



AVALIAÇÃO DO EFEITO DO GÁS NA VELOCIDADE DE SOLDAGEM DO PROCESSO PLASMA “MELT-IN” – PARTE 2

Ruham Pablo Reis

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG - ruhamreis@yahoo.com

Américo Scotti

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG - ascotti@mecanica.ufu.br

Resumo: Na 14ª edição do POSMEC foi apresentada a primeira parte de um projeto de pesquisa, que tem por objetivo procurar o aumento da velocidade de soldagem do processo de soldagem a plasma pela técnica “melt-in” através do estudo de novos gases de proteção e plasma. Após uma série de investigações, encontrou-se uma família de misturas gasosas com alto desempenho que possibilitou aumentar a velocidade de soldagem em mais de 400%, dependendo da mistura, sem comprometer a qualidade visual dos cordões, desde que, além do uso da mistura gasosa adequada, sejam seguidos procedimentos de limpeza eficiente das juntas a serem soldadas e de posicionamento da tocha. Já a segunda parte do projeto, descrita neste artigo, teve como objetivo complementar o estudo da viabilidade de utilização destas novas misturas gasosas. Para isto avaliou-se o uso dessas misturas na soldagem de juntas de topo e sobrepostas e em juntas em aresta para diferentes espessuras de chapa. Avaliou-se também o desempenho do Plasma frente aos processos concorrentes e a possível influência das novas misturas na qualidade mecânica das soldas. Ao final dos testes, verificou-se que, além de aumentar significativamente a velocidade de soldagem do processo plasma “melt-in” na união de chapas finas de aço de baixo carbono e melhorar substancialmente o acabamento superficial do cordão, a substituição do gás de plasma e gás de proteção por uma mistura dedicada não fragiliza a união. O aumento de produtividade (altas velocidades de soldagem com garantia de qualidade de cordão) utilizando este novo procedimento (incluindo novas misturas gasosas) demonstra viabilizar o processo de soldagem a plasma “melt-in” para várias aplicações, dentre as quais, algumas em que o uso dos processos TIG e MIG/MAG tem sido mais indicado.

Palavras-chave: soldagem, PLASMA, gás de proteção, gás de plasma.

1. INTRODUÇÃO

O processo de soldagem a plasma se caracteriza pelo efeito de constrição do arco, como ilustra a Figura 1. Os principais efeitos que surgem com esta constrição são a formação de um perfil de arco colunar e esbelto e o aumento da velocidade do jato de plasma. Este perfil de arco permite uma maior concentração do calor e um melhor aproveitamento da temperatura (maior temperatura alcançada na superfície da chapa), o que, aliado à grande velocidade do jato de plasma (maior energia cinética), intensifica a penetração ou possibilita que maiores velocidades de soldagem sejam utilizadas. Além disso, a soldagem a plasma é menos propensa a variações da concentração de calor com alterações na distância tocha-peça.

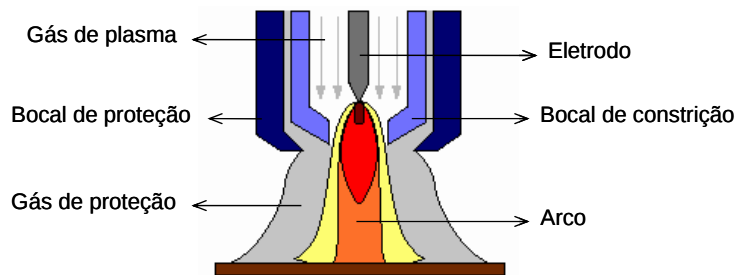


Figura 1: Representação esquemática do processo de soldagem Plasma

Dentre os modos de operação da soldagem a plasma, encontra-se a técnica “melt-in”. Também conhecida por soldagem a plasma convencional ou por fusão, esta técnica utiliza correntes de soldagem que vão de 15 a 200 (TWI, 2004) para fundir as peças a unir, de forma (e aplicação) semelhante a do processo TIG. Em contraste à modalidade plasma “key-hole”, a técnica “melt-in” é mais simples, podendo ser usada até de forma manual e segundo a Air Liquide (2002) é aplicada em chapas de até 3 mm de espessura.

