

Processo Plasma-MIG – Contribuição do Arco Plasma na Capacidade de Fusão do Arame

(Plasma-MIG process – Plasma Arc Contribution on Wire Fusion Capacity)

Tiago Vieira da Cunha¹, Jair Carlos Dutra¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, - UFSC, EMC/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
tvc@labsolda.ufsc.br; jdutra@labsolda.ufsc.br

Resumo

O processo Plasma-MIG é um dos processos híbridos que vem sendo estudado há mais de uma década, cuja configuração inicial era fundamentalmente a junção dos tradicionais processos MIG e Plasma lado a lado. Numa nova retomada de desenvolvimento, para tornar o processo mais robusto para uso industrial, foi idealizada uma nova configuração. Nesta, o objetivo foi de simplificar a tocha, fazendo com que os dois eletrodos se situem concentricamente. O eletrodo MIG continua a ser o tradicional arame, localizado no centro, e o eletrodo Plasma passou a ser um anel circunferencial ao MIG com a mesma polaridade. Trabalhos anteriores conduzidos no LABSOLDA identificaram que não é possível caracterizar o arco Plasma-MIG como dois arcos independentes, sendo necessário considerar a existência de um arco híbrido que se forma abaixo do arame. Portanto, quando relações paramétricas associando a corrente com velocidade do arame são estabelecidas, duas correntes de arco devem ser consideradas: uma relacionada ao processo MIG, e outra ao processo Plasma. O objetivo deste trabalho foi investigar as relações paramétricas associando a corrente de arco Plasma-MIG e a velocidade de arame na condição extrema de inexistência de corrente no circuito MIG, tornando o processo um simples Plasma com alimentação concêntrica de arame. Como resultado, verificou-se que, além do efeito sobre a estabilidade da transferência metálica, as relações paramétricas estabelecidas para o processo Plasma-MIG não tem validade quando o processo opera na condição de corrente MIG zero.

Palavras-chave: Plasma-MIG; Taxa de Fusão, Processo Híbrido.

Abstract: The Plasma-MIG is one of the hybrid welding processes that have being studied for more than a decade. In its earlier stages, the process was idealized by positioning a MIG arc and Plasma arc side-by-side and electrodes having different polarities. On a new step of development, a new welding gun having a robust design was proposed looking for industrial applications. In order to simplify the equipment, the new concept put both MIG and Plasma electrodes positioned concentrically. While the MIG electrode remains the traditional wire, the Plasma electrode changed its shape to a ring that contour the MIG wire located at the center, having both electrodes the same polarity. Earlier research carried out at LABSOLDA conclude that it is not possible identify the Plasma-MIG arc as independent arcs, been necessary consider the existence of a hybrid arc voltaic beneath the wire. Thus, when parametrical relationship associating current and wire speed are established, two different arc currents must be considered: one related to the MIG process, and other due to the Plasma process. The aim of this paper is to investigate parameteric relationships associating Plasma-MIG arc current and wire speed on the extreme condition of MIG current inexistence, which turns the process a usual Plasma welding process having the arc an the filler metal at a concentrical position. As result, it was verified that, beside the effect over metal transfer stability, the parametrical relationships establisehd to the Plasma-MIG do not have value when the process operates at condition of zero MIG current.

Key-words: Plasma-MIG; Fusion Rate, Hybrid Process.

1. Introdução

O processo de soldagem Plasma-MIG foi desenvolvido na década de 70. Em função de apresentar certa indepen-

dência entre o aporte de material fornecido pelo processo MIG e a potência adicional fornecida pelo arco Plasma, este processo apresentou vantagens na soldagem de chapas espessas, principalmente de alumínio. Entretanto, sua aplicação não ocupou um lugar significativo entre os processos de soldagem mais utilizados pela indústria, possivelmente devido a sua complexidade para a época.

Nos últimos anos, com a crescente demanda da indústria em processos de soldagem capazes de realizar operações

(Recebido em 28/11/2006; Texto Final em 28/03/2007).
Artigo baseado em versão apresentada no XXXII CONSOLDA Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 02 a 05 de Outubro de 2006.

cada vez mais especializadas e de alto rendimento e produtividade, o processo Plasma-MIG ressurgiu como uma atraente alternativa. Este processo agrega características únicas como a capacidade de preaquecimento sem a deposição de material, inexistência de defeitos de soldagem, além de maiores velocidades de soldagem, possibilitando uma maior produtividade.

No processo Plasma-MIG o arco Plasma é estabelecido entre um eletrodo de cobre e a peça de trabalho; Figura 1. Este eletrodo possui uma geometria anular, fazendo com que o arco Plasma circunde o eletrodo MIG. O arco MIG é estabelecido entre o arame MIG e a peça de trabalho, estando este localizado concentricamente ao arco Plasma. Em sua essência o processo Plasma-MIG é o processo Plasma atuando simultaneamente com o processo MIG, numa mesma tocha de soldagem. Sendo assim é utilizado um gás para o arco Plasma, outro para o arco MIG e um terceiro gás denominado gás de proteção que envolve os dois arcos e é conduzido pelo bocal de gás, além de um circuito de refrigeração para o eletrodo Plasma, eletrodo MIG e bocal constritor.

