

Soldagem Plasma pela Técnica Keyhole de Chapas de Aço Carbono com 3,2 mm de Espessura

(PlasmaKeyholeWelding of 3.2 mmThickness Carbon SteelSheet)

Ezequiel Gonçalves¹, Regis Henrique Gonçalves e Silva¹, Jair Carlos Dutra¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, goncalves@labsolda.ufsc.br

Resumo

Aplicações práticas da soldagem plasma pela técnica keyhole ainda não são tão difundidas quando comparado com a soldagem plasma melt-in ou a própria soldagem TIG. Isso pode ser comprovado pela escassez de fontes bibliográficas sobre tal processo na espessura abordada. Sendo assim, não há na literatura dados suficientes para que, por exemplo, uma empresa possa decidir qual o processo de soldagem apresenta as maiores vantagens para uma aplicação específica. No contexto da indústria de petróleo e gás, e levando em conta sua expansão no Brasil durante os últimos anos, a necessidade do desenvolvimento de processos de soldagem que possam otimizar a união de dutos cresceu na mesma proporção. Diante dessa dificuldade, esse trabalho tem por objetivo levantar informações sobre a soldagem plasma pela técnica keyhole comparando-a com os processos plasma convencional e TIG na soldagem de chapas possibilitando posteriormente a extensão dos resultados para a aplicação em dutovias. Para tanto, foi montada uma bancada onde se realizou a soldagem automatizada com três diferentes tochas e duas configurações diferentes de gás de proteção. Buscou-se a maior produtividade de ambos os processos, garantindo a qualidade do cordão de solda pela conformidade com as normas do setor. Parâmetros foram levantados e forneceram informações que podem ser usadas para determinar qual o processo melhor atende as exigências de diferentes aplicações.

Palavras-chave: PAW; Buraco de Fechadura; TIG; Tocha Plasma.

Abstract: Practical applications of keyhole plasma welding technique are still not as widespread when compared with the melt-in plasma welding or TIG welding itself. This can be proved by the scarcity of bibliographical sources on such a process for the discussed thickness. Thus, there is not enough data in the literature so that, for example, a company can decide which welding process presents the greatest advantages for a specific application. In the context of oil and gas industry, and taking into account its expansion in Brazil in recent years, the need for development of welding processes that can optimize the union of products grown in the same proportion. Given this difficulty, this study aims to gather information on the keyhole plasma welding technique by comparing it with conventional plasma and TIG processes in sheet metal so that we can extend the results for use in pipelines. To that end, we assembled a bench on which was held with three different automated welding torches and two different configurations of shielding gas. We attempted to higher productivity of both processes, ensuring the quality of the weld for compliance with industry standards. Parameters were collected and provided information that can be used to determine which process best meets the requirements of different applications.

Key-words: Plasma Arc Welding; Keyhole; GTAW; Plasma Torch.

1. Introdução

Com o crescimento das indústrias brasileiras, especialmente as ligadas a petróleo e gás, vem aumentando as exigências de qualidade dos processos que buscam melhorar a produtividade e flexibilidade da fabricação. Ao encontro dessa otimização tem-se o processo plasma que, apesar de ter sido inventado a mais de meio século, ainda não foi completamente estudado e avaliado quanto a sua vantagem em relação ao processo TIG. Muitos trabalhos do setor apresentam informações

isoladas sobre a superioridade do processo plasma no âmbito de qualidade da solda e velocidade, mas os mesmos não aprofundam comparativamente essa análise.

O efeito de confinamento do eletrodo na soldagem plasma permite uma maior concentração do arco resultando em uma boa estabilidade direcional e uma maior densidade de energia. Uma característica operacional desse processo é a soldagem pela técnica keyhole, que utiliza correntes elevadas, normalmente acima de 100 A, permitindo uma maior penetração da solda e menor largura, isso porque o arco confinado apresenta uma maior queda de tensão, bem como uma menor dissipação de calor ao longo da coluna do arco, entregando à peça uma maior energia. Nessa técnica é formada uma poça de fusão relativamente pequena com um furo passante através do material de base, condição conseguida através da combinação adequada de corrente, velocidade de soldagem e vazão dos gases de proteção e de plasma. Geralmente é empregada para a soldagem na posição plana, como é o caso do presente trabalho, mas com condições de soldagem apropriadas é possível obter o keyhole em diversas posições, o que dá suporte aos ensaios desenvolvidos e a devida extensão dos resultados para a união de dutos.