Entretanto, devido aos maiores custos de equipamentos e consumíveis da tocha em relação ao TIG e a menor robustez no ajuste de parâmetros, a aplicação do processo de soldagem a plasma “melt-in” só tem encontrado respaldo em linhas automatizadas (menor relação custo/benefício), visando as uniões de chapas com juntas sobrepostas, de topo ou em arestas, com espessuras inferiores a 3 mm. Como exemplos de aplicação do processo a plasma pela técnica “melt-in”, tem-se a soldagem da parte superior de amortecedores destinados à indústria automobilística (Messenger, C. and Cuny, F., 1982), a fabricação de radiadores, soldagem de pontos críticos em motores de automóveis, além da soldagem de componentes elétricos como chapas para transformadores e alternadores (Air Liquide, 2002). Acredita-se, porém, que o campo de aplicações para esta técnica se estende à soldagem de compressores e demais componentes para linha branca, além de eixos e componentes estruturais para veículos automotores, o que incluiria a confecção dos chamados “tailored blanks”.

Uma grande vantagem da soldagem a plasma não muito comentada, principalmente em se tratando de logística, é a possibilidade produzir uniões autógenas, eliminando o uso de arame (um item a menos com relação às operações de compra, transporte e estoque). Dessa forma, este processo de soldagem apresenta outro embasamento para se tornar uma alternativa promissora em relação a outros processos convencionais, como o MIG/MAG. Mas economicamente, este processo tem de superar uma limitação em termos de limite de velocidade de soldagem, que acaba tendo influência direta na produtividade do processo. Na tentativa de se utilizar velocidades de soldagens mais elevadas aparecem irregularidades sobre o cordão (Figura 2), que acabam comprometendo a qualidade das soldas e limitando a produtividade do processo (só é possível obter soldas conformes em baixas velocidades). Estas irregularidades foram identificadas por Shneerson and Bykhovskii (1980) em seus estudos sobre a soldagem a plasma de chapas finas de aço comum ao carbono. Um aumento significativo na velocidade de soldagem seria uma grande justificativa para usar o processo a plasma, superando as limitações operacionais e de custo mencionadas.



Solda em não conformidade
(junta em aresta)



Solda em não conformidade
(junta sobreposta)

Figura 2: Aparência de cordões em não conformidade (com irregularidades)

Numa primeira parte de um projeto de pesquisa (Reis e Scotti, 2004) foi desenvolvido um novo procedimento de soldagem para o processo Plasma “melt-in” (incluindo o uso de novas misturas

gasosas) visando melhorar o desempenho da soldagem. Com esse novo procedimento foi possível aumentar a velocidade de soldagem significativamente, já que as irregularidades (Figura 2), que antes ocorriam mesmo a baixas velocidades e por isso limitavam a produtividade da operação, passaram a ocorrer a velocidades bem elevadas (maior limite de velocidade), viabilizando o uso da soldagem a plasma “melt-in” para união de chapas finas em operações de alta produtividade. Com o novo procedimento de soldagem foi possível aumentar a velocidade de soldagem acima de 400%, dependendo da mistura, sem comprometer a qualidade visual dos cordões (Figura 3), desde que, além do uso da mistura gasosa adequada, sejam seguidos procedimentos de limpeza eficiente das juntas a serem soldadas e de posicionamento da tocha.



Solda conforme (junta em aresta)



Solda conforme (junta sobreposta)

Figura 3: Aparência de cordões conformes (sem irregularidades)

