1020 com dimensões de 12,7 x 50,8 x 200 mm. As soldas foram efetuadas na posição plana, com arame tubular autoprotetido de 1,6 mm de diâmetro, cuja composição química é formada por: C=4,11%, Si=0,20%, Mn=0,52% e Cr=23,1%.

Na realização dos testes de soldagem, foi mantida uma constante de deposição ao longo do comprimento do cordão de solda, ou seja, uma relação entre a velocidade de alimentação do arame eletrodo e a velocidade de soldagem ($V_{alim}/V_{sold}=20$), com o objetivo de manter um referencial constante entre os testes, bem como evitar que qualquer diferença na quantidade de material depositado por comprimento de solda interferisse na análise dos resultados. Além disso, a indutância de subida (k_s) e indutância de descida (k_d) foi mantida constante para todos os testes, com valor igual a 20, para a fonte de soldagem utilizada (INVERSAL 300).

A construção dos mapas de transferência metálica foi feita a partir da análise dos oscilogramas de corrente e tensão e das imagens da operação de soldagem, obtidas pela técnica de “Shadowgrafia”, a qual foi efetuada com velocidade de 2000 quadros por segundo, permitindo, assim, visualizar os aspectos de formação e transferência da gota metálica, conforme procedimento descrito por Vilarinho (2000).

A escolha da distância bico de contato peça foi feita após a realização de ensaios de soldagem dentro da faixa de extensão de eletrodos recomendada pela AWS (1991) para arames tubulares autoprotetidos, 19 a 95 mm. Para o arame tubular escolhido para o trabalho, a extensão máxima onde se obteve arcos estáveis foi de 35 mm. Para o levantamento dos mapas de transferência metálica foram realizados, então, 64 testes com DBCP de 20mm e 48 testes com DBCP de 35mm variando-se a tensão e a velocidade de alimentação do arame eletrodo.

3. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos, tanto dos mapas de transferência, quanto uma discussão das particularidades observadas nos distintos modos de transferência metálica observados, com vistas a oferecer subsídios para a seleção dos modos de transferência metálica e parâmetros de soldagem mais indicados para aplicações de revestimentos duros com arames tubulares.

3.1 Mapeamento da transferência metálica

A Figura 1 e a Figura 2 apresentam, respectivamente, os mapas de transferência metálica com DBCP de 20 mm, tensão “versus” velocidade de alimentação (*Valim*) e tensão “versus” corrente. A Figura 3 e a Figura 4 apresentam os mesmos mapas para a soldagem com DBCP de 35mm. As figuras destacam os testes realizados para a delimitação das regiões de transferência, bem como, os parâmetros de soldagem. Os mapas foram construídos a partir da análise dos oscilogramas de corrente e tensão, bem como, das imagens obtidas com câmera de alta velocidade, as quais permitiram observar o comportamento das gotas fundidas durante a transferência para a poça. Os testes foram realizados variando-se a tensão e a velocidade de alimentação desde o limite mínimo, quando o arame enrolava sob a superfície da chapa sem fundir (Região I), até o limite máximo, quando o arco era excessivamente longo, tendendo a fundir no bico de contato (Região II) ou, ainda, no caso da DBCP de 35 mm, quando ocorria a projeção de pedaços do arame sob a poça de fusão e superfície da chapa, gerando grande instabilidade do arco.