Tendo em vista que o processo de soldagem Plasma-MIG é composto pelo processo MIG, este também pode operar com controle de tensão ou controle de corrente no circuito MIG.

O processo MIG, quando operando com controle de tensão, permite um auto-ajuste da taxa de fusão do arame, pelo que se conhece como controle interno. Neste, a corrente de soldagem, assume valores de modo a igualar a tensão do arco voltaico à tensão previamente regulada no equipamento. Desta forma, no instante em que a velocidade de avanço do arame aumenta, o valor da corrente também aumenta fazendo com que a taxa de fusão do arame aumente, o que proporciona o retorno à condição inicial do arco.

No processo MIG com controle de corrente, o controle interno é inexistente, assim é preciso conhecer de antemão a

relação entre a taxa de fusão do arame e a velocidade de alimentação do mesmo. Dentre as várias relações estabelecidas para as variáveis do processo MIG pulsado, está a relação proposta por Dutra[3] e Smati[4], esta relaciona a velocidade de avanço de arame com a corrente média por meio de uma constante específica para cada arame (Equação 1).

$$V_a = K * I_m \quad (1)$$

Oliveira[2] afirma que no processo Plasma-MIG, em altas velocidades, a utilização do controle de tensão no circuito MIG causa instabilidade na transferência metálica, assim como flutuações no comprimento do arco híbrido devido a oscilações do valor da corrente. Uma alternativa se constitui na utilização do controle de corrente. Porém, como visto anteriormente, quando é utilizado o controle de corrente no MIG, se torna necessário conhecer a relação entre a taxa de fusão de arame e sua velocidade de alimentação. Uma vez que no processo Plasma-MIG o arco Plasma também contribui para com a fusão do arame, a velocidade de alimentação do mesmo é uma função de duas variáveis (Equação 2).

$$V_a = f(I_{mig}, I_{plasma}) \quad (2)$$

Oliveira[2], propõe relações entre a velocidade de avanço de arame e correntes MIG e Plasma, para arames de alumínio 1,2 mm (ER-4043), Equação 3, e aço carbono 1,2 mm (ER70S-6), Equação 4. A Equação 4 atesta uma influência desprezível da corrente MIG no segundo termo da equação, tendo em vista o algarismo significativo (primeira casa decimal em m/min) da leitura da velocidade do arame pelos instrumentos. Assim a Equação 4 deve ser reescrita conforme a Equação 5.

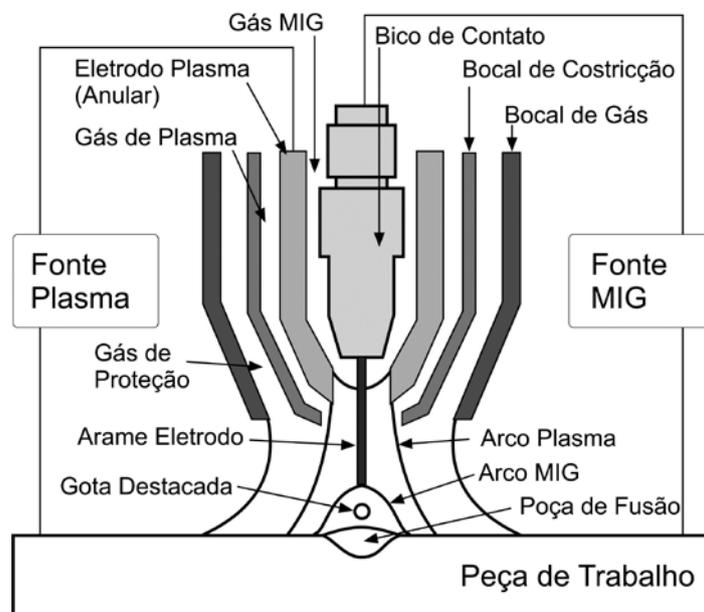


Figura 1 – Processo Plasma-MIG [1]

$$V_a = 0,053 * I_{mig} + 0,017 * I_{plasma} + 0,9 \quad [m / \text{min}] \quad (3)$$

$$V_a = 0,0618 * I_{mig} + (-0,000113 * I_{mig} + 0,027792) * I_{plasma} - 3,1865 \quad [m / \text{min}] \quad (4)$$

$$V_a = 0,062 * I_{mig} + 0,028 * I_{plasma} - 3,2 \quad [m / \text{min}] \quad (5)$$

Com o intuito de conhecer mais profundamente os princípios físicos do processo Plasma-MIG, se torna objetivo deste trabalho verificar se estas relações (3) e (4) continuam válidas, do ponto de vista da capacidade de fusão do arame eletrodo, para o caso em que somente atua o arco Plasma, já que a literatura referente a este processo com controle de corrente no circuito MIG é escassa.