Entretanto, como forma de complementar o estudo, faltava verificar o desempenho destas misturas em diferentes configurações de junta (só a junta em aresta havia sido testada) e em diferentes espessuras de chapa. Além disso, era preciso verificar o desempenho desta “nova” técnica para soldagem a plasma em relação a seus concorrentes diretos (TIG e MIG/MAG) e verificar se a utilização das misturas gasosas desenvolvidas poderia de alguma forma prejudicar as propriedades mecânicas da junta soldada. Assim, o objetivo desta segunda parte do trabalho foi aplicar o novo procedimento de soldagem desenvolvido para o processo Plasma “melt-in” (incluindo as novas misturas gasosas) em juntas de topo e sobrepostas e em juntas em aresta (agora para diferentes espessuras de chapa), avaliar o desempenho do Plasma frente aos processos concorrentes e avaliar a possível influência das novas misturas na qualidade mecânica das soldas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Condição Padrão de Soldagem e Bancada Experimental

As misturas para gás de plasma e gás de proteção desenvolvidas na primeira parte deste projeto e que serão avaliadas neste trabalho são as misturas A50, A70 e A100 (5, 7 e 10 % de aditivo A, respectivamente). Nas avaliações que se seguem neste trabalho, os testes foram feitos utilizando a condição padrão de soldagem definida na primeira parte do trabalho. Essa condição padrão foi a seguinte:

- Corrente de soldagem: 140 A;
- Vazão de gás de plasma: 0,7 l/min;
- Vazão de gás de proteção: 10,6 l/min;
- Distância tocha-peça: 3,5 mm;
- Tipo e diâmetro do eletrodo: WTh 2% e 5 mm;
- Ângulo da ponta do eletrodo: $\approx 33^\circ$;
- Afastamento do eletrodo: 0,8 mm;
- Ângulo de ataque 105° (empurrando o cordão);
- Limpeza das juntas por jateamento de areia.

O sistema de soldagem para execução dos testes foi montado como ilustra a Figura 4.

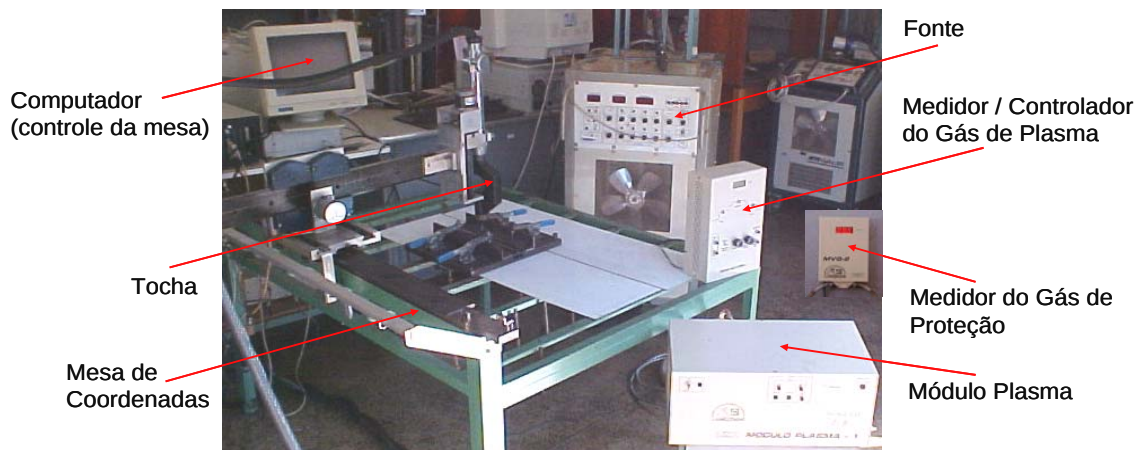


Figura 4 : Equipamentos utilizados no sistema de soldagem

2.2. Influência do Tipo de Junta

Foram testados os três tipos de juntas comuns à soldagem a plasma “melt-in”, junta sobreposta, de topo e em aresta (Figura 5), usando-se chapas de aço comum ao carbono de 1,5 mm de espessura.