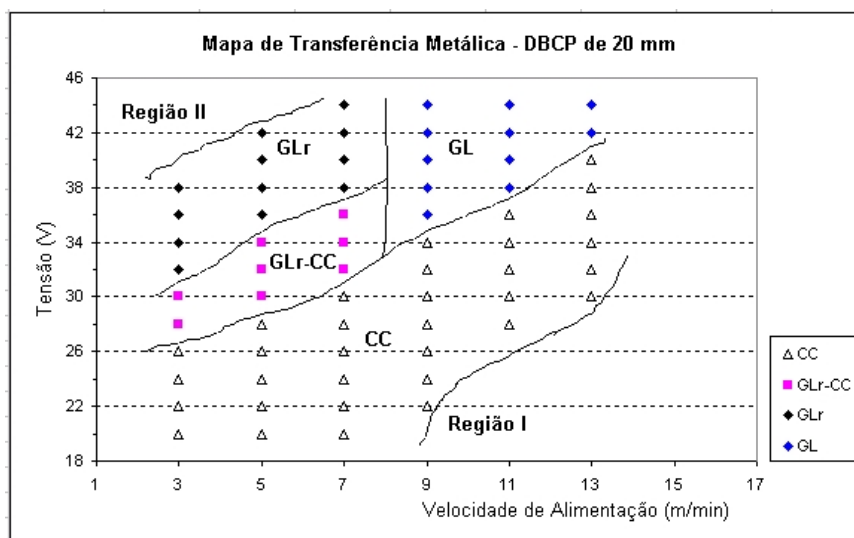


Figura 1: Mapa de transferência metálica com DBCP de 20 mm, tensão x velocidade de alimentação

Para DBCP de 20mm (Figura 1 e Figura 2), observa-se a ocorrência de quatro modos de transferência metálica distintos, sendo: curto-circuito (CC), globular (GL), globular repulsiva (GLr), e o modo misto, globular repulsiva/curto-circuito (GLr-CC). Com DBCP de 35mm (Figura 3 e Figura 4), o modo globular não foi observado e, além disso, ocorreu uma mudança na delimitação das regiões, com um deslocamento destas para cima na escala de tensão e para a direita, no sentido das maiores velocidades de alimentação. A região GLr-CC que foi obtida a partir da tensão de 28V

com DBCP de 20mm, com o aumento da DBCP para 35mm, só foi encontrada com tensões superiores a 32V. O mesmo ocorreu na região GLr, cujo limite inferior foi de 32V com DBCP de 20mm e passou a 40V com DBCP de 35mm.

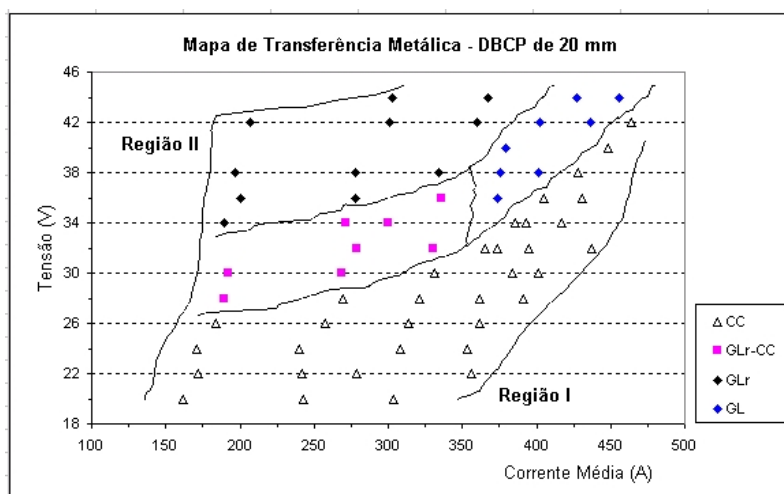


Figura 2: Mapa de transferência metálica com DBCP de 20 mm, tensão x corrente.