2. Materiais e Métodos

Os ensaios foram conduzidos na bancada Plasma-MIG do LABSOLDA. Esta é composta por uma fonte de soldagem microcontrolada –DIGITEC 450 responsável pelo arco MIG, uma fonte de soldagem multi-processo INVERSAL 450 responsável pelo arco Plasma. Dois computadores, um responsável pelo controle das fontes de soldagem e outro pela aquisição dos valores de correntes e tensões do processo. Ambos os computadores são equipados com uma placa de aquisição e controle de dados - INTERDATA. Um robô de seis graus de liberdade - UP6 e uma tocha de soldagem Plasma-MIG; Figura 2.



Figura 2 – Tocha de soldagem Plasma-MIG

Com o intuito de verificar a capacidade de fusão do arame eletrodo somente pela ação do arco Plasma, foram calculadas, primeiramente, as velocidades de avanço de arame esperadas para valores de corrente Plasma compreendidos entre 80A e 160A (tomando-se corrente MIG igual a zero) por meio das Equações (3) e (4). Foi verificado que para o arame de alumínio a Equação 3 forneceu valores de velocidade de avanço de arame condizentes com a prática, diferentemente da Equação 4 que, para o arame de aço carbono, forneceu valores de velocidade de avanço de arame negativos.

Na seqüência, foram realizados ensaios utilizando arame de alumínio de 1,2 mm de diâmetro (ER-4043), distância entre o bico de contato e a peça de 26 mm, Argônio como

gás de proteção (15 l/min), gás de Plasma (5 l/min), gás MIG (5 l/min) e diâmetro do eletrodo Plasma igual a 9 mm.

Para o arame de aço carbono de 1,2 mm de diâmetro (ER70S-6), foram realizados ensaios utilizando-se as mesmas configurações utilizadas para o arame de alumínio. Entretanto, diferentemente do alumínio, não foram utilizados os valores de velocidade de avanço de arame fornecidos pela Equação 4, pois os mesmos não se mostram condizentes, uma vez que a equação forneceu valores negativos de velocidade de avanço de arame.

Tendo isto em vista, partiu-se para a determinação das velocidades de avanço do arame, de aço carbono, correspondentes para valores de corrente Plasma.

3. Resultados e Discussão

Nos ensaios conduzidos com o arame de alumínio, verificou-se que para todas as situações previstas pela Equação 3, o eletrodo apresentou um comprimento aproximado de 15 mm, sendo a formação e o destacamento das gotas metálicas ocorridas ainda dentro do bocal constritor. Entretanto, foi verificado que as gotas metálicas, destacando-se em voo livre somente pela ação do fluxo de gás e pela força da gravidade, apresentaram uma transferência regular, como mostra a Figura 3.

Foi constatado que a tensão no arame é dependente do comprimento do mesmo, ou seja, quanto maior a distância entre o arame sólido e a peça, maior é a tensão do mesmo. Isto explica os picos de tensão que aparecem no oscilograma de tensão no arame.

Observa-se que no período de formação de gotas (Figura 4), a taxa de alimentação de arame e a taxa de fusão do mesmo se equilibram. Assim, a distância da extremidade do arame ainda sólido, se mantém constante em relação a peça de trabalho. Durante este período a tensão no arame é um reflexo da tensão do arco Plasma. Na medida em que a gota metálica cresce demasiadamente, a distância entre o arame e a peça de trabalho diminui, até que haja o destacamento da mesma – período de destacamento. Todavia, devido a esta aproximação, a tensão no arame cai relativamente. Após o destacamento da gota, o comprimento do arame diminui subitamente, conseqüentemente a distância entre o mesmo e a peça aumenta, acarretando no aumento da tensão sobre o arame – período inicial. Com o avanço do arame esta tensão decresce até que o mesmo atinja a região mais quente do arco, onde as taxas de fusão e alimentação do arame se igualam e o mesmo entre novamente no período de formação de gotas.