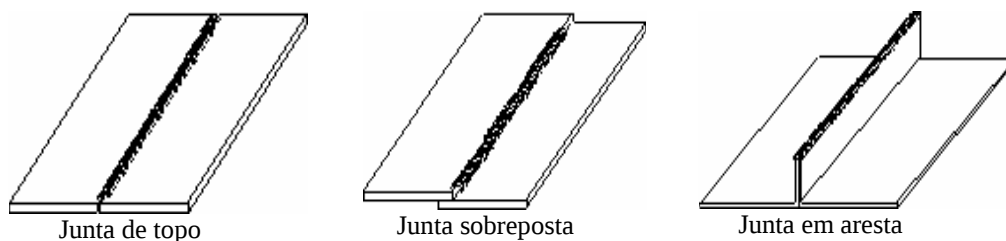


Figura 5: Juntas típicas para soldagem a plasma pela técnica “melt-in”

Todas as juntas foram soldadas na condição padrão de soldagem (exceto a distância tocha-peça que foi reduzida para 1,5 mm para as juntas de topo e sobrepostas). Verificou-se que o tipo de junta influi de forma marcante sobre a velocidade máxima com a qual se consegue soldar com estabilidade (sem irregularidades). Como mostra a Figura 6, as velocidades limites de soldagem são bem menores para a junta sobreposta ou de topo em relação à junta em aresta. A Figura 7 mostra o aspecto típico dos cordões obtidos nas velocidades limites de soldagem para cada tipo de junta.

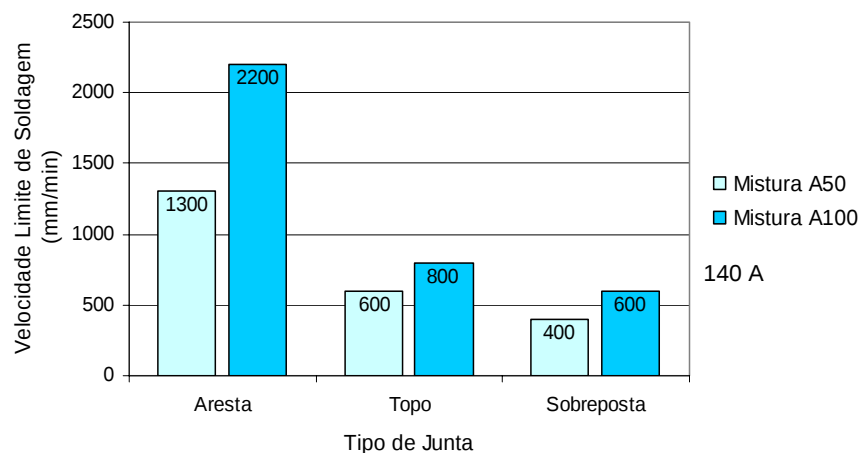


Figura 6: Influência do tipo de junta na velocidade limite de soldagem



Figura 7: Aspecto típico dos cordões obtidos nas velocidades limites de soldagem

2.3. Influência da espessura de chapa

Para verificar a influência da espessura das chapas na velocidade limite de soldagem, foram feitos testes em juntas em aresta com chapas de 1, 1,5 e 2 mm de espessura utilizando a mistura A50. Constatou-se que a espessura das chapas utilizadas também é um fator determinante da velocidade limite de soldagem, como mostra a Figura 13. Porém, deve-se ressaltar que a corrente máxima (possibilidade de maior velocidade limite de soldagem) também varia de acordo com a espessura das chapas. Na figura 8 não existe necessariamente uma otimização da relação corrente e espessura de chapa, já que o que se buscava era a possibilidade de manter uma alta velocidade de soldagem. A Figura 9 mostra a influência da espessura das chapas no aspecto dos cordões obtidos nas velocidades limites de soldagem.