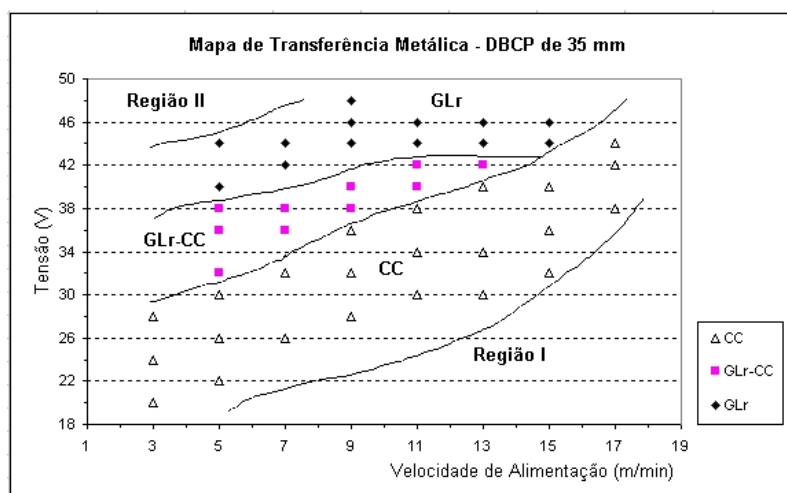


Figura 3: Mapa de transferência metálica com DBCP de 35 mm, tensão x velocidade de alimentação.

No mapa da Figura 1, observa-se, ainda, uma faixa maior de velocidade de alimentação possível de soldar, com a menor tensão soldável (20V) que no mapa com maior DBCP. Por outro lado, a máxima tensão soldada foi de 44V para DBCP de 20mm e até 50V para DBCP de 35mm. Entretanto, no último caso, quando se ajustou tensão superior a 46V, os valores de tensão efetiva foram inferiores ao ajustado por estar trabalhando no limite da fonte de soldagem, já que nessas condições os valores de corrente eram superiores a 450 ampéres. Em sequência serão descritos os principais modos de transferência identificados neste trabalho:

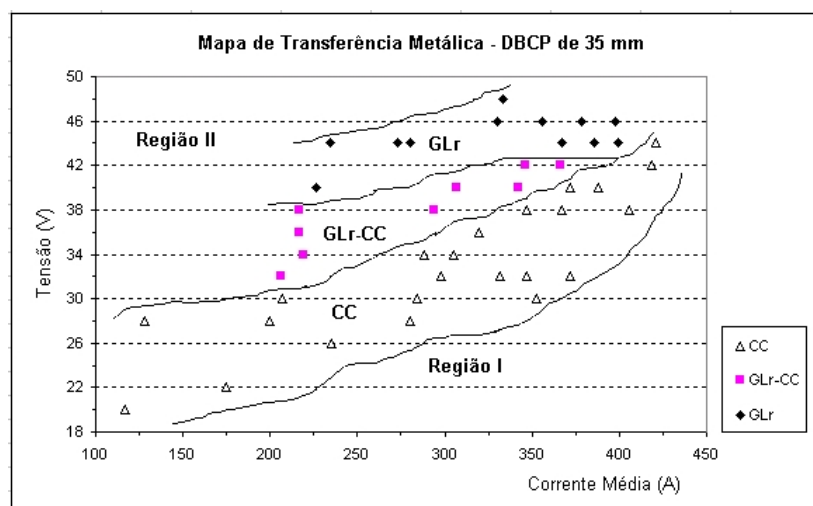


Figura 4: Mapa de transferência metálica com DBCP de 35 mm, tensão x corrente.

Transferência por Curto-Circuito (CC): A transferência das gotas ocorre após o contato destas com a poça, devido à ação da tensão superficial, como ilustrado na Figura 5, a qual mostra na sequência de imagens com intervalos de 5 milissegundos (ms), as etapas de formação da gota até o momento do curto-circuito propriamente dito, quando ocorre, então, o destacamento. Com DBCP de 20mm esse modo de transferência ocorreu para tensões de 20 a 40V, velocidade de alimentação de 3 a 13 m/min (Figura 1) e corrente de 160 a 460 A (Figura 2), enquanto que para DBCP de 35mm, ocorreu para tensões de 20 a 44V, velocidade de alimentação de 3 a 17 m/min (Figura 3) e corrente de 130 a 460 A (Figura 4). Observa-se que neste último caso, não foi possível ampliar essa faixa de parâmetros devido à limitação na capacidade máxima da fonte de soldagem. Foi verificado que a gota se forma na lateral do arame eletrodo, girando em torno deste até o momento do curto-circuito. A Figura 6 apresenta um oscilograma típico de da transferência por curto circuito, cujo teste foi realizado com tensão de 24V, velocidade de alimentação de 5m/min e com distância bico de contato peça de 20 mm. No oscilograma pode-se observar os picos de corrente ocorridos quando do contato da gota fundida na ponta do arame com a poça de fusão.