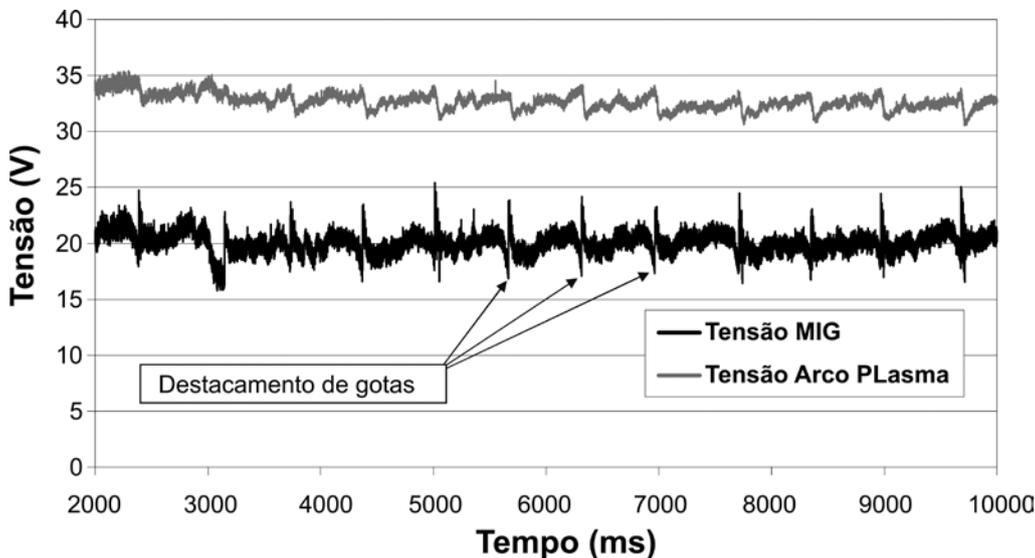


Figura 3 - Oscilograma da tensão do arame eletrodo e do arco Plasma

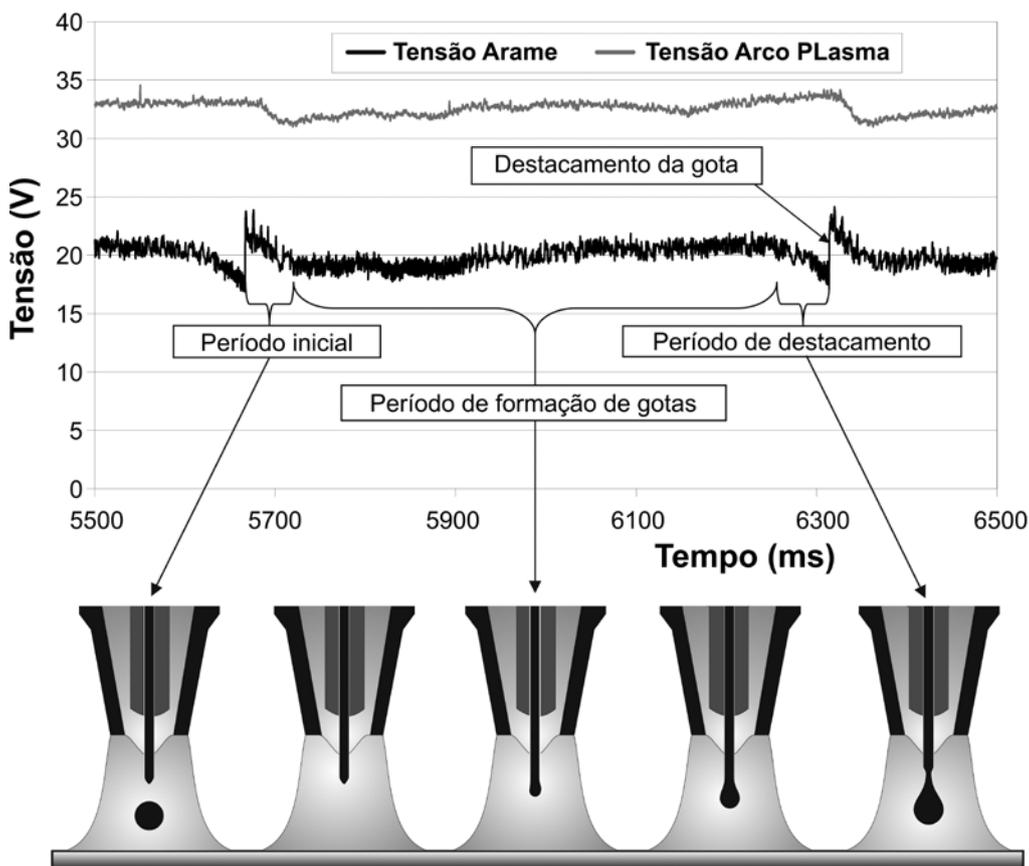


Figura 4 – Períodos da formação e destacamento das gotas metálicas

Analisando o comportamento da tensão do arco Plasma, através dos oscilogramas de tensão das Figuras 3 e 4, pode-se perceber que a mesma sofre influências devido ao destacamento das gotas metálicas. Presume-se que a presença da gota metálica dentro da coluna de arco Plasma deve aumentar a

resistência elétrica do mesmo, tendo em vista que a presença da gota metálica na coluna de arco promove um estreitamento da coluna de arco aumentando a resistência elétrica do mesmo.

A Figura 5 mostra o aspecto do cordão de solda realizado com o arame de alumínio ER4043.