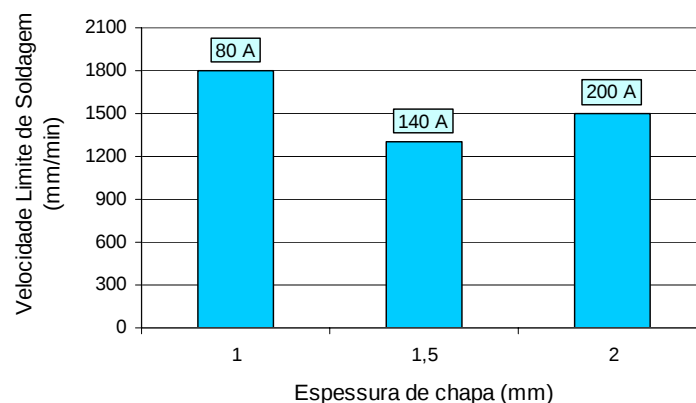


Figura 8: Influência da espessura das chapas na velocidade limite de soldagem

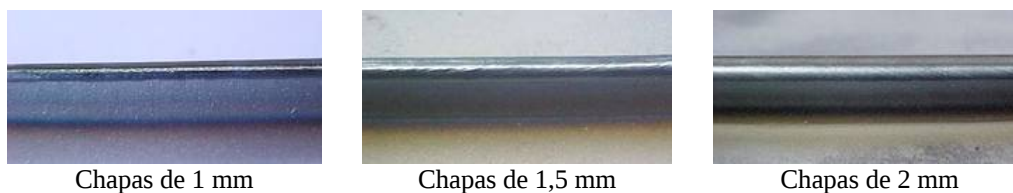


Figura 9: Influência da espessura das chapas no aspecto dos cordões obtidos nas velocidades limites

2.4. Desempenho do Plasma “Melt-In” Versus Processos Concorrentes

O processo de soldagem a plasma “concebido” na primeira parte do trabalho foi comparado aos processos TIG e MIG/MAG aplicados em juntas em aresta com chapas de aço ao carbono de 1,5 mm de espessura, considerando que os mesmos poderiam ser concorrentes diretos do Plasma. A Figura 10 mostra o comparativo encontrado para os processos Plasma, TIG e MIG/MAG e a Figura 11 o aspecto típico dos cordões obtidos em função do processo de soldagem utilizado.

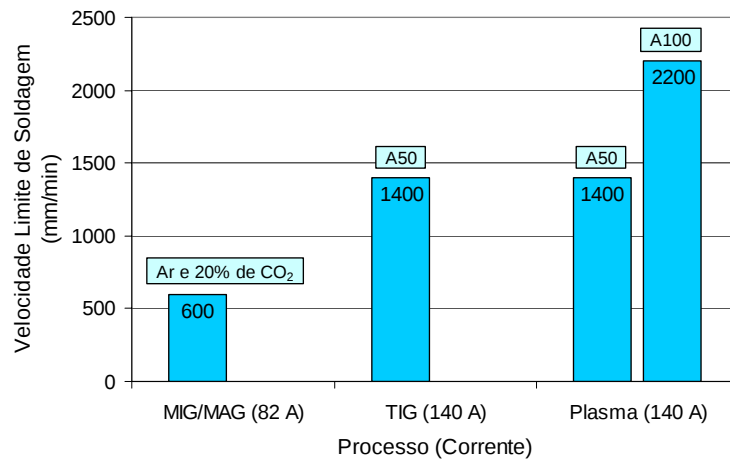


Figura 10: Comparativo entre os processos Plasma, TIG e MIG/MAG

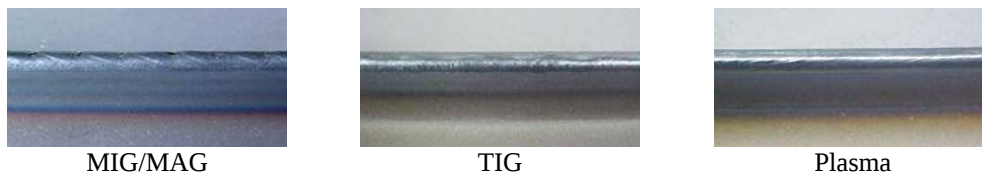


Figura 11: Aspecto típico dos cordões obtidos em função do processo de soldagem

Comparado ao Plasma, o processo TIG mostrou-se também eficiente na soldagem de aço ao carbono em juntas em aresta, desde que seja utilizada a mistura A50, imposto um ângulo de ataque de forma que a tocha empurre o cordão e as chapas sejam devidamente limpas (jateadas), ou seja, que sejam adotados os mesmos procedimentos que foram desenvolvidos para o Plasma, que são práticas não usuais no mercado. Apesar da velocidade limite na soldagem TIG (corrente de 140 A) ter sido a mesma que foi obtida para a soldagem Plasma (corrente de 140 A), os cordões obtidos apresentaram qualidade (aspecto) inferior à obtida com o Plasma.