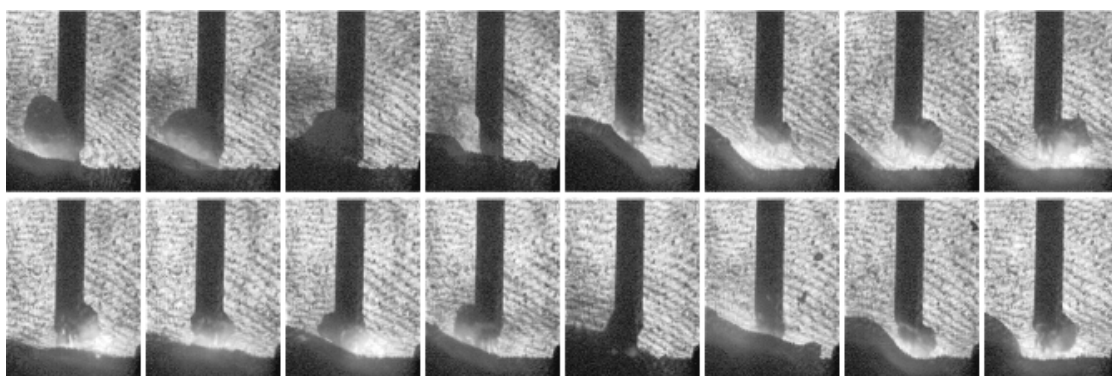


Figura 5: Sequência de imagens da transferência CC, intervalo de 5 ms entre quadros.

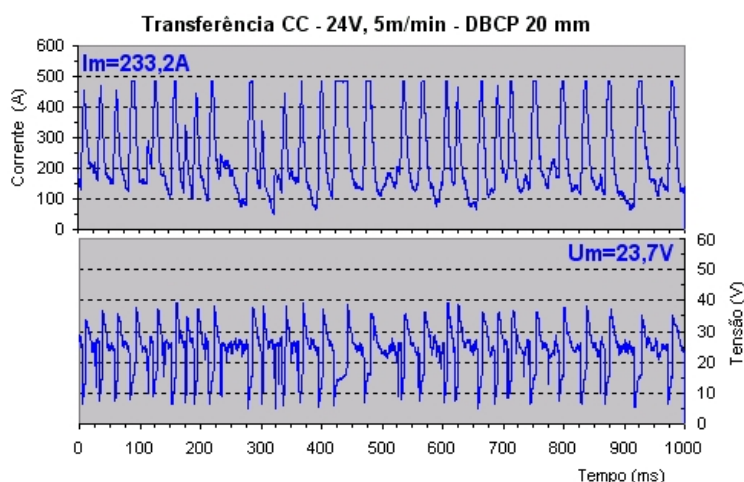


Figura 6: Oscilograma ilustrativo da transferência CC.

