

Estudo comparativo entre a injeção tangencial e radial de arame do processo TIG.*Comparative evaluation of tangential and transversal wire feed injection with TIG process**Cassiano Godinho¹, Régis Henrique Gonçalves e Silva¹, Mateus Barancelli Schwedersky¹**¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto de Soldagem e Mecatrônica, Florianópolis, SC, Brasil, cassiano.godinho@posgrad.ufsc.com***Resumo**

Atualmente, os processos de soldagem estão profundamente integrados as aplicações na indústria de petróleo e gás, geração de energia, dentre outros. As aplicações de união e revestimento constituem alguma destas, em que se busca a construção e proteção de estruturas e equipamentos. Diferentes processos podem ser utilizados, tais como, MIG, PTA-P e TIG. Este trabalho apresenta um estudo sobre o conceito de inserção de arame tangencial no processo TIG alimentado com arame frio. Para esta análise foram realizados ensaios comparativos em relação ao TIG com injeção de arame radial ao eletrodo, avaliando-se os aspectos geométricos e homogeneidade do cordão quanto a alimentação multidirecional do arame em relação ao arco – frontal, lateral e traseira. Os resultados, mostraram a exequibilidade do processo quanto as características geométricas do cordão soldado. De maneira conclusiva, esta técnica, em função de sua configuração, apresenta características multidirecional de alimentação de arame mantendo a qualidade final do cordão. Ademais, novos estudos buscando-se apresentar outras particularidades que esta configuração de alimentação gera em termos de melhora na qualidade final e produtividade no processo TIG serão realizados.

Palavras-chave: GTAW; arame frio; TopTIG;

Abstract:

At present, welding process are deep integrated with oil and gas industry, energy generation processes and others. Weld overlay and union techniques consists part of it. On this case, companies look for structures, equipment's protection, and repair. Different welding process might be chosen, like, MIG/MAG, PTA-P and TIG. This work is focused on presenting a study about a tangential cold wire feed insertion concept with TIG process. So on, for this analysis, some comparative experiments relative to radial wire feed injection evaluating geometric and uniformity aspects on the weld bead in terms of multidirectional wire insertion in relation to the arc – frontal, back and lateral. The results with tangential feeding showed the feasibility of the process in terms of weld bead geometric on the contrary of radial feeding bead characteristics. In conclusion, this technique, about it setup, present multidirectional characteristics keeping the weldment quality. Furthermore, new studies seeking other particularities about quality and productivity with this torch configuration will be made.

Key-words: GTAW; cold wire; TopTIG;

1. Introdução

A medida que a demanda por consumo de energia aumenta as indústrias de óleo e gás também aumentam suas operações e a produção de combustíveis fósseis, geração de energia, dentre outros tipos tornam-se ainda mais importante. Neste sentido, segundo dados reportados pela Petrobras após a descoberta do pré-sal o Brasil aumentou sua exploração de petróleo na ordem de 2400 % [1]. O ambiente em que a exploração é realizada trata-se de um meio corrosivo, contudo a incidência de falhas e consequentemente maior necessidade de realização de pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias é interna as chamadas *pipelines*. O fluxo da matéria prima através destas promovem solicitações mecânicas, além da própria corrosão. Esta última gerada por gases produzidos pelo ambiente onde ocorre a exploração ou mesmo pela matéria prima (Petróleo e Gás Natural). Neste contexto, o LABSOLDA tem atuado com o intuito de atender as dificuldades apresentadas neste setor estratégico para a economia nacional e desenvolvimento tecnológico nos centros de pesquisa.

Dentre as possibilidades para aplicações nesta área, por exemplo soldagem de revestimento alguns processos a arco podem ser utilizados dentre eles MIG/MAG, PTA-P e TIG. O processo MIG/MAG e suas variantes tem avançado em termos de tecnologia para melhorar suas características. Estudos mostram que o processo em polaridade direta apresenta característica como baixa penetração, conjugado com o fator de altas taxas de deposição, proporcionam baixa diluição. Característica esta essencial em aplicações de revestimento. No entanto, as elevadas taxas de fusão deste processo propiciam cordões bastante convexos, inabilitando, portanto,