Para o TIG conseguiu-se usar a mesma corrente de soldagem aplicada no Plasma, mas com o MIG/MAG foi necessário reduzir a corrente para se conseguir a soldagem. Em juntas em aresta, o processo MIG/MAG mostrou-se ser bastante instável para correntes elevadas (140 A). No entanto, utilizando correntes mais baixas (82 A) a instabilidade foi eliminada, mas com perda de produtividade em relação à obtida com o processo de soldagem a plasma.

2.5. Propriedades Mecânicas das Uniãos com o Uso do Aditivo A

A principal preocupação quanto ao uso dos gases desenvolvidos (particularmente pela presença do aditivo A) para a soldagem de aços ao carbono foi a fragilização da solda e de regiões adjacentes. Uma avaliação da possível fragilização foi feita em amostras soldadas com as misturas A50, A70 e A100, através de análise microestrutural e de microdureza, ensaios de tração e por meio de um ensaio de estampabilidade.

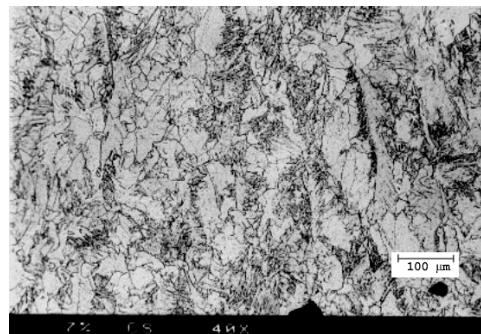
Para os testes de microdureza, utilizou-se uma carga de 100 g durante 15 s em cada indentação. No corpo de prova soldado com a mistura A100 e velocidade de soldagem de 2200 mm/min foram feitas 15 indentações, 5 na zona fundida, 5 na zona afetada pelo calor e 5 no metal de base. Já no corpo de prova soldado com a mistura A70 e velocidade de soldagem de 1700 mm/min foram feitas 10 indentações, 5 na zona fundida e 5 na zona afetada pelo calor.

A Figura 12 apresenta as microestruturas típicas de cada região da solda, cujas avaliações levaram à seguinte caracterização:

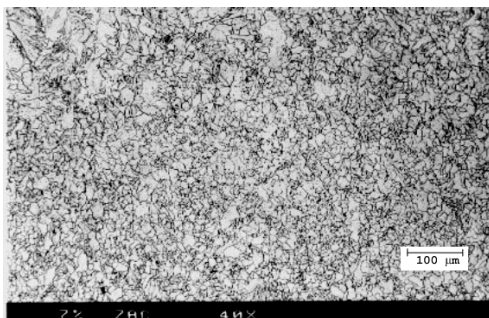
- Microestrutura na zona fundida: predominantemente Ferrita poligonal, com presença de Ferrita de segunda fase alinhada e Ferrita de segunda fase não alinhada; Dureza em torno de HV 180;
- Microestrutura na zona afetada pelo calor: Ferrita poligonal com pequena presença de Perlita nos contornos de grãos, com crescimento de grão no sentido do metal de base (ZAC grosseira), em relação a Ferrita poligonal do metal de base; Dureza em torno de HV 140;
- Microestrutura no metal de base: Ferrita poligonal com pequena presença de perlita nos contornos de grãos, típica de aço normalizado com baixo teor de carbono; Dureza em torno de HV 125.