A alta densidade de energia utilizada na técnica keyhole, que é responsável pela sua teórica vantagem em relação ao processo TIG, apresenta-se em uma condição bastante próxima à de corte do material, sendo muitas vezes esse um dos defeitos decorrentes da incompatibilidade entre as variáveis de soldagem. Para a soldagem de chapas com até 3,0 mm de espessura é possível iniciar a operação já com as condições de regime, sendo que o processo é desenvolvido com pequena perturbação na poça de fusão [1]. Para chapas mais espessas, a não utilização de baixa corrente e baixa vazão de gás no início da solda, tende a escavar debaixo da poça de fusão causando irregularidades na solda, fato esse que também foi verificado no decorrer dos ensaios já que a espessura utilizada está um pouco acima de 3,0 mm.

Vários autores já comprovaram que o processo plasma possibilita maior produtividade e melhor resistência à fadiga. Com relação à produtividade estudos na indústria naval destacaram ganhos em torno de 85% em comparação com o TIG [2], porém a limitação da utilização da soldagem plasma na indústria está na necessidade de um rigoroso controle de parâmetros e variáveis de soldagem para manter a estabilidade do arco bem como o fato do equipamento de soldagem plasma ser mais complexo que os usados em outros processos de soldagem a arco, exigindo cuidados especiais e manutenção mais criteriosa, além do custo elevado do equipamento, que pode chegar a cinco vezes mais em relação ao TIG.

A influência do gás de proteção nos processos também foi objetivo desse trabalho devido às informações obtidas em algumas referências. O argônio é o gás largamente utilizado sendo apontado como o gás que apresenta o melhor resultado na proteção da solda em trabalhos com aços estruturais. O outro gás utilizado foi o Ar-H₂ que permite obter-se um arco mais restrito, com maior poder de penetração devido a redução da tensão superficial da poça fundida. Essa constrição do arco possibilita um aumento na velocidade de soldagem em torno de 30% [3]. Devido aos problemas decorrentes a uma proporção inadequada de H₂ na mistura, como trincas por hidrogênio e redução das propriedades mecânicas, foi usada uma mistura comercial de Ar-H₂ com adição de 5% desse último.

Em aplicações industriais mais recentes utiliza-se a solda a laser que apresenta uma tecnologia superior aos processos convencionais. Caracterizado pela produção de um feixe de radiação as vantagens desse processo não estão na quantidade de radiação emitida, mas na sua qualidade já que o laser se propaga no ar com pouca divergência. Assim é possível obter determinadas características de união dificilmente alcançadas por outros processos, porém essa tecnologia possui alguns requisitos para garantir essa superioridade como juntas com pequeno afastamento, qualidade de preparação antes da união e dispositivos de fixação precisos. A característica principal da solda a laser é a concentração de energia em um ponto o que garante mínimas zonas termicamente afetadas e processos com maior velocidade [4]. Devido à diminuição da perda de calor para a peça as distorções são minimizadas o que reduz os trabalhos pós-solda. Mas apesar do desenvolvimento dessa técnica e a conseqüente redução de custo, o preço de aquisição ainda é um fator limitante o que se torna uma vantagem para a soldagem plasma.

2. Materiais e Métodos

Uma bancada de soldagem plasma keyhole, mostrada na Figura 1, utilizando uma estrutura com as mesmas características usadas na soldagem TIG e plasma melt-in, foi montada visando realizar experimentos para avaliar a união de topo para chapas de aço carbono SAE 1020 com 3,2 mm de espessura. As soldas foram conduzidas de forma automática com auxílio de um manipulador com um grau de liberdade. Foram utilizadas três tochas de soldagem: uma tocha de soldagem TIG

convencional, uma tocha plasma PWM-300 e outra tocha plasma PWM-350 que estruturalmente possui os bicos de contato plasma com furos laterais. Além de uma fonte de soldagem microprocessada, uma fonte auxiliar para a estabilização do arco piloto, uma unidade de refrigeração e cilindros dos gases de proteção.