sua aplicação. O processo MIG em polaridade reversa, em contrapartida, proporciona elevados níveis de penetração, inviabilizando também sua aplicação para técnicas de revestimento. No entanto, trata-se de uma técnica vastamente utilizada em aplicações de soldagem de preenchimento de chanfros em tubulações para indústria de óleo e gás. O processo PTA-P, um processo a plasma, apresenta como diferencial a utilização de um bocal constritor, o qual tem por função a constrição do arco elétrico. Comparando-a ao processo TIG, por exemplo, apresenta um arco mais homogêneo, isto é, na medida em que a largura do bocal constritor é reduzida a área de incidência do arco elétrico torna-se menor. Neste sentido, se proporciona uma maior concentração de energia em determinado ponto, contribuindo, portanto, para elevar os níveis de deposição de pó metálico [2]. Em contrapartida, elevados níveis de constrição acarretam em maiores penetrações, o que se tornaria inadequado para aplicações de revestimento. Desta maneira, visando aplicações de soldagem para revestimento, utiliza-se bocais com menor constrição. Assim sendo, outro aspecto bastante relevante deste processo condiz à qualidade dos cordões soldados obtidos, os quais apresentam um acabamento superficial diferenciado em relação ao processo MIG/MAG, por exemplo. Ademais, os custos associados, necessidade de bons conhecimentos do operador em função da complexidade da técnica levam a escassa utilização desta técnica no ambiente industrial. O processo TIG pode ser realizado de forma autógena, quando não há alimentação de arame, ou com alimentação de arame. Esta técnica dentre outras vantagens, apresenta uma vasta gama de materiais que podem ser utilizados. Além disso, a independência entre o eletrodo e arame, assim como no processo PTA, permite o controle do aporte térmico, conseqüentemente, maior domínio sobre a diluição e a taxa de fusão de arame. O processo TIG tem avançado em termos de produtividade a partir de sua automatização. O processo TIG *hot wire*, desenvolvido na década 60 [3], trouxe avanços na tecnologia de alimentação a partir da inserção do arame pré-aquecido. No entanto, processos contemporâneos a ele, inclusive utilizando esta tecnologia de arame quente surgem, como TIG duplo cátodo em que dois eletrodos podem ser controlados de forma independente, podendo ser realizado de forma autógena ou com alimentação, TIG com alimentação de dinâmica (TipTIG) e TIG com inserção de arame tangencial ao eletrodo (TopTIG). Vale citar que a nomenclatura TipTIG e TopTIG são comerciais, e não há uma uniformidade para nomeação na literatura técnica.

No processo TIG *hot wire*, o arame é alimentado pré-aquecido também permitindo maiores taxas de deposição e velocidade de soldagem. Um estudo desenvolvido por Digiacomo [4] mostra que apesar das taxas de fusão deste processo não alcançar níveis como MIG/MAG apresenta-se como uma boa alternativa em aplicações industriais. Em outro trabalho, Barthoux e Polysoude [5] mostra as vantagens do processo com alimentação de arame quente para aplicações de preenchimento de chanfro estreito. Os resultados apresentam uma melhora em uma escala de nove vezes maior, em relação ao processo com arame frio, isto é, a quantidade de material a ser depositado em função do tempo para o preenchimento completo do chanfro, sem a perda da qualidade. O TIG duplo cátodo permite melhor controle da pressão do arco sobre a poça de fusão. Um estudo desenvolvido por Schwedersky [6] mostra que é possível melhorar este controle a partir do ajuste da disposição dos eletrodos como, distância, afiação, evitando defeitos característicos. Em outro estudo, Egerland et al. [7] apresenta um sistema duplo cátodo com alimentação de arame para aplicações de soldagem de revestimento em que foi possível alcançar maiores níveis de deposição e velocidade de soldagem em relação ao TIG Convencional. Ademais, Kobayashi et al. [8] discorre a respeito da melhora de 20% proporcionada pelo processo Duplo Cátodo em relação ao TIG Convencional em aplicações de preenchimento de chanfro para tanques de armazenamento, além de melhora na qualidade do preenchimento e geração de ruídos quando comparados ao processo a Arco Submerso. O processo TIG com alimentação dinâmica apresenta uma oscilação na extremidade do arame. Devido à ausência de literatura técnica, cita-se que o fabricante apresenta um sistema em que é possível a oscilação do sistema alimentador, conseqüentemente, o arame sofrerá um efeito vibratório em sua extremidade. Esta, tem como intuito, evidenciar características do cordão como melhora na molhabilidade, a partir da redução da tensão superficial da poça de fusão. As técnicas supracitadas apresentam uma peculiaridade na alimentação de arame. Este é inserido radialmente ao eletrodo, em que também é possível diferentes ajustes de distância entre o arame e o eletrodo e seu ângulo de entrada. No entanto, surge no campo da soldagem TIG, um novo conceito de tocha de soldagem com direcionador de arame integrado ao bocal, promovendo a alimentação de forma tangencial ao eletrodo.