Transferência Globular (GL): Esse modo de transferência caracteriza-se pela formação e transferência de gotas com diâmetros superiores ao diâmetro do arame eletrodo, conforme se pode observar na Figura 7. Esse modo de transferência não foi observado nas soldagens com DBCP de 35mm. Por outro lado, com 20mm ocorreu uma região bem definida com tensões de 36 a 44V, velocidade de alimentação de 9 a 13 m/min e corrente relativamente alta, entre 360 e 450A (Figuras 2 e 4). Nessa região o comprimento do arco e a taxa de transferência foram maiores que no modo CC, a transferência foi mais estável que na região GLr (descrita posteriormente), inclusive com cordões mais uniformes e menor projeção de respingos sobre a superfície da chapa. Ocorreu menor rotação da gota em torno do arame, provavelmente devido ao menor intervalo de tempo entre os destacamentos, quando predominou gotas aproximadamente esféricas, apesar da ocorrência de gotas com geometrias irregulares. As gotas transferiam-se da ponta do arame para a poça de fusão de forma predominantemente axial, provocando menor variação de corrente e tensão, proporcionando, assim, oscilogramas ligeiramente mais regulares que os demais modos de transferência, em consonância com a ocorrência de arcos de soldagem mais estáveis. A Figura 8 apresenta um oscilograma da transferência globular, referente a um teste efetuado com tensão de 40V, velocidade de alimentação de 9 m/min e com DBCP de 20 mm, permitindo comprovar a discussão anterior.

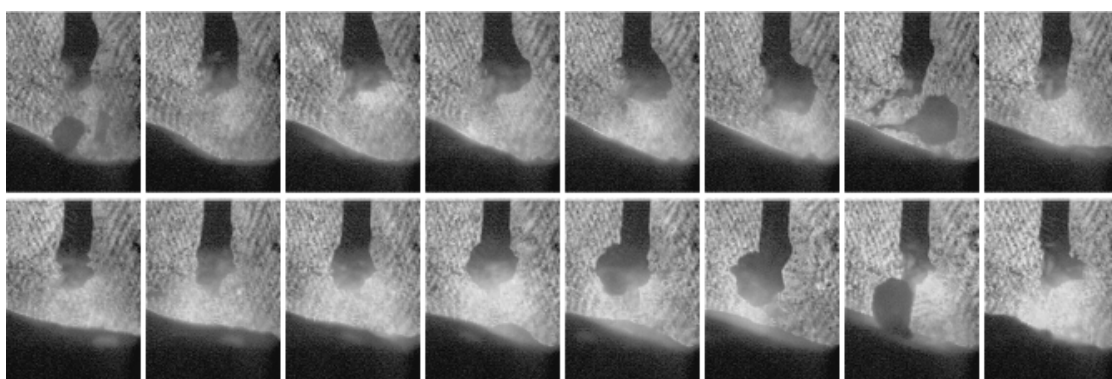


Figura 7: Sequência de imagens da transferência GL, intervalo de 2,5 ms entre quadros.

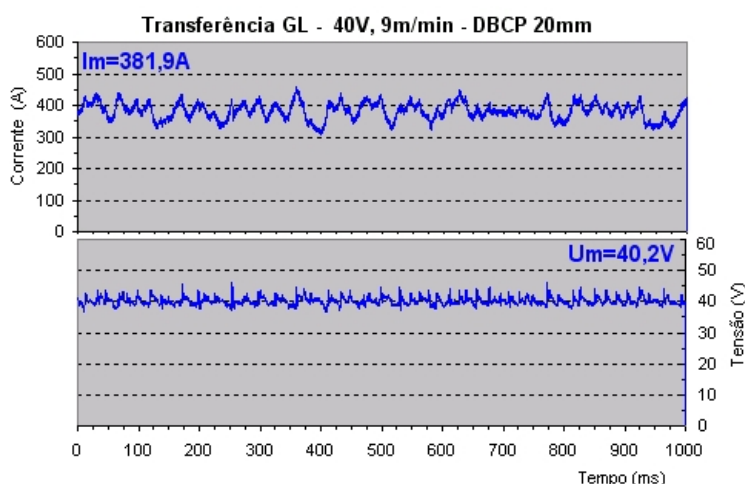


Figura 8: Oscilograma ilustrativo da transferência GL.