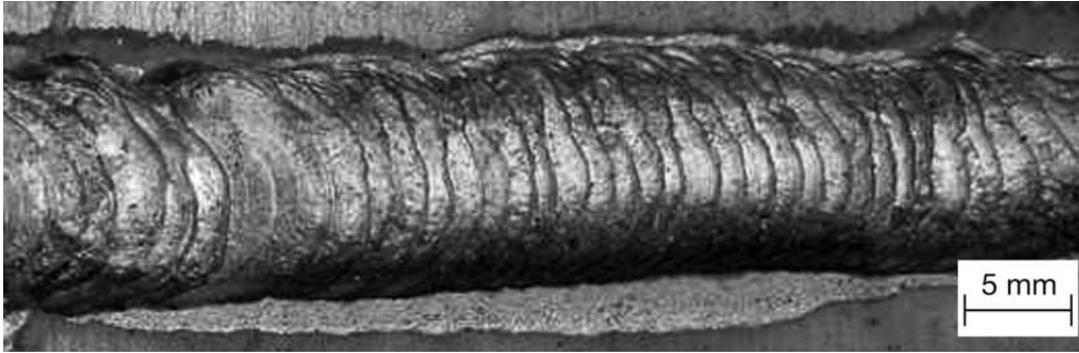


Figura 5 – Cordão de solda realizado com arame de alumínio. Formação e destacamento das gotas ocorrendo dentro do bocal constritor

Incrementos na velocidade de avanço do arame foram experimentadas na tentativa de aumentar o comprimento do arame eletrodo. Contudo, em situações onde o arame não se encontra alinhado concentricamente ao eletrodo Plasma, torna-se praticamente impossível estabelecer uma situação de estabilidade, dado ao fato do arame dirigir-se para a periferia do arco Plasma, perdendo assim sua capacidade de fusão e conseqüentemente extinguindo o arco devido ao toque na peça de trabalho.

Já em condições favoráveis, onde o arame encontra-se alinhado concentricamente ao eletrodo Plasma, constatou-se que o mesmo também apresenta um comportamento instável. Neste caso o problema é ocasionado pelas características de condução térmica e ductilidade do alumínio. Quando o comprimento do eletrodo de alumínio se torna consideravelmente maior, este se torna extremamente maleável devido ao seu aquecimento provocado pela coluna de arco Plasma. Nestas condições o arame eletrodo apresenta um aspecto incandescente, semelhante a um filamento. Desta forma, o arame eletrodo não permanece mais concêntrico ao arco Plasma, mas num

movimento desordenado. Desta forma a taxa de fusão do arame eletrodo torna-se inconstante, causando oscilações no seu comprimento e conseqüentemente instabilidades do processo (Figura. 6), além do depósito sobre a chapa não apresentar uma geometria do cordão regular (Figura. 7).

Isto, não ocorre quando se tem corrente no eletrodo MIG, pelo fato de se ter um arco híbrido, onde atuam as forças eletromagnéticas que contribuem para a transferência metálica. Desta forma, mesmo em situações onde o arame MIG não se encontre concentricamente alinhado ao eletrodo Plasma, a coluna de arco assume uma geometria curva de modo a acompanhar o arame.

Nos ensaios com arame de aço carbono (ER70S-6), os mesmos problemas de alinhamento ocorridos com o arame de alumínio também se fizeram presentes. Contudo, uma vez solucionado este problema, conseguiu-se, para os valores de corrente Plasma entre 80A e 160A, um comprimento do arame eletrodo de aproximadamente 23 mm. O critério para a determinação do comprimento do eletrodo foi o comprimento do mesmo no período de formação das gotas. O arame