Neste contexto, o presente trabalho busca caracterizar este conceito de tocha com sistema de alimentação anexo ao bocal, a partir de uma análise comparativa com o processo TIG Convencional buscando avaliar o aspecto geométrico do cordão realizado. Os ensaios terão duas frentes de análise: primeiramente a comparação entre a qualidade dos cordões soldados em relação ao ângulo de alimentação de arame – radial ou tangencial - e em seguida uma análise da posição relativa do arame – empurrado, puxando ou lateral. Desta forma, a partir das análises a serem realizadas espera-se concluir a respeito da influência o qual o projeto da tocha apresenta sobre o cordão soldado.

2. O processo TIG com Alimentação Tangencial (TopTIG)

Este conceito, segundo o fabricante, desponta com o intuito de garantir maiores taxas de deposição automatizando o processo, permitindo a alimentação de arame em qualquer posição em relação ao arco – frontal,

traseira e lateral - e também acesso em regiões complexas, por exemplo, chanfro estreito e juntas em T, todos estes aspectos, no entanto, garantindo a qualidade do cordão. Quando o arame é alimentado de forma radial em relação ao arco elétrico (adentra por isotermas “menos quentes”), há uma tendência de apresentar menos eficiência na fusão. Outro aspecto do TIG Convencional em relação ao TIG com injeção de arame tangencial é em relação ao projeto da tocha. O fato do direcionador de arame estar independente da tocha, incorre em limitações como acesso em regiões de maior complexidade, por exemplo. A figura 1 abaixo ilustra a posição relativa do arame em relação ao eletrodo e a região do arco o qual está adentrando. Além disso, esta configuração entre tocha e direcionador de arame gera discussões na literatura a respeito da qualidade do cordão depositado em relação a posição em que o arame é inserido – puxando, empurrando ou lateralmente. Estudos realizados por Delgado [9], a respeito da alimentação automática de arame, Pigozzo [10] sobre a soldagem passe de raiz orbital utilizando o processo TIG com alimentação de arame frio e Tokar [11] sobre a influência do posicionamento do arame no comportamento da poça de fusão, contribuem para a afirmação anterior.

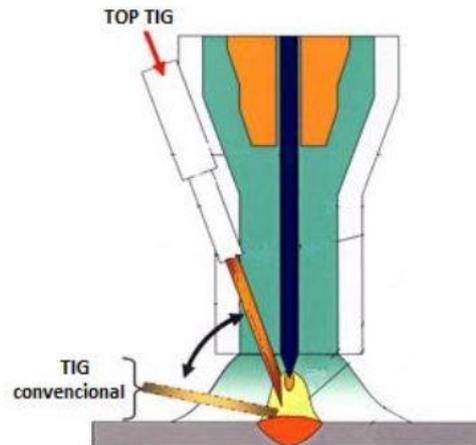


Figura 1 – Ilustração da posição relativa do arame em relação ao eletrodo para o processo TIG Convencional (arame radial) e TopTIG (arame tangencial)

Em outra frente, também se discute a importância do tipo de transferência do arame para a poça de fusão. Existem duas formas em que o material pode ser depositado: constante (ponte) ou intermitente (destacada). Segundo o fabricante [12] é preferível a transferência por ponte, garantindo maiores taxas de deposição, maiores velocidades de soldagem e menor risco de contaminação do eletrodo pelo contato com o arame. No entanto, este tipo de transferência tem a tendência de formar cordões mais convexas, o que para aplicações de revestimento não é ideal. Em contrapartida, a transferência destacada apresenta menores taxas de deposição por unidade de comprimento, conseqüentemente forma cordões com menores níveis de convexidade. Todavia, há uma maior tendência de contaminação do eletrodo haja vista que a gota deve percorrer um trajeto até a poça de fusão. Ademais, para procedimentos fora de posição torna-se inviável a utilização da transferência metálica destacada em função da ação das forças gravitacionais. A figura 2 abaixo traz uma ilustração (frames) de uma filmagem de alta velocidade na posição plana em que mostra o comportamento da transferência metálica em ponte (figura 2a) e destacada (figura 2b).

