

INFLUÊNCIA DAS CORRENTES DE SOLDAGEM DO PROCESSO PLASMA-MIG SOBRE A GEOMETRIA DO CORDÃO DE SOLDA

André Alves de Resende, aaresende@gmail.com¹

Valtair Antonio Ferraresi, valtairf@mecanica.ufu.br¹

Américo Scotti, ascotti@mecanica.ufu.br¹

Jair Carlos Dutra, jdutra@labsolda.ufsc.br²

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro de Desenvolvimento de Processos de Soldagem, Bloco 10, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP 38400 902, Uberlândia-MG;

² Universidade Federal de Santa Catarina, LABSOLDA, Florianópolis – SC.

Resumo: O processo Plasma-MIG consiste basicamente da combinação dos processos Plasma e MIG/MAG em uma única tocha. Com essa associação, se consegue unir vantagens individuais de cada processo. O principal benefício consiste na independência entre o aporte de energia imposto pelo processo e o material adicionado, resultando em uma maior facilidade em atuar sobre a geometria do cordão de solda. Na literatura, existem poucas informações relacionadas com o processo, além de que a maioria remota principalmente das décadas de 70 e 80, quando a tecnologia disponível não foi capaz de viabilizar o processo para a indústria da época. No entanto, nos últimos anos, a difusão das novas fontes eletrônicas utilizadas em soldagem, contribuiu na retomada do interesse pelo processo Plasma-MIG, devido à sua grande potencialidade. Justificando, desta forma, o desenvolvimento de novas tecnologias e conhecimentos acerca do processo, neste contexto, este trabalho objetivou ampliar os estudos relacionados à influência dos balanços das correntes Plasma e MIG sobre a geometria do cordão de solda, com a utilização de fontes modernas. A partir dos resultados obtidos foi observado que o processo Plasma-MIG tem potencialidade quando se deseja atuar sobre a geometria do cordão de solda, e que incrementos na corrente Plasma faz aumentar a molhabilidade, favorecendo o aumento na largura, redução no reforço, penetração e área fundida.

Palavras-chave: Soldagem, Plasma-MIG; Geometria; Arco Híbrido.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com os avanços de novas tecnologias disponíveis para o desenvolvimento de processos de soldagem e a procura por processos com maior capacidade de produção e produtividade, surgiram os chamados “Processos Híbridos de Soldagem”, com destaque ao MIG-Laser e Plasma-MIG. Trata-se da associação física de dois processos, com o intuito de aproveitar as características mais atrativas de cada (Reis e Scotti, 2007).

De acordo com Scotti (2008), como atrativo, o Processo MIG/MAG oferece uma alta taxa de deposição, a possibilidade de adição de material com diferentes composições químicas. Entretanto, no processo MIG/MAG a penetração é relativamente pequena, exigindo normalmente a confecção de chanfros. Esta desvantagem é superada pela adição de material. Porém, como nos outros processos com eletrodos consumíveis, a corrente de soldagem está estreitamente interligada com a taxa de alimentação de metal de adição, para uma dada condição de soldagem (gás de proteção, comprimento e tipo de eletrodo, etc.). Este fato traduz a forte dependência existente entre os aportes de energia e de material nesses processos, ou seja, há pouca margem para se aumentar a corrente sem também alterar a quantidade de material a ser depositado. Como a geometria de um cordão de solda depende da energia imposta, e também da quantidade de material depositado por unidade de comprimento da solda, uma das principais conseqüências desta dependência é a dificuldade em se controlar livremente a geometria do cordão de solda. O Plasma por sua vez, é um processo com arco bastante estável, e no modo com alimentação de arame, não há estrita dependência entre seu arco e o material alimentado.

O Processo de Soldagem Plasma-MIG pode ser definido como a combinação dos processos a Plasma e MIG/MAG em uma única tocha, onde o metal de adição é alimentado pelo orifício do bocal plasma. O processo pode ser usado tanto para soldagem quanto para revestimento (Harris, 1994). Ele une as vantagens de alta produtividade dos processos de soldagem a arco aos menores custos dos equipamentos, proporcionados pelas possibilidades de combinação entre as fontes de corrente comercialmente disponíveis para a soldagem a Plasma e MIG/MAG (Mattles e Kohler, 2006).

A Fig. (1) mostra de forma esquemática uma tocha de soldagem do processo Plasma-MIG, destacando os principais componentes. O fato de o eletrodo do processo Plasma não ser de tungstênio permite que o gás de Plasma não seja necessariamente inerte, podendo ser usada a polaridade positiva, o que garante maior estabilidade na porção MIG/MAG do processo. Naturalmente, o bocal constritor de plasma passa a ter um orifício maior que do processo convencional, para permitir a passagem, também de forma concêntrica, do arame, o que resulta num arco menos concentrado.

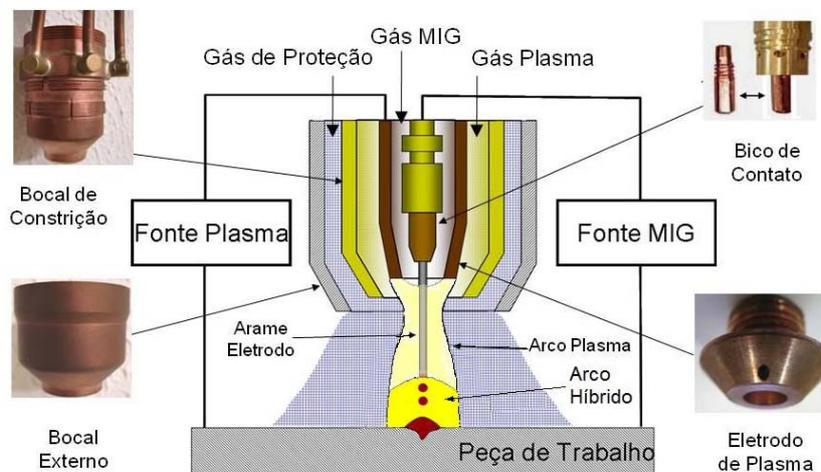


Figura 1 - Desenho esquemático de uma tocha para soldagem Plasma-MIG, com destaque para os componentes principais (Adaptado de Oliveira, 2006).