Figura 1. Bancada para ensaios referentes à soldagem plasma keyhole.

O eletrodo utilizado foi o EWTh-2 com 3,2 mm de diâmetro e 30° de ângulo de afiação. Os corpos de prova foram fixados com auxílio de grampos sobre pressão de forma a garantir uma união entre as chapas sem folga. As dimensões do corpo de prova eram 150 x 50 x 3,2 mm, sendo que a união foi realizada com a tocha perpendicular a sua superfície. Foi utilizado argônio puro como gás de plasma com vazões variando entre 1,0 e 2,5 l/min. Como gás de proteção usou-se argônio puro e argônio com 5% de hidrogênio com vazão de 10 l/min. Foi utilizado ainda, um terceiro fluxo de gás mantido em 5 l/min na raiz da solda para garantir a continuidade da união. Os diâmetros do bico de contato plasma avaliados foram 2,2, 2,8 e 3,2 mm. O recuo do eletrodo em relação ao bico de contato permaneceu fixo em 4 mm assim como a distância entre o bico de contato e a peça de 4 mm.

No decorrer dos experimentos a questão da limpeza dos corpos de prova tornou-se algo fundamental para a qualidade da solda, dessa forma a região da junta era lixada automaticamente de forma a minimizar o efeito prejudicial da camada de óxido sobre a estabilidade do arco.

3. Resultados e Discussão

Durante a realização dos ensaios o principal problema observado foi o aparecimento de mordeduras ao longo do cordão de solda o que resultava em uma união em desacordo com a norma ANSI B 31.3/1993, que diz que a mordedura máxima aceitável é menor ou igual à espessura da chapa dividido por quatro podendo chegar ao máximo 0,8 mm. Esse fato pode ser contornado através da remoção da camada de óxido das chapas anteriormente a soldagem. Buscando comparar os processos em questão são apresentados na Figura 2 os resultados referentes à máxima velocidade de soldagem que garantiam a repetitividade e robustez da união.