(a)



(b)



Figura 2 – Ilustração da transferência metálica. (a) transferência em ponte (b) transferência destacada

Além deste conceito de direcionador integrado a tocha, o processo permite a alimentação dinâmica por meio da sincronização da velocidade de arame com a corrente o que viabiliza diferentes configurações para condições semelhantes, no entanto não está no escopo deste trabalho o estudo desta concepção.

3. Matérias e Métodos

A etapa experimental, para ambos os processos, consistiu na soldagem de cordões sobre chapa de $\frac{3}{4}$ " utilizando uma distância eletrodo-peça (DEP) de 3 mm, e distância eletrodo-aramé (DEA) de 2 mm. Estes valores foram escolhidos a partir dos ensaios preliminares, considerando-se a estabilidade e recomendações do fabricante. A velocidade de arame foi regulada em 2,4 m/min. Os estudos destinados à alimentação tangencial foram realizados com a fonte de soldagem "TOP TIG 220 DC", com capacidade de corrente máxima de 220 A e duplo sistema de refrigeração (bocal e tocha). Para o TIG Convencional utilizou-se a fonte "MTE DIGITEC 300", com alimentador de arame STA-TIG, ambos da fabricante IMC. Neste caso, a tocha escolhida foi a do fabricante Abicor Binzel, que também possuía sistema de refrigeração externo.

A comparação entre os processos foi executada fixando-se a corrente de soldagem em 190 A. Empregou-se um eletrodo de tungstênio com adição de tório (AWS EWTh-2) de 3,2 mm de diâmetro. O arame para alimentação era de aço carbono (AWS ER 70S-6), de diâmetro 1,0 mm. A proteção gasosa utilizada foi de Ar-99,9%, com vazão de 12 L/min, medido com um transdutor de vazão de gás (MVG) da fabricante IMC. A movimentação da tocha de soldagem foi efetuada por um robô de 7 eixos e velocidade de 15 cm/min. Os sinais de corrente, tensão e velocidade de arame foram mensurados com o sistema de aquisição portátil (SAP). Este sistema permite monitorar os sinais de corrente, tensão e velocidade de arame em uma frequência de 5 kHz, além de fornecer os valores médios. Na tabela 1 constam os valores dos parâmetros utilizados nos ensaios.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados nos ensaios para o processo TIG Convencional e a TIG com alimentação tangencial.

Parâmetros de soldagem	
Corrente	190 A
Velocidade de soldagem	15 cm/min
Velocidade de alimentação	2,4 cm/min
DEP	3 mm
DEA	2 mm
Gás	Ar
Vazão de gás	12 L/min
Eletrodo	3,2 mm
Afiação	40
Ângulo de alimentação	20° (TopTIG) 65° (TIG Conv.)

Avaliou-se a estabilidade do processo seguindo-se os critérios e recomendações de Delgado [9]. Neste sentido foram empregados dois requisitos de estabilidade: níveis constantes em relação ao oscilograma de tensão, e o aspecto geométrico uniforme do cordão soldado. Para atender a estas exigências, a transferência metálica deve ocorrer no modo ponte. Definido este critério, foram realizados ensaios preliminares com o processo TIG Convencional (figura 3a), com a alimentação sendo realizada pela frente do arco. Então, foram aplicados os mesmos parâmetros para a alimentação traseira e lateral. Por fim, o equipamento referente ao processo TIG com alimentação tangencial (figura 3b) foi montado para a realização do mesmo procedimento.