Nos processos de soldagem a arco elétrico, a abertura do arco pode ser conseguida de forma artificial, basicamente de três maneiras: alto diferencial de tensão, alta frequência ou curto circuito. Um alto diferencial de tensão é inviável, pois oferece riscos aos operadores, alta frequência é extremamente danosa para os equipamentos eletrônicos e a abertura por curto circuito, gera uma apreciável quantidade de respingos, que podem alcançar partes vitais da tocha, danificando a mesma.

Tendo em vista as dificuldades apresentadas anteriormente, no início da década de 80 foi proposto por Essers et al (1981), um novo método de acendimento do arco, chamado "Soft Start". Nesta forma de acendimento do arco, o arame-eletrodo é utilizado para gerar um arco de baixa intensidade, através do qual ocorre a formação do arco plasma (Oliveira, 2006). Tal procedimento ocorre basicamente em seis etapas (Fig. 2), a saber:

Etapa 1: As duas fontes apresentam tensão em vazio e o arame-eletrodo da porção MIG/MAG do processo é alimentado em direção à peça.

Etapa 2: Ao toque do arame na peça, o movimento do mesmo é interrompido e a fonte gera um arco de baixa intensidade de corrente (em torno de 35 A), sem fusão considerável do arame.

Etapa 3: O alimentador do arame inverte a rotação e o arame retrocede em direção à tocha de soldagem, trazendo progressivamente o arco para dentro da tocha, atingido as proximidades do eletrodo do Plasma.

Etapa 4: Como a fonte Plasma já possui tensão em vazio, ocorre o acendimento imediato do arco-plasma, devido à atmosfera ionizada pelo arco MIG/MAG de baixa potência.

Etapa 5: Após o acendimento do arco Plasma, o arco MIG/MAG é extinto (corte de energia) com o objetivo de impedir a transferência metálica e de proporcionar um pré-aquecimento no início da junta somente com a energia do arco-plasma.

Etapa 6: O arame volta a se deslocar em direção à peça de trabalho e, como a fonte MIG/MAG apresenta novamente tensão em vazio e o meio está ionizado pelo arco Plasma, ocorre o re-acendimento espontâneo do arco MIG/MAG, sem necessidade de curto-circuito (isso garante um início de cordão de solda livre de respingos), mas já com a corrente regulada para a operação de soldagem.

Para entender os mecanismos com que a energia térmica é transferida à peça e os mecanismos que governam a penetração no processo Plasma-MIG, Essers e Walter (1981) utilizaram a técnica de calorimetria e observaram que existem diferenças entre as energias absorvidas pela peça para os processos MIG/MAG e Plasma-MIG. As diferenças foram explicadas pelo fato da existência de dois ânodos no processo Plasma-MIG, sendo um a extremidade do eletrodo do MIG/MAG e outra do eletrodo Plasma, que neste caso, parte do calor gerado no eletrodo Plasma é absorvida pelo sistema de refrigeração. Fato que leva a variação no perfil do cordão de solda quando comparados. Jelmorini et al (1975) avaliaram o perfil do cordão de solda do processo Plasma-MIG, e mostraram que a presença da corrente Plasma modifica o perfil do mesmo no sentido de aumentar a largura e promover uma melhor molhabilidade.

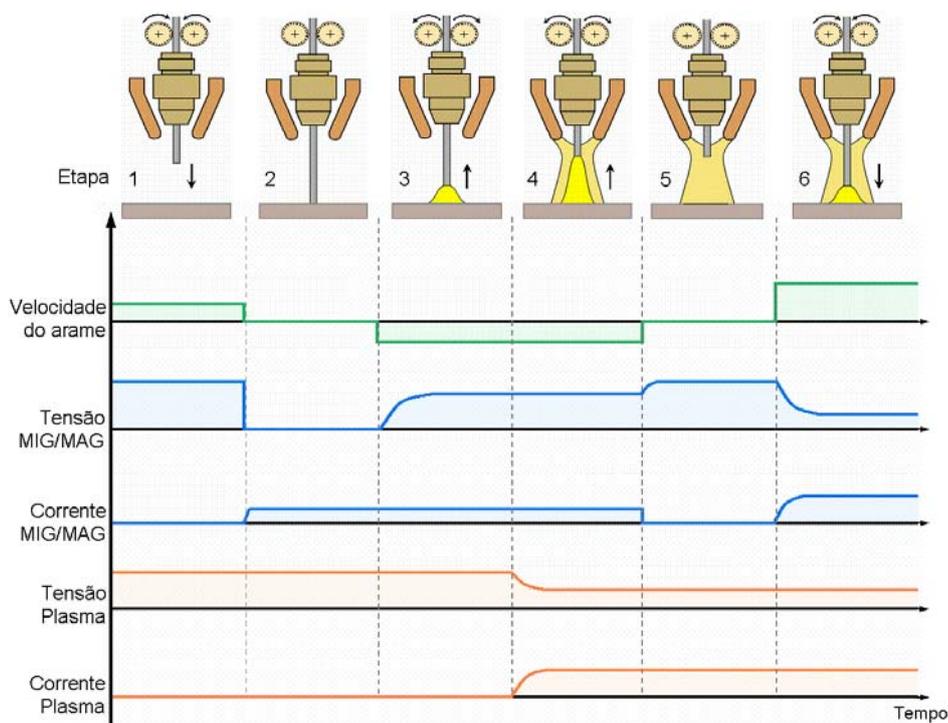


Figura 2 - Esquema de funcionamento do “Soft Start”, (Adaptado de Oliveira (2006) e Reis e Scotti (2007)).