Transferência Globular Repulsiva (GLr): Nesse modo de transferência, a combinação de forças que agem durante a transferência leva à repulsão das gotas grandes (maiores que o diâmetro do eletrodo), levando-as a rotacionarem sobre o eixo do arame, sendo, na maioria das vezes, projetadas radialmente, como apresentado na Figura 9 e impedindo a transferência axial como no modo globular convencional. Apesar de se observar a projeção das gotas lateralmente ao cordão, sobre a superfície da chapa, observou-se uma predominância de projeções para a frente, no sentido do deslocamento da tocha. Outro aspecto que pode ser observado na sequência de quadros da Figura 9 diz respeito à fusão do anel metálico externo, provocando um crescimento da gota e a sua repulsão pelos vapores formados sob o arco, enquanto a alma de fluxo vai se aproximando da poça de fusão, até que no destacamento, o fluxo é envolvido pela gota. Eventualmente ocorria, ainda, a projeção de gotas pequenas, após uma sequência de gotas grandes, como também pode ser observado na sequência de quadros da figura citada. Esse modo de transferência ocorreu em ambas as DBCPs utilizadas, mas em uma faixa de velocidade de alimentação mais estreita com DBCP de 20mm, a qual variou de 3 a 7m/min enquanto a tensão variou de 32 a 44V e a corrente de 180 a 360A. Com 35mm, a sua ocorrência foi de 5 a 15m/min, 40 a 48V e corrente de 225 a 400A. A Figura 10 permite visualizar aspectos gerais de um oscilograma da transferência GLr, referente a um teste efetuado com tensão de 38V, velocidade de alimentação de 5 m/min e com DBCP de 20 mm.

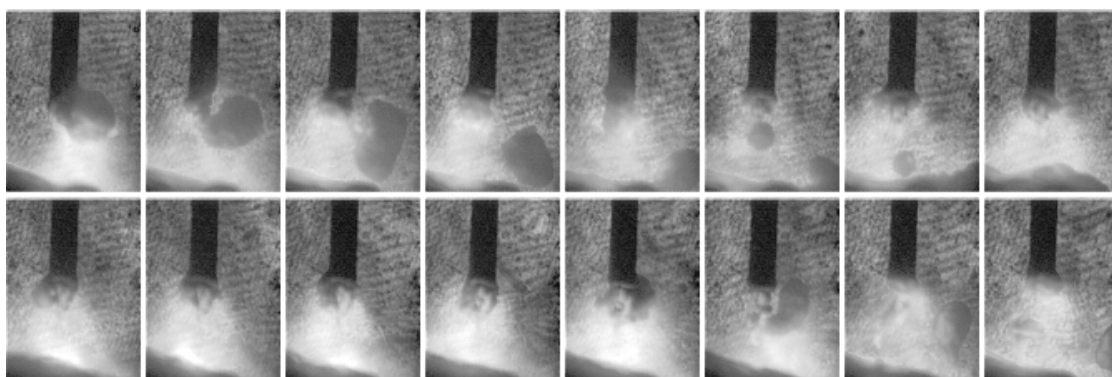


Figura 9: Sequência de imagens da transferência GLr, intervalo de 2,5 ms entre quadros.

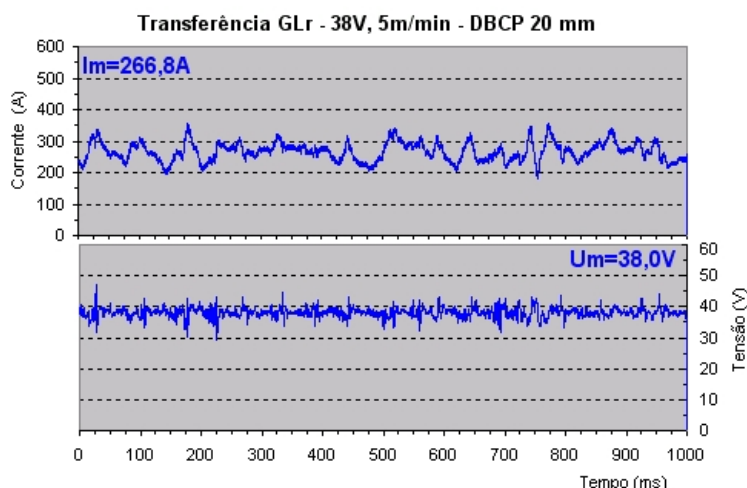


Figura 10: Oscilograma ilustrativo da transferência GLr.