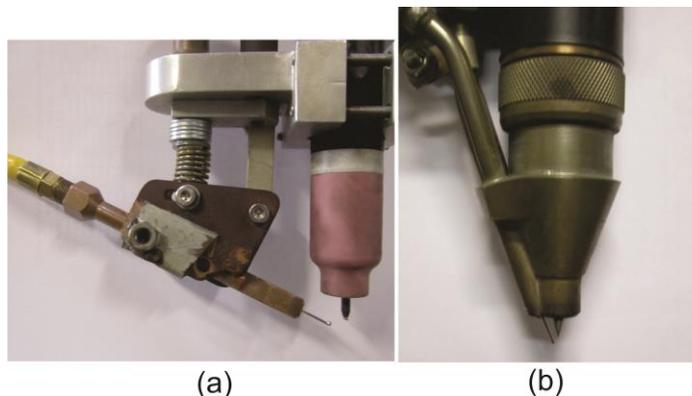


Figura 3 – Ilustração do conceito das tochas de soldagem utilizada para a realização dos ensaios. Do esquerdo (a) ilustrada a tocha com alimentação radial e a direita (b) a tocha com alimentação tangencial.

3. Resultados e Discussão

No processo TIG alimentado, a posição em que o arame é inserido em relação ao arco elétrico é de fundamental importância para o resultado final do cordão soldado. Com este intuito, o presente trabalho avaliou os aspectos geométricos, por sua vez, a qualidade do cordão em função da posição de inserção e do ângulo em que o material de adição é inserido no processo. Os resultados apresentados demonstraram que o ângulo de fato influencia no cordão, e em posse disto, notória interferência também na posição relativa do arame em relação ao arco elétrico. O estudo dos aspectos levantados neste trabalho apresenta suma importância em vista de posteriores aplicações como por exemplo, revestimento e união. As características geométricas de um cordão representam a possibilidade de sua aplicação ou não em determinados contextos, por exemplo, torna-se inviável a utilização de cordões estreitos e convexos para situações de revestimento, pois esta caracterizaria regiões inacessíveis para fusão do arame nos passes seguintes. As figuras 4 e 5 abaixo ilustram os cordões e as macrografias dos cordões soldados. Foi possível verificar, a influência do ângulo sobre a característica geométrica e a viabilidade da execução do cordão sem a presença de defeitos.

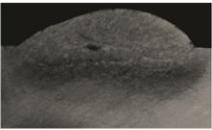
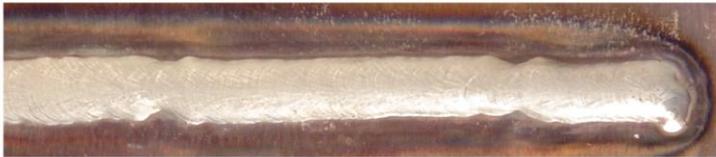
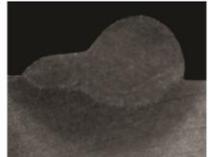
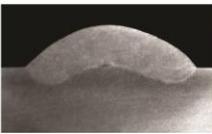
TIG com injeção radial de arame		Alimentação
		Frontal
		Traseira
		Lateral

Figura 4 – Cordões depositados sobre chapa utilizando o processo TIG com injeção transversal de arame

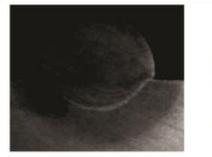
TIG com injeção tangencial de arame (TopTIG)		Alimentação
		Frontal
		Traseira
		Lateral

Figura 5 – Cordões depositados sobre chapa utilizando o processo TIG com injeção tangencial de arame

A estabilidade do arco elétrico na soldagem TIG é importante ser avaliada para que seja possível comparar o desempenho do processo com os resultados obtidos. No entanto, o que se encontra muitas vezes na literatura são avaliações em escalas macroscópicas, isto é, observa-se níveis de ruído, possível geração de respingos (quando se

utiliza o processo alimentado) e também a simples verificação do aspecto geométrico final do cordão soldado. Desta forma, um possível método para avaliação de estabilidade do arco voltaico no processo TIG é a partir da coleta dos dados dinâmicos do processo. O oscilograma representado na figura abaixo (figura 6) ilustra a dinâmica da tensão, o qual foi monitorada durante o processo.