Pelo exposto, parece ser consenso que a associação entre as correntes do Plasma e do MIG/MAG pode oferecer a possibilidade de atuar sobre a geometria do cordão de solda ao variar o balanço entre as correntes. As explicações acima citadas da literatura sobre a influência das correntes do Plasma e do MIG sobre a geometria do cordão, ainda são vagas e pouco quantificadas, além do que, remontam principalmente das décadas de 70 e 80, quando a tecnologia disponível não foi capaz de viabilizar o processo para a indústria da época, além do que, a concepção da tocha utilizada nessa época era diferente, o eletrodo Plasma era pontiagudo resultando num arco constricto, diferente do eletrodo anular utilizado atualmente, que produz um arco menos concentrado. No entanto, Oliveira (2006) aponta que nos últimos anos, a difusão das novas fontes eletrônicas utilizadas em soldagem, que permitem um melhor controle na fusão e transferência de material, através da utilização de diferentes formas de onda de corrente, contribuiu de forma decisiva na retomada do interesse pelo processo Plasma-MIG, devida a sua grande potencialidade. Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias e conhecimentos acerca do processo. Neste contexto, este trabalho objetiva ampliar os estudos relacionados à influência dos balanços do circuito Plasma e do MIG/MAG sobre a geometria do cordão de solda.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Um total de nove experimentos foram realizados para avaliar a influência das correntes do processo Plasma-MIG na geometria do cordão de solda. Na realização de tais experimentos, foram utilizadas uma tocha comercial para soldagem Plasma-MIG refrigerada a água e duas fontes eletrônicas multiprocessado do tipo chaveada no secundário. Uma das fontes foi programada para trabalhar no modo MIG/MAG e outra no modo Plasma, ambas com característica estática em corrente constante, para se garantir os valores de corrente em todos os experimentos comparativos. Neste modo, regulam-se os valores das correntes e da velocidade de alimentação, sendo as tensões resultantes da carga (caracterizada por cada arco). Para a operação de abertura do arco, foi utilizado o procedimento ‘Soft Start’ (utilizado para iniciar o arco híbrido do processo Plasma-MIG).

Como o valor da velocidade de alimentação varia com a corrente Plasma e, principalmente, com a corrente MIG, a velocidade de soldagem também foi ajustada para cada experimento. A velocidade de alimentação foi obtida de forma a obter um comprimento de arco aproximadamente constante para a mesma relação Velocidade de Soldagem/Velocidade de Alimentação. Esse ajuste foi realizado aumentando-se gradativamente a velocidade de alimentação até que o arame tocasse na poça gerando curtos-circuitos, a partir desse ponto, a velocidade de alimentação era então reduzida suavemente até que os curtos-circuitos deixassem de existir, tendo uma transferência goticular com um comprimento de arco pequeno e aproximadamente constante em todos os ensaios.

A bancada experimental está apresentada na Fig. (3). A tocha Plasma-MIG é acoplada às fontes que normalmente são utilizadas para os processos que o originaram (Plasma e MIG/MAG), necessitando apenas de um comando único para as duas fontes. Uma interface microprocessada que faz a seqüência de abertura do arco (Soft Start) e comandam os parâmetros pré-regulados para o processo, um alimentador de arame eletrodo, de um suporte para os corpos de prova e dos sistemas de aquisição dos sinais elétricos.

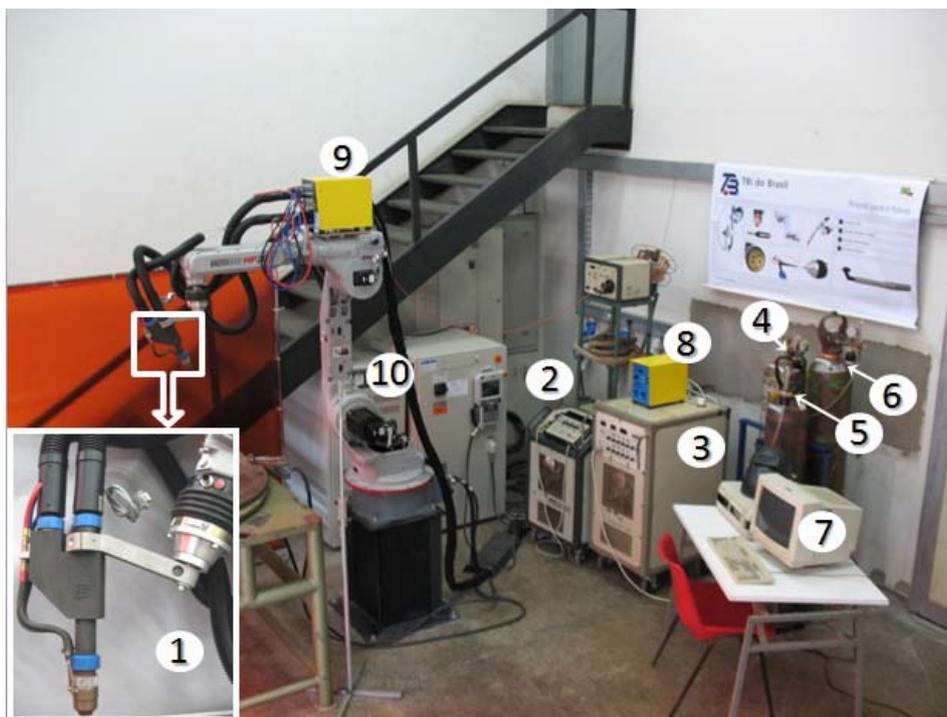


Figura 3 – Fotografia da bancada experimental utilizada.