Transferência Globular Repulsiva/Curto-Circuito (GLr-CC): Modo de transferência localizado na região de transição entre o CC e GLr. A elevação da tensão, a partir da região de curto-circuito faz com que algumas gotas vão crescendo até que, ao tocar a poça, sejam sugadas devido à tensão superficial, enquanto outras gotas são transferidas em vôo livre, de forma não axial e sob o efeito de elevada repulsão pelos vapores gerados no arco, como ilustrado na Figura 11. Na seqüência de quadros pode-se observar, ainda, uma acentuada rotação da gota sob o eixo do arame. Ocorreu em ambas as DBCPs utilizadas, quando com DBCP de 20mm, a tensão variou de 28 a 36V, velocidade de alimentação de 3 a 7 m/min e corrente de 190 a 330 A. Com 35 mm, a sua ocorrência foi de 32 a 42V, 5 a 13 m/min e corrente de 200 a 370 A. Um oscilograma característico da transferência GLr-CC é apresentado pela Figura 12, onde se pode observar a de curto-circuito, principal diferença para a transferência GLr. O oscilograma foi construído com os dados de soldagem de um teste efetuado com tensão de 32V, V_{alim} de 5 m/min e DBCP de 20 mm.

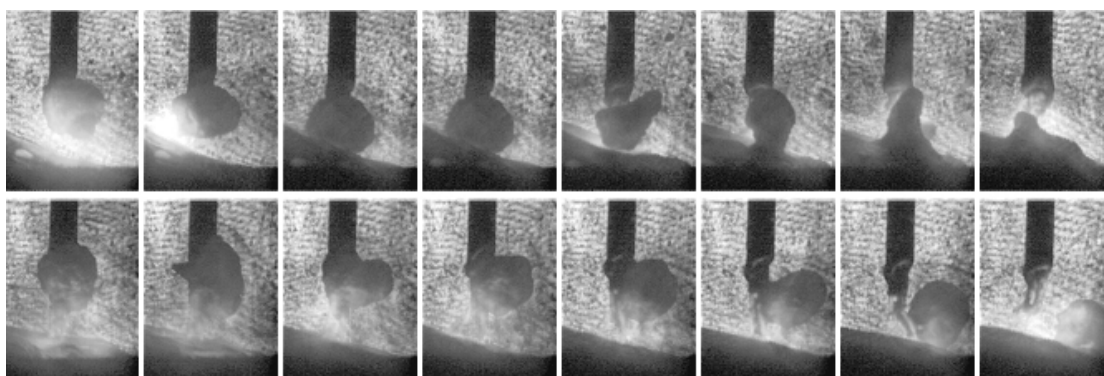


Figura 11: Seqüência de imagens da transferência GLr-CC, intervalo de 2,5 ms entre quadros.

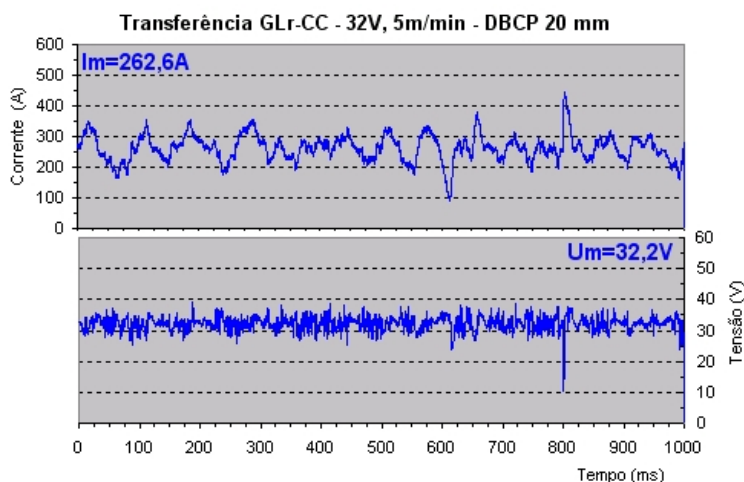


Figura 12: Oscilograma ilustrativo da transferência GLr-CC.