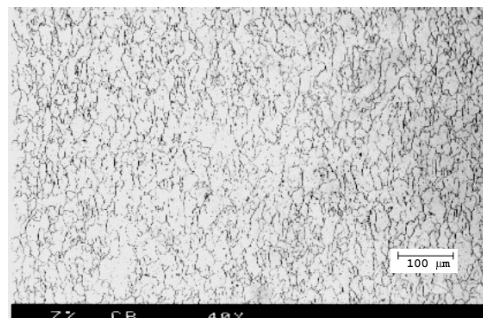
Amostra embutida



Micrografia da ZF (A70)



Micrografia da ZAC (A70)



Micrografia do Metal de Base

Figura 12: Microestruturas típicas de cada região da solda

Para o ensaio de tração, foram soldadas duas chapas em junta de topo na velocidade limite de soldagem para duas misturas gasosas (A50 a 600 mm/min de velocidade de soldagem e A100 a 800 mm/min) e confeccionados três corpos de prova para cada mistura, de acordo com o código ASME IX, item QW-462. A Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de tração, enquanto a Figura 13 mostra um corpo de prova fraturado e o detalhe do local da fratura. Todas as fraturas ocorreram fora da região soldada e apresentaram aparência dúctil, caracterizada pela estrição e ângulo de fratura. Pode-se verificar ainda que a maior velocidade de soldagem e o maior teor de aditivo A aumentou ligeiramente o limite de resistência do material, sem, no entanto, fragilizar a região soldada – a fratura ainda ocorreu no metal de base.

Tabela 1: Resultados do ensaio de tração

Gás / velocidade de soldagem	Tensão de ruptura (Mpa)	Limite de escoamento (Mpa)
A50 / 600 mm/min	382,9 ± 2,2	67,8 ± 3,2
A100 / 800 mm/min	405,7 ± 2,2	75,6 ± 4,0

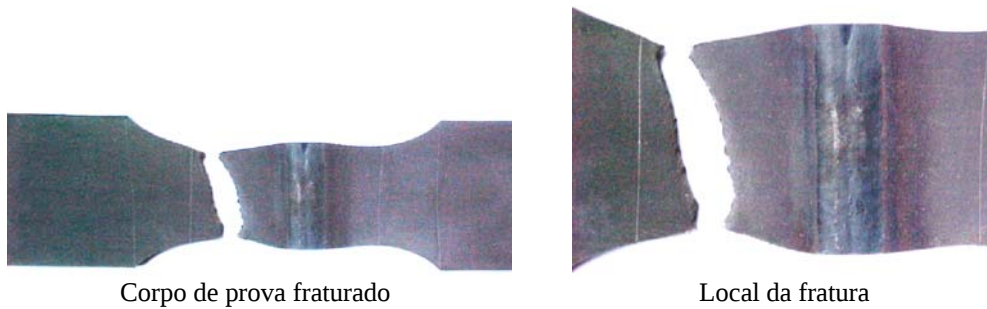


Figura 13: Corpo de prova fraturado e detalhe do local da fratura

De forma a complementar a verificação de uma possível fragilização na região soldada, foi improvisado um teste de estampabilidade. Os corpos de prova foram retirados de chapas soldadas em junta de topo à velocidade limite de soldagem para as misturas A50 e A100 (mesmas chapas do teste de tração). O teste utilizado foi concebido de forma a submeter os corpos de prova a uma deformação por meio de uma esfera (punção) em um anel (matriz). A deformação foi aplicada na chapa soldada através da esfera utilizando uma prensa hidráulica manual.

Primeiramente foi feito um teste em uma chapa sem solda com as mesmas dimensões das chapas soldadas. Este teste foi feito para se ter um padrão de deformação do material na condição mais favorável, ou seja, sem cordão de solda, sendo que a profundidade de deformação obtida foi de 21,6 mm. A seguir passou-se aos testes com as chapas soldadas. Para cada mistura (A50 e A100) foram feitos dois testes, um com a aplicação da carga na face e outro na raiz da solda. Todos os corpos de prova resistiram à deformação, sendo que nenhum deles mostrou estiramento até ruptura, o que permite afirmar, com um pouco mais de certeza, que não houve fragilização da junta. A Figura 14 mostra a seqüência de execução do teste de estampabilidade e corpos de prova após a realização do teste.