Onde: 1 - Tocha Plasma-MIG; 2 - Fonte MIG; 3 - Fonte Plasma; 4 - Gás Plasma; 5 - Gás MIG; 6 - Gás de Proteção Externo; 7 - Sistema de controle e aquisição de sinais elétricos; 8 - Interface responsável pelo controle do cabeçote alimentador; 9 - Cabeçote alimentador; 10 - Robô.

As distâncias de posicionamento dos principais elementos da tocha estão apresentadas no esquema da Fig. (4), onde DTP é a distância da tocha a peça, RP o recuo do eletrodo Plasma e RM o recuo do bico de contato MIG. Os valores de RP e RM são fixos e dependem da característica de construção da tocha que, correspondem, respectivamente a 9 e 18 mm. Já o valor de DTP pode ser variado e para este trabalho, foi utilizado 9 mm, resultando em uma distancia do bico de contato MIG a peça (DBCP) de 27 mm.

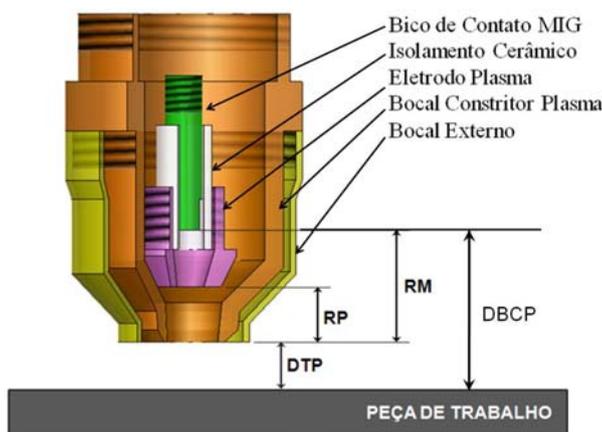


Figura 4 - Vista esquemática do posicionamento dos principais elementos da tocha Plasma-MIG. Onde DTP é a distância da tocha a peça, RP o recuo do eletrodo Plasma e RM o recuo do bico de contato MIG

Para efeito de comparação, todos os ensaios foram realizados como simples deposição sobre chapa (“bead-on-plate”). As chapas de teste foram confeccionadas a partir de chapas de aço carbono ABNT 1020 nas dimensões 300 x 50,8 x 6,35 mm. O arame-eletrodo utilizado nos ensaios foi da classe AWS ER70S-6, de diâmetro 1,2 mm. Ar+4%CO₂ como gás MIG a 5 l/min, Ar como gás Plasma a 5 l/min e Ar como gás de Proteção a 15 l/min. Optou-se por trabalhar com valores de corrente MIG/MAG acima da corrente de transição globular-goticular, em três níveis (200, 240 e 280 A). Para a corrente Plasma, também foram avaliados três níveis (0, 60 e 100 A). As ensaios atenderam a uma combinação das correntes, como mostra a Tab. (1). A velocidade de soldagem foi regulada para manter a mesma

relação velocidade de soldagem pela velocidade de alimentação, com o intuito de se obter uma mesma quantidade de material depositado por unidade de comprimento e comparar o efeito das variáveis sobre os perfis dos cordões de solda.

Os ensaios 1, 4 e 7 foram realizados sem corrente passando pelo circuito Plasma, ou seja, se trata de soldagem MIG com corrente constante utilizando a tocha Plasma-MIG. Estes ensaios são o ponto de referência para verificar a influência da corrente plasma no processo e principalmente na geometria do cordão. Estes ensaios em particular, foram realizados com a fonte Plasma desligada, conseqüentemente o procedimento 'Soft Start' não foi utilizado e os parâmetros MIG foram ajustados diretamente no painel de controle da Fonte. Tal procedimento foi executado para garantir que a corrente MIG circulasse somente através do arco MIG, uma vez que se o procedimento 'Soft Start' for utilizado com a corrente Plasma ajustada em 0 A (zero A), a fonte Plasma permanece com tensão em vazio durante a soldagem e uma pequena parcela da corrente MIG circula através do circuito Plasma. Os demais testes foram realizados com corrente passando pelo circuito Plasma e com a utilização do 'Soft Start'. O efeito sobre a geometria foi estudado por meio de técnicas convencionais de macrografia, sobre seções transversais tiradas das placas de teste soldadas (cordão de 250 mm). Para cada placa de teste, foram cortadas duas seções transversais, uma aproximadamente no meio e uma próxima ao final do cordão (20 mm da extremidade).

Para aquisição de corrente utilizou-se, como transdutor/condicionador de sinal, um sensor Hall e para aquisição da tensão de soldagem um divisor de tensão, que fornecem como saída, um sinal de tensão na faixa de ± 10 V, que corresponde exatamente à faixa de medição da placa de aquisição da National Instruments Modelo USB 6009 com uma resolução de 14 bits. Para uma faixa de medição do sensor Hall de ± 500 A, resulta numa resolução de medição, calculada pela razão (faixa de medição do sensor hall/resolução da placa) de 0,06 A para a corrente. De maneira similar, para uma faixa de medição de ± 100 V do divisor de tensão, resulta numa resolução de medição de 0,01 V para a tensão. As medidas dos parâmetros geométricos foram realizadas através de imagens digitais com resolução de 20 pixels por milímetros, o que resulta numa resolução de medição de 0,05 mm para os parâmetros geométricos.