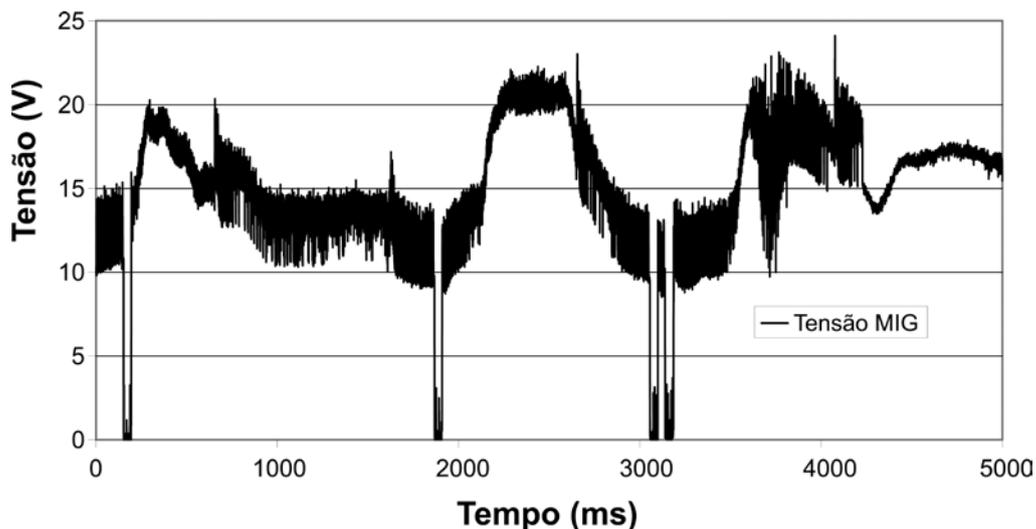


Figura 6 – Oscilograma de tensão no arame

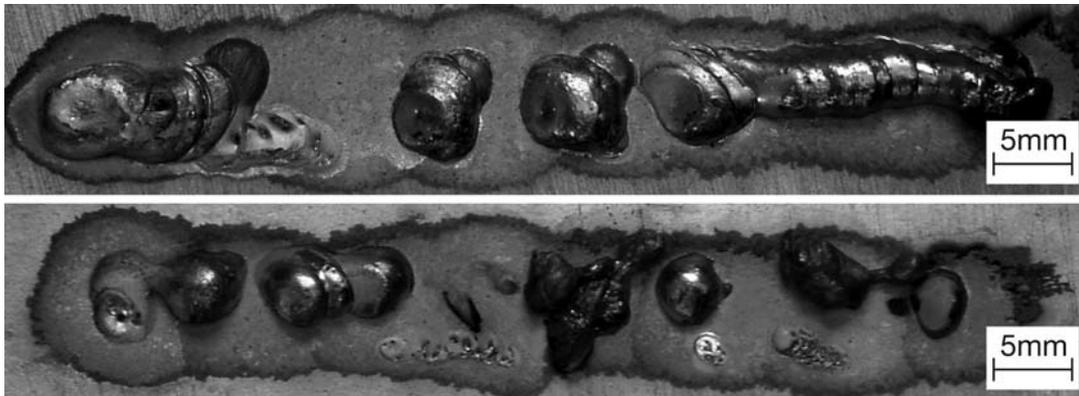


Figura 7 – Cordão de solda realizado com arame de alumínio.
Instabilidades ocasionadas pelo incremento na velocidade de avanço do arame

de aço carbono, diferentemente do arame de alumínio, não apresentou instabilidades causadas pelo aquecimento do eletrodo por exposição ao arco Plasma.

A Figura 8 mostra as velocidades de avanço de arame obtidas para cada corrente valor de corrente Plasma.

Fazendo-se a regressão linear dos pontos, obtém-se a Equação 6, que relaciona a velocidade de avanço do arame e a corrente Plasma.

$$V_a = 0,016 * I_{Plasma} + 1,2 \quad (6)$$

Uma análise qualitativa mostrou que a transferência metálica para o arame de aço carbono ocorreu de forma regular, mesmo estando o arame eletrodo com um comprimento de 23 mm. A Figura 9 mostra os oscilogramas de tensão no arame MIG, onde é possível observar o destacamento das

gotas. Nota-se que para este comprimento de eletrodo, a gota metálica atinge a peça antes de destacar-se, ocorrendo num breve intervalo de tempo o curto circuito entre o arame e a peça de trabalho. Estes curtos circuitos apresentaram uma duração média de vinte milissegundos, não sendo tempo suficiente para que ocorra extinção do arco Plasma.

A Figura 9 mostra que na medida em que o valor da corrente Plasma aumenta a frequência de destacamento das gotas aumentam. Como já era de se esperar, isto ocorre em função do tamanho de gota ser constante, em decorrência da tensão superficial do arame e a força da gravidade, principais forças envolvidas no destacamento das gotas metálicas, permanecerem constantes durante todo o processo. Assim, a frequência de destacamento aumenta com a corrente em virtude da gota metálica atingir o seu tamanho de destacamento num menor espaço de tempo, devido ao maior aporte de calor fornecido pelo arco Plasma.

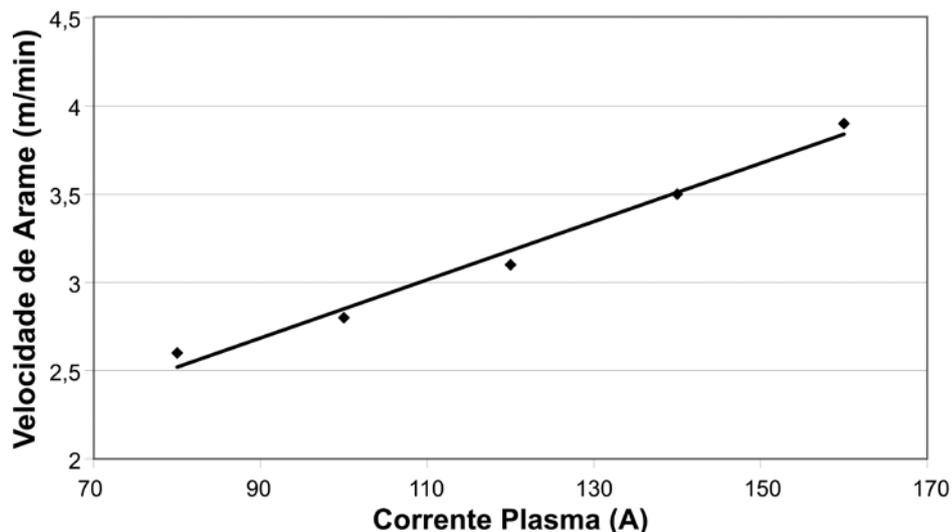


Figura 8 – Velocidade de avanço de arame X corrente Plasma. Arame de aço carbono (ER70S-6), Ø 1,2mm