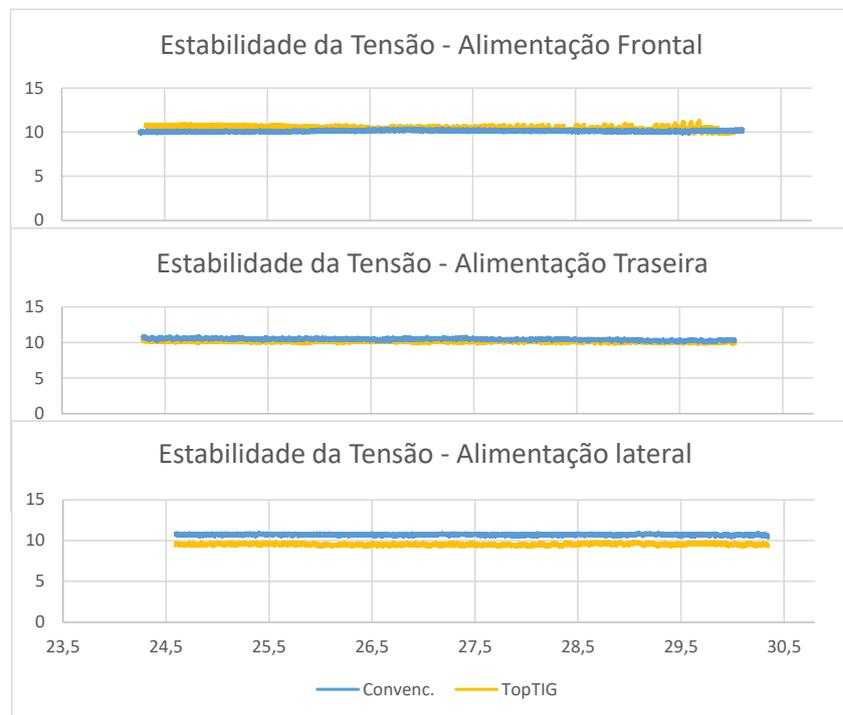


Figura 6 – Oscilograma das características dinâmicas do processo, demonstrando a estabilidade desejada pela curva de tensão.

Quando inserido radialmente (figura 4), notou-se uma mudança grosseira no aspecto geométrico do cordão em relação a alimentação frontal e lateral, e foi possível identificar a presença de defeitos que comprometem a aplicabilidade da técnica quando alimentou-se arame por trás do arco na condição de inserção radial de arame. Na situação em que o arame é alimentado tangencialmente (figura 5) ao eletrodo, apesar da não uniformidade entre os aspectos geométricos do cordão, estes não apresentaram defeitos.

Como descrito anteriormente, a maneira com que o arame é alimentado define o comportamento do processo e consequentemente os resultados a serem encontrados. Desta forma, os ensaios aqui realizados corroboram com informações disponíveis na literatura [9, 10] existente a respeito do processo TIG. A alimentação radial com arame frio na região anterior da poça de fusão gera uma perturbação na mesma, comprometendo longitudinalmente a qualidade do cordão. Os defeitos são caracterizados por descontinuidades, as quais se assemelham a valetas. A região traseira da poça de fusão encontra-se em processo de solidificação, o que representa uma região de menor calor, incorrendo assim em menos capacidade de fusão de arame. Este fato se confirma em um estudo desenvolvido [10] em que apresentou-se um procedimento de soldagem para passe de raiz para aplicação de união de tubos. O autor demonstrou a necessidade da alimentação de arame frontal ao arco. Na mesma linha de aplicação apresentada por este autor, [13] apresenta resultados em que há a necessidade de inserção de arame frontal ao arco elétrico. Desta forma, a partir dos resultados obtidos neste trabalho, a técnica com alimentação de arame tangencial ao eletrodo representa uma possibilidade. A flexibilidade, em termos da independência da posição em que o arame é alimentado demonstra um aspecto importante desta técnica. Contudo, o fabricante recomenda a inserção de arame por trás do arco elétrico o que pode prevenir uma contaminação do eletrodo por contato com o arame, melhora no aspecto de molhabilidade e menor reforço, em contraste com o que é dito para alimentação frontal em que o risco de contaminação é maior, além do aumento do reforço e diminuição na molhabilidade. Cordões mais estreitos são ideais para aplicações em soldagem de união de tubos, por exemplo, e não seriam recomendados para a aplicação de soldagem de revestimento. Em virtude disto, seria necessário o desenvolvimento de novas estratégias para a execução do procedimento, como por exemplo a utilização da movimentação transversal (tecimento) da tocha em relação ao cordão soldado. Outro autor [11], apresenta um estudo a respeito da influência da forma em que o arame é inserido na formação da poça de fusão. O presente trabalho ilustrou que para determinados parâmetros e sentido de alimentação estabelecidos haverá problemas na formação da poça de fusão determinando assim a formação de defeitos do cordão soldado. A literatura técnica recomenda a alimentação por trás do arco apenas quando se faz uso do processo TIG alimentado com arame quente. O pré-aquecimento do arame garante um menor gradiente de