Tabela 1. Parâmetros de regulagem para os Testes

Teste	I_{MIG} [A]	I_{PLASMA} [A]	Vsold [m/min]	Valim [m/min]	(Vsold/Valim)*10 ²
	200	0	0,30	5,0	6,0
2	200	60	0,42	7,1	5,9
3	200	100	0,45	7,4	6,1
4	240	0	0,44	7,3	6,0
5	240	60	0,65	10,8	6,0
6	240	100	0,67	11,2	5,9
7	280	0	0,53	8,8	6,0
8	280	60	0,77	12,7	6,0
9	280	100	0,80	13,0	6,1

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tab. (2) têm-se os valores de tensão e corrente monitorados durante os testes para os circuitos Plasma e MIG com seus respectivos desvios padrões, e na Tab. (3), seguem as fotografias das seções transversais de cada um dos corpos de prova, para efeito de escala, a espessura da chapa está visível e corresponde à 6,35 mm.

Tabela 2. Valores médios dos sinais de corrente e tensão monitorados para os circuitos Plasma e MIG.

Teste	I_{MIG} [A]	U_{MIG} [V]	I_{PLASMA} [A]	U_{PLASMA} [V]
1	200,7 ^{±4,0}	30,4 ^{±2,0}	*	*
2	202,1 ^{±3,8}	27,6 ^{±3,1}	55,1 ^{±7,6}	37,5 ^{±3,6}
3	201,4 ^{±3,9}	29,6 ^{±2,9}	93,2 ^{±7,7}	33,1 ^{±4,7}
4	240,4 ^{±3,9}	26,7 ^{±1,9}	*	*
5	241,6 ^{±3,7}	27,7 ^{±4,8}	54,8 ^{±5,1}	36,4 ^{±6,7}
6	242,1 ^{±3,8}	22,5 ^{±3,5}	94,2 ^{±7,5}	30,8 ^{±2,1}
7	279,3 ^{±3,9}	28,9 ^{±1,5}	*	*
8	281,5 ^{±3,8}	25,0 ^{±2,4}	55,3 ^{±4,8}	33,4 ^{±2,0}
9	281,1 ^{±3,8}	24,1 ^{±2,0}	94,2 ^{±4,9}	30,8 ^{±2,0}

Obs: Valores mascarados com asterisco (*) correspondem às soldagens com a fonte Plasma desligada.

Para cada corpo de prova, foram realizadas duas secções transversais, uma aproximadamente no meio e uma próxima ao final do cordão. Os valores médios com os respectivos desvios padrões estão apresentados na Tab. (4). Para melhorar a apresentação dos resultados e facilitar a análise do comportamento do processo, esses parâmetros foram dispostos individualmente em forma de gráficos.

Tabela 3. Fotografias das secções transversais de cada corpo de prova. Chapas com 6,35 mm de espessura.

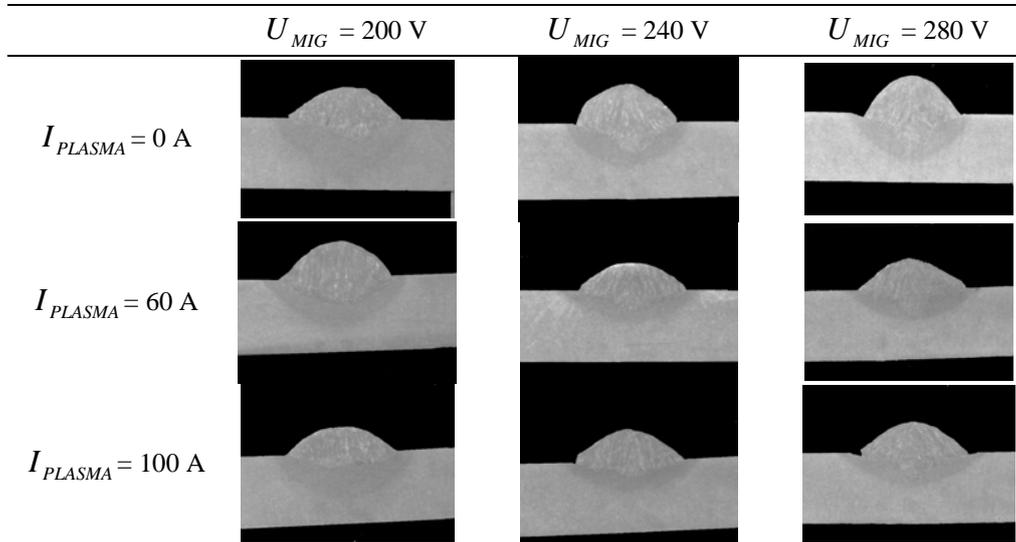


Tabela 4 – Parâmetros geométricos medidos para os cordões de solda.