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que, para a soldagem com arame tubular para revestimento duro nas condições pesquisadas:

- Com DBCP de 35 mm, ocorreram transferências CC, GLr e GLr-CC;
- Com DBCP de 20 mm ocorreu, além dessas, a transferência GL.
- Na faixa investigada não se verificaram outros modos de transferência metálica, como a goticular com alongamento;
- O aumento da DBCP, além de levar a uma redução da corrente de soldagem para tensão e velocidade de alimentação constante, deslocou as regiões de transferência para cima, no sentido de maiores tensões e para a direita no sentido das maiores velocidades de alimentação;

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de expressar o agradecimento ao programa de pós-graduação da UFU, em especial ao LAPROSOLDA, pelo apoio técnico, bem como, ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás - CEFET/GO, pelas condições materiais, com destaque o Núcleo de Pesquisas em Fabricação e à equipe do laboratório de soldagem desse Centro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWS - American Welding Society, 1991, "Welding Handbook - Welding Processes", vol.2; 8ª edição, USA, 955p.
- Ferraresi, V. A.; Figueiredo, K. M. & Hiap Ong, T., 2003, "Metal Transfer in the Aluminum Gas Metal Arc Welding". Revista: Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, ISSN 1678-5878, vol. XXV, N° 3.
- LUZ, T. S. et al, 2004, "Análise da Transferência Metálica do Arame Tubular em Comparação ao Arame Sólido", Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, de 02 a 04 de abril de 2004, Belém, PA. Anais em CD Rom.
- Vilarinho, L. O. (2000), "Desenvolvimento e Avaliação de um Algoritmo Alternativo para a Soldagem MIG Sinérgica de Alumínio", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal De Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil, 111 p.
- Wang, W., Liu, S. and Jones, E. J., 1995, "Flux Cored Arc Welding: Arc Signals, Processing and Metal Transfer Characterization", Welding Research Supplement, p. 369s a 377s, nov.

EFFECT OF A CONTACT TUBE WORKPIECE DISTANCE IN THE METALLIC TRANSFER MAP OF A SELF-SHIELDED TUBULAR WIRE

Aldemi Coelho Lima

CEFET-GO, Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, R. 75, N° 46, Centro, Goiânia – GO, CEP 74.055-110
acl@cefetgo.br; aclima@mecanica.ufu.br

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Caixa Postal 593, CEP 38.400-902, Uberlândia-MG
valtairf@mecanica.ufu.br

Abstract: *O objetivo deste trabalho é demonstrar a influência da distância bico de contato peça (DBCP) no mapa de transferência metálica de um arame tubular autoprottegido da liga Fe-Cr-C indicado para aplicações de revestimento duro, com diâmetro de 1,6 mm. Os testes de soldagem foram feitos em chapa de aço 1020, variando-se a velocidade de alimentação e a tensão, com DBCP de 20 e 35 mm. A classificação das regiões de transferência foi feita com base nas imagens do arco obtidas com câmera de alta velocidade (2000 quadros/s) e nos oscilogramas de corrente e tensão. Verificou-se que o aumento da DBCP, além de reduzir a corrente para mesma tensão e velocidade de alimentação, provocou mudanças significativas nos mapas de transferência metálica, deslocando para cima, no sentido de maiores tensões, e para a direita, no sentido das maiores velocidades de alimentação, as regiões de transferência. Com DBCP de 35 mm, obtiveram-se os modos de transferência curto circuito, globular repulsiva e o modo misto, globular repulsiva/curto circuito. Com DBCP de 20 mm, além desses, obteve-se o modo globular.*

Keywords: *tubular wire, metallic transfer, map, short-circuit.*