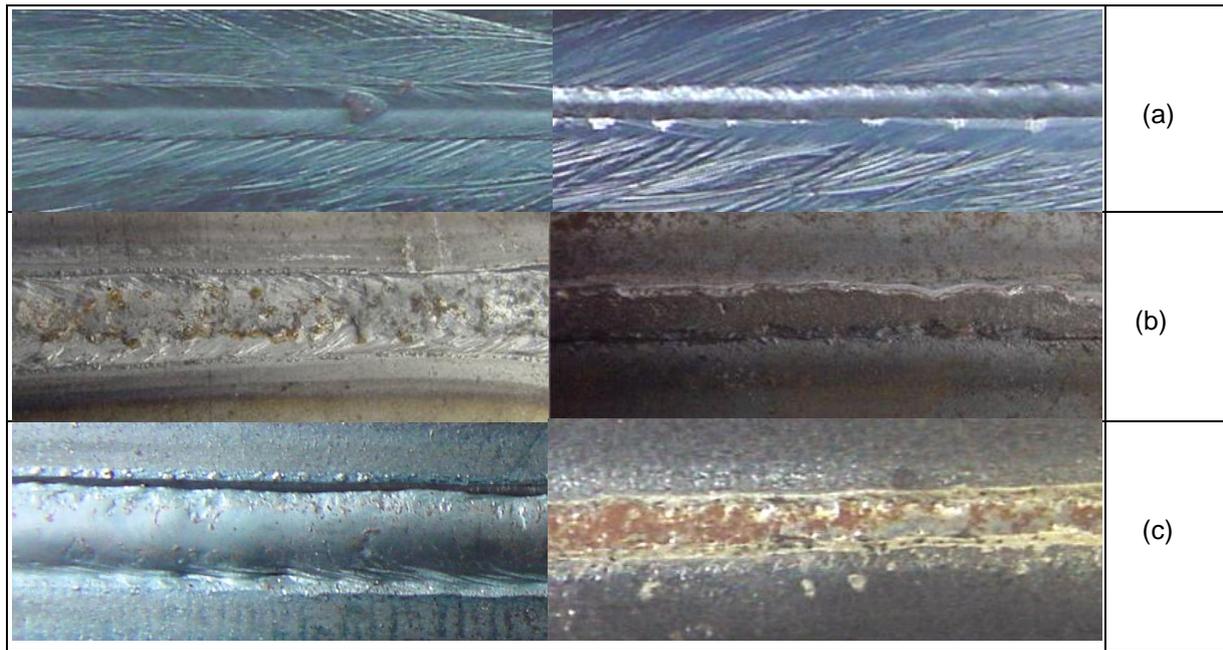


Figura 2. Resultados obtidos para a soldagem com argônio puro, face a esquerda e raiz a direita. Para (a) plasma keyhole, (b) TIG e (c) plasma melt-in.

O uso da tocha PWM-350, uma tocha moderna e considerada melhor principalmente na questão da distribuição do gás de proteção e que possui os dois furos laterais ao arco principal (Figura 3), possibilitou estabelecer o keyhole usando uma corrente de 150 A, porém com uma vazão de gás de plasma de 2,1 l/min, sendo o dobro da vazão necessária para o estabelecimento do processo com a tocha sem os furos laterais. A vantagem encontrada pelo uso dessa tocha com os bicos laterais é uma constrição do arco no sentido transversal, tornando-o elíptico, com diâmetro maior na direção da solda, o que garante como pode ser visto na Figura 2(a), um aspecto mais uniforme na face do cordão.



Figura 3. Bico de contato com furos laterais usado no processo plasma keyhole.

Diante dos resultados da soldagem com Argônio puro e considerando as informações da AGA de que a utilização da mistura de Argônio com 5% de hidrogênio possibilita o aumento da velocidade de soldagem em 30%, novos ensaios foram realizados utilizando essa nova mistura como gás de proteção. Foi possível notar que a adição de hidrogênio provoca uma maior molhabilidade da poça de fusão resultando em uma superfície mais lisa e com isso dando melhor acabamento à chapa. Os resultados são mostrados na Figura 4



Figura 4. Resultados obtidos para a soldagem com argônio mais 5% de hidrogênio, face a esquerda e raiz a direita. Para (a) plasma keyhole, (b) TIG e (c) plasma melt-in.

Com relação à raiz da solda, a penetração conseguida com argônio + 5% hidrogênio mostrou-se mais uniforme, proporcionando mais qualidade e segurança à união. A adoção desse novo gás diminuiu a profundidade da mordedura principalmente no processo plasma melt-in.

A análise dos parâmetros mostrados na Tabela 1 confirma que devido a maior constrição do arco no processo plasma é possível, utilizando uma corrente relativamente menor, conseguir uma fusão maior que possibilita também um maior rendimento da soldagem.

Analisando agora a face dos cordões o processo plasma keyhole mostra-se superior resultando em uma solda na mesma altura da chapa com uma superfície lisa e livre de mordeduras. O processo TIG apesar de uma superfície mais rugosa apresenta pequena mordedura a qual é aceita pelas normas, o que não acontece com o excesso de mordedura apresentado pela face do cordão soldado como processo plasma melt-in. Ao avaliarmos a raiz da solda, o plasma keyhole permite um reforço seguro com aspecto mais atrativo, no processo TIG a raiz apresenta-se mais reforçada do que a obtida no plasma melt-in isso devido a diferença de velocidade entre os processos, porém as duas são consideradas seguras.

Quando se utiliza porcentagem de hidrogênio no gás de proteção as diferenças entre corrente e velocidade de soldagem não ficam tão anunciadas quando comparadas com a utilização do Argônio puro, mesmo assim o processo plasma apresentava a vantagem do maior rendimento. No quesito qualidade da superfície novamente temos a superioridade do plasma keyhole seguido do processo TIG já que no plasma melt-in temos o surgimento de mordeduras que estão de acordo com a norma. Já a raiz do cordão de ambos os processos, apresentaram tanto reforço adequado como repetitividade durante os ensaios sendo a do plasma keyhole a mais lisa.