Teste	Largura [mm]	Reforço [mm]	Penetração [mm]	Área Fundida [mm ²]
1	9,25 ^{±0,10}	2,83 ^{±0,04}	1,66 ^{±0,13}	8,66 ^{±0,23}
2	9,62 ^{±0,16}	2,50 ^{±0,14}	1,41 ^{±0,13}	9,05 ^{±0,61}
3	9,78 ^{±0,11}	2,30 ^{±0,17}	1,14 ^{±0,06}	8,06 ^{±0,39}
4	8,35 ^{±0,35}	2,92 ^{±0,26}	2,60 ^{±0,13}	11,85 ^{±0,49}
5	9,28 ^{±0,11}	2,43 ^{±0,17}	1,73 ^{±0,11}	8,04 ^{±0,65}
6	9,39 ^{±0,31}	2,59 ^{±0,11}	1,48 ^{±0,24}	7,02 ^{±0,37}
7	8,39 ^{±0,12}	3,29 ^{±0,15}	3,00 ^{±0,28}	12,19 ^{±2,41}
8	9,19 ^{±0,08}	2,57 ^{±0,10}	2,23 ^{±0,04}	8,81 ^{±0,62}
9	9,47 ^{±0,16}	2,62 ^{±0,26}	2,18 ^{±0,12}	9,20 ^{±1,48}

Obs: A área fundida e penetração se referem às medidas tomadas na região abaixo da superfície da placa de teste.

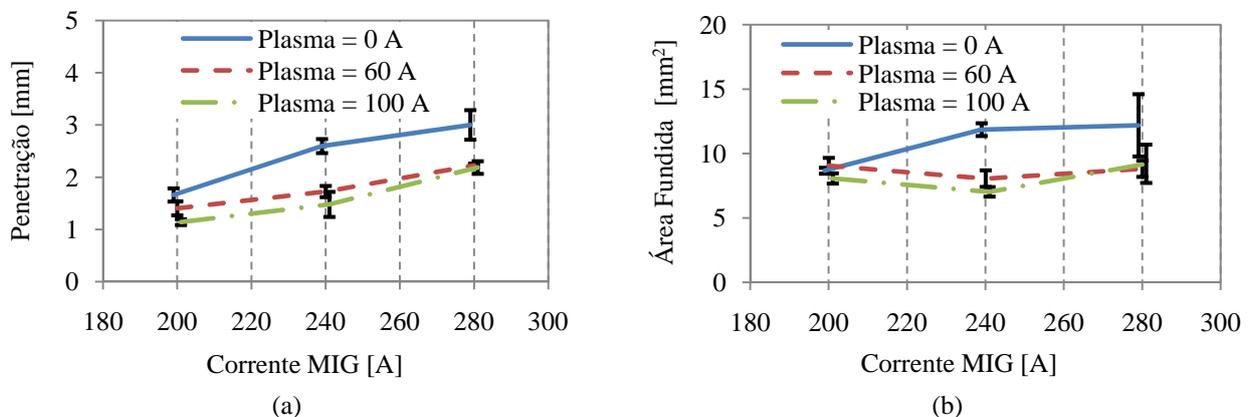


Figura 5 - Penetração (a) e Área Fundida (b) do Cordão de Solda em Função da Corrente MIG para três condições de Corrente Plasma.

A Fig. (5) apresenta a variação da penetração e área fundida com a corrente de soldagem. Pela Fig. (5a), é

observado um aumento na penetração com o aumento da corrente MIG, isso pode ser justificado pelo aumento da pressão que o arco exerce sobre a poça fundida devido a maior concentração dos campos magnéticos. Outro fato, observado por Rodrigues (2007) é que maiores correntes resultam em gotas com maiores velocidades, o que pode ter contribuído para uma maior penetração.

Ainda na Fig. (5a), percebe-se uma tendência clara de reduzir a penetração do cordão de solda ao inserir corrente no circuito Plasma. Como apresentado anteriormente, o arco híbrido possui uma maior área de contato com a peça, conseqüentemente maior a área aquecida, maior a molhabilidade e maior é a largura do cordão. Uma explicação para a diminuição na penetração, é a redução da quantidade de movimento das gotas (massa x velocidade). Como a imposição de corrente no circuito Plasma aumenta consideravelmente o volume do arco híbrido em relação ao arco MIG (Plasma = 0 A), a pressão causada pelos campos magnéticos pode ter reduzida, já que a corrente está menos concentrada, resultando dessa forma em gotas com menores velocidades. Um indicativo para essa redução na concentração da corrente é citado no trabalho de Ton (1975), que por meio de técnicas de espectroscopia óptica, verificou que a maior parte da corrente que passa pelo arame (Corrente MIG), flui através da periferia do arco híbrido.

Essers e Walter (1972) observaram através de técnicas de fotografia a alta velocidade que para valores altos de corrente (acima de 170 A) através do arame tende a rotacionar a ponta do eletrodo, não chegando a caracterizar uma transferência do tipo rotacional. Isto faz com que as gotas sejam transferidas para a poça de fusão de maneira menos concentrada, que por conseqüência pode reduzir a penetração e aumenta a largura do cordão.

Pela Fig. (5b), percebe-se uma tendência clara de reduzir a área fundida do cordão de solda ao inserir corrente no circuito Plasma, observando que se trata da área fundida abaixo da linha que delimita a superfície da chapa, não incluindo a área relativa ao material depositado. Os mecanismos que provocam a redução na área fundida são os mesmos que reduzem a penetração, até mesmo porque são parâmetros geométricos que estão diretamente relacionados.