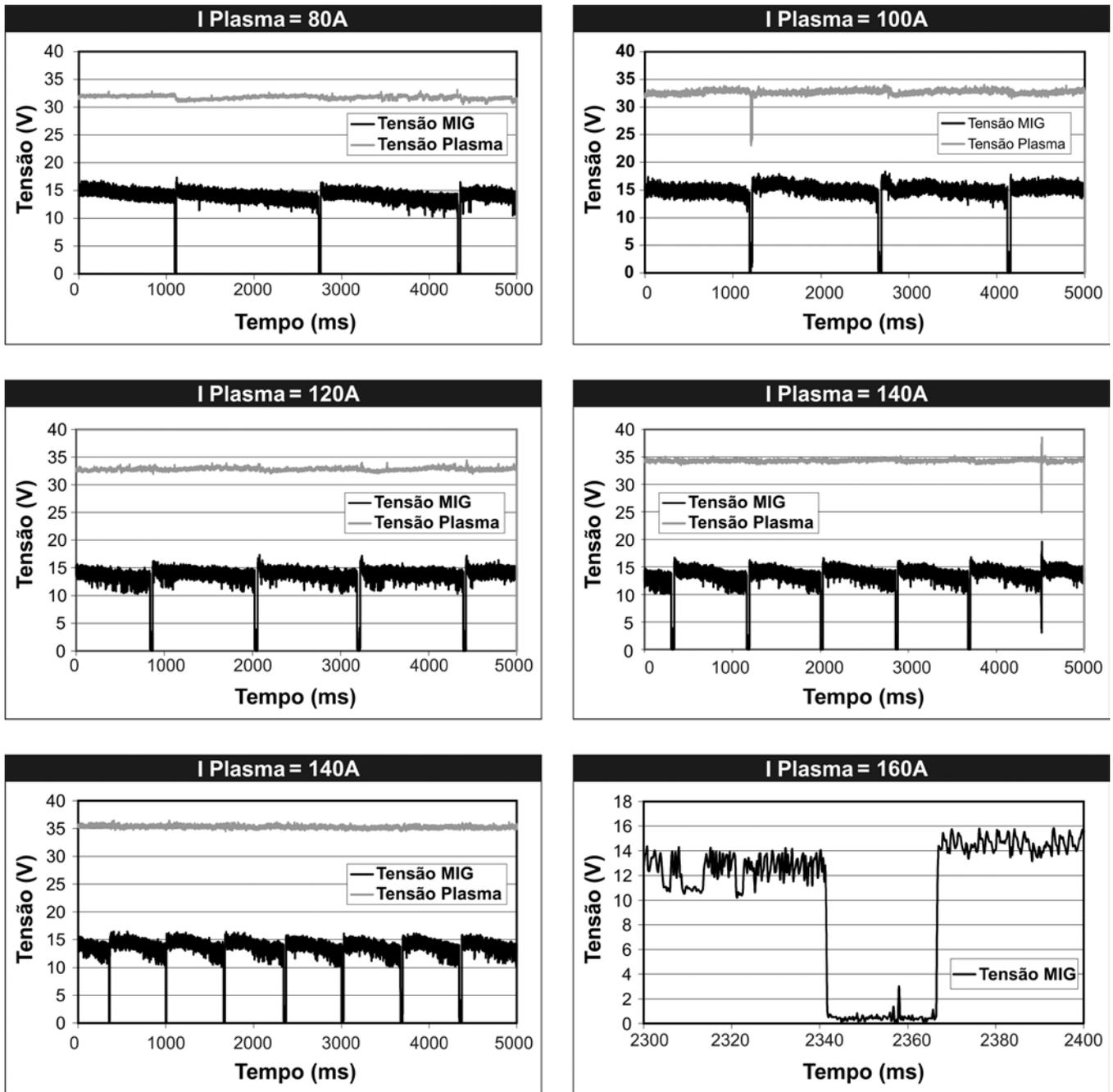


Figura 9 – Oscilogramas das tensões no arame MIG

A Figura 10 mostra os cordões obtidos nos ensaios realizados com o arame de aço carbono, para os valores de corrente plasma igual a 80 A e 140 A.

4 . Conclusões

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o arco Plasma atuando exclusivamente na tocha de soldagem do processo híbrido Plasma-MIG, possui capacidade

de fusão suficiente para fundir o arame MIG de alumínio e de aço carbono. Contudo, para o arame de alumínio não foi possível atingir uma condição de estabilidade do processo onde haja uma transferência metálica regular com um comprimento do arame eletrodo adequado, pois na medida em que o comprimento do arame eletrodo aumenta, o mesmo, em virtude de suas próprias características, se mostra de forma extremamente instável.