Figura 14: Execução do teste de estampabilidade e corpos de prova deformado

Considerando as baixas durezas resultantes, o fato da ruptura por tração ter ocorrido fora da região soldada e a junta ter suportado a deformação aplicada pelo teste de estampabilidade, pode-se afirmar que o uso do aditivo A não fragilizou a junta soldada.

3. CONCLUSÃO

Nas condições deste trabalho, pode-se concluir que, além de aumentar significativamente (em mais 400%) a velocidade de soldagem do processo plasma “melt-in” na união de chapas finas de aço de baixo carbono e melhorar substancialmente o acabamento superficial do cordão, a substituição do gás de plasma e gás de proteção por uma mistura dedicada não fragiliza a união. O aumento de produtividade (altas velocidades de soldagem com garantia de qualidade de cordão) utilizando este novo procedimento (incluindo as novas misturas gasosas) demonstra viabilizar o processo de soldagem a plasma “melt-in” para várias aplicações, dentre as quais, algumas em que o uso dos processos TIG e MIG/MAG tem sido mais indicado.

4. AGRADECIMENTOS

À White Martins Gases Industriais pelo fornecimento de consumíveis e materiais para testes, ao Laboratório para o Desenvolvimento de Processos de Soldagem da Universidade Federal de Uberlândia pela infra-estrutura disponibilizada e à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo pela realização dos ensaios mecânicos.

5. REFERÊNCIAS

- Air Liquide, 2002, "Plasma and TIG Processes: Automatic Welding Applications - Performance and High Productivity in Boiler and Pipe Work". Disponível em: <http://www.saf-airliquide.com/en/doc_broch/brochures/auto_weld.htm>. Acesso em: 02 dez. 2004.
- Messenger, C. and Cuny, F., 1982, "Reliability of Plasma Process in Welding Carbon Steels", Fundamental and Practical Approaches to the Reliability of Welded Structures, The Fourth International Symposium of the Japan Welding Society, Osaka, Japan, p. 91 - 96.
- Reis, R. P., e Scotti, A., 2004, "Avaliação do Efeito do Gás na Velocidade de Soldagem do Processo Plasma "Melt-In"", 14° POSMEC, Uberlândia, Brasil.
- Shneerson, V. Ya. and Bykhovskii, D. G., 1980, "Special Features of the Formation of the Molten Layer on the End of Steel Plates in Plasma Welding", Welding Production, Vol. 27, n. 12.
- TWI - World Centre for Materials Joining Technology, 2004, "Plasma Welding, Job Knowledge for Welders: Part 7". Disponível em: <http://www.twi.co.uk/j32k/protected/band_3/jk7.html>. Acesso em: 28 dez. 2004.

EVALUATION OF THE GAS EFFECT ON WELDING SPEED OF THE MELT-IN PLASMA PROCESS – PART 2

Ruham Pablo Reis

Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlandia, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil - ruhamreis@yahoo.com

Américo Scotti

Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlandia, Campus Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil - ascotti@mecanica.ufu.br

Abstract: In the 14th POSMEC edition, a first part of a research work was presented, which aim was to find a way to increase welding speed for the melt-in PLASMA process by studying novel plasma and shielding gases. After a series of tests, a family of gas blends with high performance was found. It was verified that it is possible to increase the welding speed over 400%, depending on the blend. There was no compromise of the quality of the beads, as long as procedures for joint cleaning and torch positioning are followed. Now, in the second part of the work, which is reported in this article, the objective was to complete the study of the feasibility of those gas blends. In this intend, the use of those blends was evaluated by welding butt, lap and edge joints for different plate thickness. In addition, the PLASMA performance was assessed in comparison with rival processes and it was analyzed the possible influence of the novel gas blends on the weld mechanics quality. At the end of the tests, it was concluded that, besides increasing significantly the welding speed and improving remarkably the weld superficial finish, the plasma and shielding gases does not weak the union. The productivity increasing (high welding speeds with guaranty of weld quality) using those gas blends prove the feasibility of the melt-in Plasma process for low-carbon-steel-thin-plate unions for many applications, among others, the cases in which the use of GTAW and GMAW has been more indicated.

Keywords: welding, PLASMA, shielding gas, plasma gas.