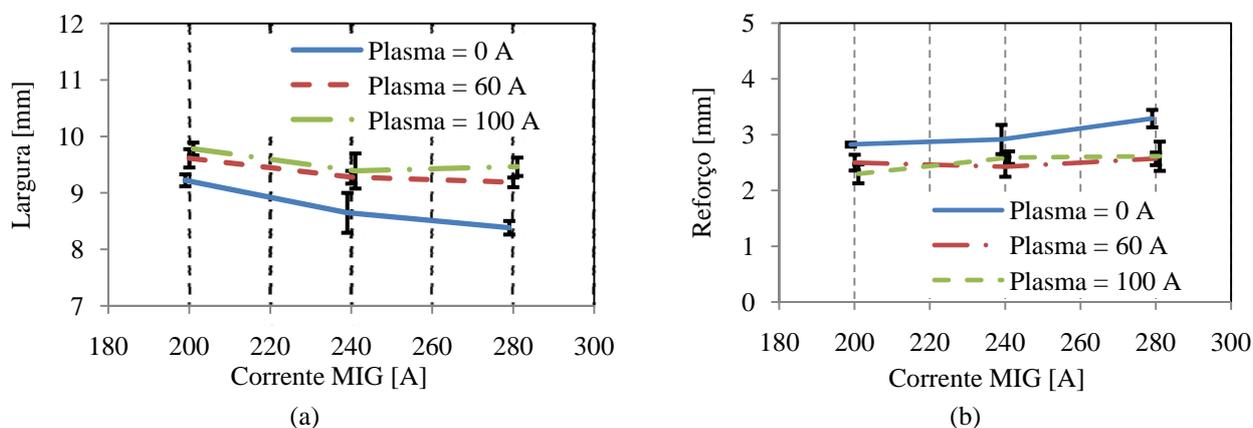


Figura 6 - Largura (a) e Reforço (b) do Cordão de Solda em Função da Corrente MIG para três condições de Corrente Plasma.

A primeira constatação ao observar a Fig. (6a) trata-se da redução da largura do cordão com o aumento da corrente MIG. Como neste trabalho a relação Velocidade de Soldagem/Velocidade de Alimentação foi mantida constante, maiores correntes MIG, implicam em maiores velocidades de soldagem, o que por conseqüência ocasiona em cordões com menores larguras, isto ocorre devido ao menor aquecimento do metal de base (maior reforço do cordão (Fig. 6b)).

Ainda pela Fig. (6a), percebe-se uma tendência de aumentar a largura do cordão de solda ao inserir corrente no circuito Plasma. Esse efeito pode ser atribuído ao aumento da área de contato do arco híbrido com a peça em comparação ao arco MIG, que por conseqüência aumenta a área da superfície da chapa aquecida, aumentando a molhabilidade da mesma, resultando em cordões mais largos. Por outro lado, um aumento na corrente Plasma de 60 A para 100 A, não provocou alteração significativa na largura. Provavelmente o efeito foi pequeno, porque o volume de gás ionizado, correspondente ao arco híbrido, já é relativamente grande e um incremento de 40 A de corrente Plasma não é capaz de proporcionar um aumento significativo no volume do arco híbrido, e conseqüentemente na área de contato do mesmo com a peça. Sendo assim, a maior parte do calor que é inserido com o incremento da corrente Plasma, é perdido para o ambiente, reduzindo a contribuição desse aumento de corrente na fusão da chapa.

Pela análise da Fig. (6b), ocorre também, uma tendência de redução do reforço do cordão de solda ao inserir corrente no circuito Plasma. Essa também é uma conseqüência direta do aumento da largura, se esta aumenta para um mesmo volume de material depositado, obrigatoriamente o reforço deve diminuir.

A Fig. (7) mostra a diluição e velocidade de alimentação em função da corrente de soldagem. A Fig. (7a), apresenta uma tendência de queda na diluição (que indica o quanto o material de base participa na formação do cordão de solda) quando ocorre passagem de corrente através do circuito Plasma. Este resultado somado à tendência de aumento da molhabilidade do cordão, que foi apresentado anteriormente, aponta uma potencialidade do processo Plasma-MIG de ser aplicado em operações de revestimentos.

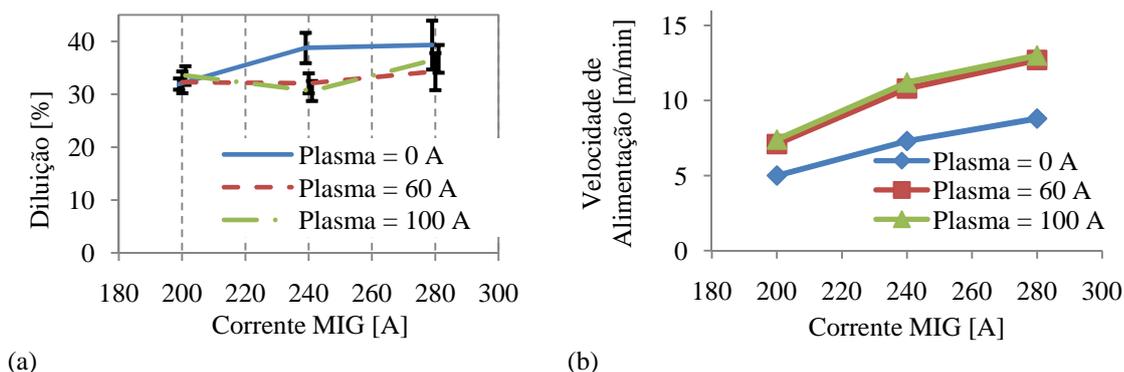


Figura 7 - (a) Diluição em Função da Corrente MIG para três condições de Corrente Plasma. (b) Velocidade de alimentação de arame em Função da Corrente MIG para três condições de Corrente Plasma.

Por intermédio da Fig. (7b), observa-se uma contribuição significativa do arco Plasma na fusão do eletrodo. Para uma corrente Plasma de 60 A, ocorreu um ganho de quase 3 m/min na velocidade de alimentação do arame. Este resultado foi similar ao obtido por Oliveira (2006) soldando com Plasma-MIG pulsado.