No caso do arame de aço carbono, conseguiu-se uma transferência metálica regular com o comprimento

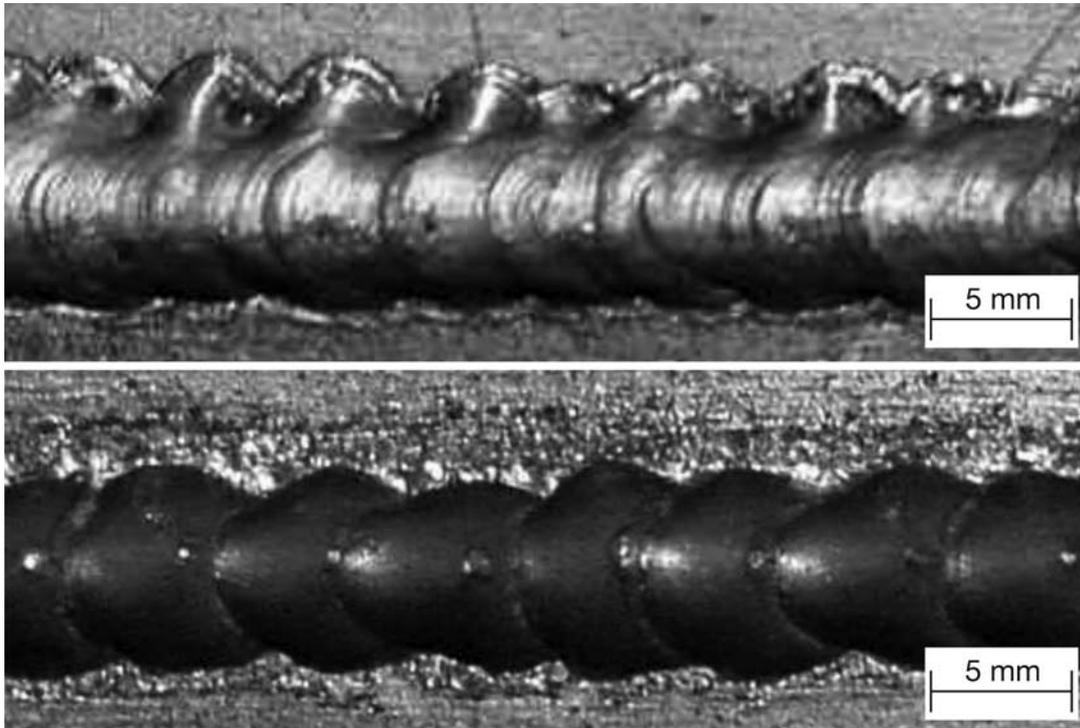


Figura 10 – Cordões de solda realizados com arame de aço carbono

do arame eletrodo adequado. Contudo, isto só foi possível depois de solucionado os problemas de alinhamento concêntrico do arame eletrodo ao eletrodo anular Plasma.

Supõe-se que estes problemas de alinhamento do arame não ocorram no processo Plasma-MIG uma vez que o arco híbrido formado logo abaixo da extremidade do arame eletrodo, atue como um “caminho” mais fácil para o arco Plasma.

A relação entre a velocidade de avanço de arame e as correntes Plasma e MIG proposta por Oliveira para o arame de aço carbono não permaneceu válida para o caso onde somente o arco Plasma atuou como fonte de calor na fusão do arame. Já para o arame de alumínio, a relação proposta forneceu um comprimento de eletrodo muito pequeno, tornando inadequado para a estabilidade do processo. Em ambos casos é coerente admitir que estas relações não sejam válidas, uma vez que todas as condições de fusão do arame mudam drasticamente.

No desenvolver deste trabalho, percebeu-se que os principais fatores responsáveis pelo destacamento da gota metálica são inerentes ao processo, uma vez que não se pode atuar na força da gravidade e na tensão superficial do arame. Sendo assim, constatou-se, para o arame de aço carbono, que a frequência de destacamento das gotas metálicas varia conforme a corrente do arco Plasma.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a toda equipe do LABSOLDA.

6. Referências Bibliográficas

- [1] ESSERS, W. G; WILLEMS, G. A. M; BUELENS, J. J. C; VAN GOMPEL, M. R. M. Plasma-MIG welding – a new torch and arc starting method. *Metal Construction*, January 1981, p. 36 – 42..
- [2] OLIVEIRA, M. A. Progressos no desenvolvimento do processo híbrido Plasma-MIG para operações de soldagem e brasagem. Tese de Doutorado. UFSC, Janeiro de 2006.
- [3] DUTRA, J. C. Procedimento computadorizado de determinação, seleção e controle de variáveis na soldagem MIG/MAG. Tese de Doutorado. Pós-graduação em engenharia mecânica – UFSC. Agosto de 1989.
- [4] SMATI, Z. Automatic pulsed MIG welding. *Metal Construction*, January 1986, p 38R – 44R.