Tabela 1 – Parâmetros de soldagem para maior produtividade.

Gás de proteção Processo	Argônio puro		Argônio com 5% de hidrogênio	
	Corrente	Velocidade de soldagem	Corrente	Velocidade de soldagem
Plasma keyhole	150 A	40 cm/min	150 A	52 cm/min
TIG	220 A	28 cm/min	200 A	40 cm/min
Plasma melt-in	140 A	40 cm/min	180 A	50 cm/min

4. Conclusão

A escolha de um processo de fabricação envolve muitas variáveis como, por exemplo, o preço de implantação e de manutenção que nesse caso é muito maior quando a escolha é o processo plasma, processo esse que necessita de mão de obra bem mais especializada que o processo TIG. Uma desvantagem é a precisão necessária para o alinhamento da peça a ser soldada que deve ser extremamente bem controlada no processo plasma, sendo que qualquer falha nessa etapa compromete a continuidade do cordão, algo que não fica tão evidente no TIG. O espaçamento das chapas deve receber atenção adequada para a continuidade da solda, sendo que o uso dos grampos mostrou-se indispensável.

Para a soldagem plasma melt-in a utilização de argônio puro como gás de proteção resultou em excessiva mordedura em todos os parâmetros considerados regulares, com isso todos os cordões de solda foram reprovados. Mesmo com o uso do hidrogênio a mordedura continuou excessiva, reprovando novamente as primeiras uniões, para minimizar esse problema a vazão de gás de plasma foi reduzida pela metade (de 2 l/min para 1 l/min). Com a diminuição da vazão de gás de plasma houve uma melhora significativa na mordedura apresentada pelos cordões de solda. Além da influência da vazão de gás de plasma sobre o surgimento de mordeduras outro fator observado é que as mordeduras aumentam como consequência do aumento de velocidade. Nos ensaios foram encontrados resultados satisfatórios em menor tempo com o uso de argônio mais 5% de hidrogênio devido à soldagem com H₂ ser mais robusta (com menor influência dos fatores externos).

Com relação à face da solda, pode-se dizer que, assim como afirma a literatura, o uso do hidrogênio proporciona um cordão de solda com acabamento mais liso dando ao cordão melhor aspecto visual quando comparado com o uso de Argônio puro.

Na soldagem plasma keyhole foi usado o bico de 3,2 mm, que é considerado o maior diâmetro possível de estabelecer o keyhole para chapas de aço carbono de 3,2 mm de espessura. O uso desse novo bico possibilitou uma raiz ideal e a maior velocidade de soldagem do processo, contudo a mordedura apresentada fez com que essa condição fosse reprovada.

5. Referências Bibliográficas

- [1] LUCAS, W. TIG and plasma welding. England: Abington Publishing, 1990. 112p.
- [2] HALMOY, E., FOSTERVOLL, H., RAMSLAND, A. R. New applications of plasma keyhole welding. *Welding in the World*, v. 34, p. 285-291, 1994.
- [3] JÚNIOR, O.S.P. Desenvolvimento e aplicação da soldagem plasma pela técnica keyhole. Abr. 1997. Dissertação de mestrado. Dept. de eng. Mecânica, UFSC. Florianópolis, 1997.
- [4] LARSSON, J.K., "Supporting Welding Methods for Future Light Weight Steel Car Body Structures", Pro-ceedings International Body Engineering Conference, IBEC'02, Paris, July 2002
- [5] MARQUES, P.V, MODENESI, P.J e BRACARENSE, A.Q. Soldagem: Fundamentos e Tecnologia. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005
- [6] HANDBOOK, WELDING. 8ª Ed. s.l. : AWS, 1991. Vol. 2.
- [7] MODENESI, P.J. Soldagem I – Introdução aos Processos de Soldagem. Belo Horizonte: s.n, Junho. 2002