Por outro lado, o aumento da corrente Plasma de 60 A para 100 A não provocou um incremento significativo na velocidade de alimentação. Essa tendência também coincide com a observada por Oliveira (2006), que afirma que o incremento na taxa de fusão do arame causada pelo arco Plasma depende, da capacidade do arame eletrodo absorver a energia disponibilizada pelo arco Plasma, e que essa absorção ocorre pelos três mecanismos de transferência de calor: radiação, convecção e condução. Como arames de aço carbono possuem condutividade térmica relativamente baixa, a utilização de altos valores de corrente no circuito Plasma pode não ser uma boa opção se o objetivo for aumentar a taxa de consumo de eletrodo.

4. CONCLUSÕES

Para as condições e parâmetros de soldagem utilizados neste trabalho, pode-se concluir que:

- Diferentes combinações entre as correntes do Plasma e do MIG produzem cordões com diferentes dimensões, que seguem a uma tendência de variação, tais como: um aumento na corrente Plasma diminui a penetração; um aumento na corrente Plasma aumenta a largura; um aumento na corrente Plasma diminui o reforço; um aumento na corrente Plasma diminui a área fundida. Isto aponta que o processo Plasma-MIG pode ser adequado em operações que exijam um melhor controle sobre a geometria do cordão;

- A presença da corrente Plasma foi capaz de reduzir a diluição, indicando que o processo possui potencialidades para ser aplicado em operações que exijam uma menor diluição, como por exemplo, em revestimentos;

- Se o objetivo for aumentar a taxa de consumo do eletrodo de aço carbono, uma corrente no circuito Plasma de até 40 A contribui significativamente, a partir deste valor, incrementos na corrente do circuito Plasma exerce pouca influência sobre a taxa de consumo do eletrodo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laprosolda/UFU pela oportunidade de utilização dos equipamentos e do suporte técnico disponibilizado, às agências CNPq, FAPEMIG e Instituto Fábrica do Milênio, pela concessão de recursos financeiros.

6. REFERÊNCIAS

- Essers, W. G; Jelmorini, G; Tichelaar, G. W., 1972, "Arc Characteristics and metal transfer with plasma-MIG welding". Metal Construction and British Welding Journal. Dec. 1972, p.439 – 447.
- Essers, W.G., Willems, G.A.M., Buelens, J.J.C. & Van Gompel M.R.M., 1981, "Plasma-MIG Welding – A New Torch and Arc Starting Method" Metal Construction, January.
- Essers, W. G; Walter, R., 1981, "Heat Transfer and Penetration Mechanisms with GMA and Plasma-GMA welding". Welding Journal, feb., p. 37-s a 42-s.
- Harris, I. D., 1994, "Plasma MIG Welding". In: ASM Metals Handbook Volume 6 - Welding, Brazing, and Soldering, pp. 605-615
- Jelmorini, G; Tichelaar, G. W; Essers, W. G., 1975 "Welding characteristics of the plasma-MIG process". Metal Construction, november, pp. 568 – 572.

- Matthes, K.J; Kohler, T., 2006, "Electrical effects and influencing quantities in the case of the hybrid plasma-MIG welding process". *Welding and Cutting*, feb., p. 87 – 90
- Oliveira, M. A., 2006, "Desenvolvimento do Processo de Soldagem Híbrido Plasma-Mig Para Operações de Soldagem e Brasagem" Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Reis, R. & Scotti, A. 2007 "Fundamentos e Prática da Soldagem a Plasma", Artliber Editora, 1ª ed., (ISBN: 978-85-88098-39-8)
- Rodrigues, C. E. A. L. 2007 "Avaliação Cinemática e Dinâmica da Transferência Metálica na Soldagem MIG/MAG". 150 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Scotti, A. 2008, "Processo Plasma-MIG", *Metalurgia & Materiais*, vol.64, abril 2008, p.153-154.
- Ton, H., 1975 "Physical properties of the plasma-MIG welding arc" *Journal of Physics D: Applied Physics*, Volume 8, Issue 8, pp. 922-933.

INFLUENCE OF WELDING CURRENTS IN PLASMA-MIG WELD PROCESS ON THE BEAD WELD GEOMETRY

André Alves de Resende, aaresende@gmail.com¹

Valtair Antonio Ferraresi, valtairf@mecanica.ufu.br¹

Américo Scotti, ascotti@mecanica.ufu.br¹

Jair Carlos Dutra, jdutra@labsolda.ufsc.br²

¹ Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Laboratory for Welding Process Development, Bloco 10, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP 38400 902, Uberlândia-MG.

² Federal University of Santa Catarina, EMC/Labsolda, Florianópolis - SC

Abstrac: *The Plasma-MIG weld process is basically a combination of Plasma and MIG/MAG weld process in a single torch. With this association, is possible to unite the advantage of each case. The main benefit is the independence between the process energy and the deposited material, resulting in greater easily in working on the bead weld geometry. In literature, there is breaf amount about bead weld geometry informations, and that is from 70' and 80' decades, when the available technology was not able to facilitate the process for that period industry. However, in the last years, the diffusion of new electronic power sources used in welding, contributed to the resumption of interest in Plasma-MIG weld process, due to its great potential. Justifying, this way, developing new technologies and knowledge about the process, in this context, this study aimed to enlarge the studies related to the influence of the MIG and Plasma currents balance on the geometry of the bead weld, with the use of modern sources. From the results it was observed that the Plasma-MIG weld process has the potential when you wish to act on the bead weld geometry, and increases in Plasma current increased the wetting, favoring an increase in width, reduction in strength, penetration and melting area.*

Keywords: *Welding, Plasma-MIG; Geometry; Arc Hybrid.*