temperatura entre a poça de fusão e o metal a ser fundido, auxiliando desta maneira o processo de fusão do mesmo.

As tochas ilustradas nas figuras 7a e 7b representam a alimentação do arame radial e tangencial ao eletrodo. O principal aspecto a ser considerado condiz para aplicações em geometrias complexas. Além disto, a movimentação dos eixos do robô manipulador para execução do procedimento sem a necessidade de rotação da tocha. A acessibilidade permitida pela tocha representada na figura 7b, permitem sua utilização em soldagem de união e preenchimento de tubos com chanfro estreito, juntas em T, preenchimento em chanfros circulares. Além disso, a flexibilidade deste conceito em função do sistema de alimentação estar anexo à tocha, possibilitando aplicações em que não é possível quando o direcionador de arame não é anexo a tocha. A tocha ilustrada na figura 7a, é inacessível à região no interior do chanfro em função da estrutura do direcionador. Pigozzo [10], em seu trabalho, também destaca a importância da utilização de um sistema tocha-alimentação que permita regulagens de ângulo durante o processo de soldagem, permitindo o controle do operador sobre as variáveis. No entanto, o conceito de tocha com alimentação radial não permite que o direcionador de arame adentre em chanfros de menores dimensões, o que é uma tendência na indústria possibilitando a redução dos passes de preenchimento, consequentemente menos material e menos tempo na execução dos procedimentos.

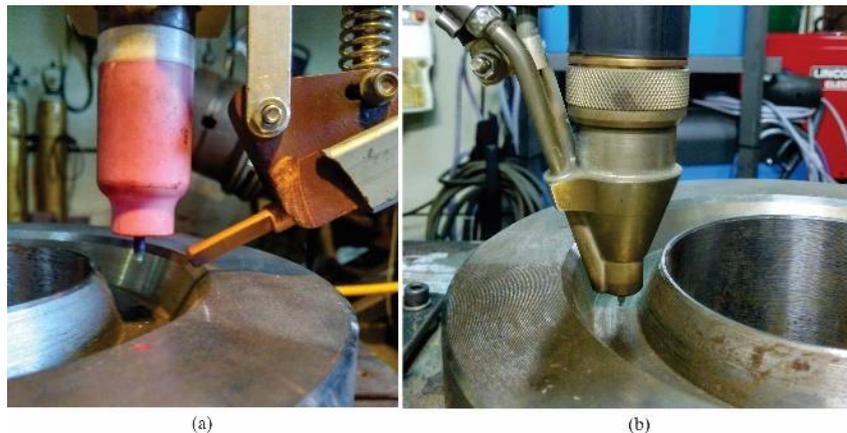


Figura 7 – Aplicação prática de soldagem de preenchimento de chanfro. (a) injeção de arame radial, ilustrando a impossibilidade de inserção da tocha no chanfro. (b) injeção de arame tangencial, ilustrando a possibilidade de adentrar a tocha no chanfro.

4. Conclusões

- Primeiramente, com relação ao ângulo em que o arame está disposto relativo ao eletrodo, é possível concluir que, interfere diretamente nos resultados;
- Para a alimentação frontal, melhor aspecto em relação a largura do cordão e a uniformidade de penetração foi encontrado para a inserção radial de arame.
- Para a alimentação radial, vasta literatura a respeito indica a não utilização desta posição de inserção de arame, e o presente trabalho corrobora com os resultados já discutidos;
- Para a alimentação lateral, observa-se um aspecto grosseiramente convexo para a injeção tangencial de arame. No entanto, para a injeção transversal o perfil geométrico do cordão soldado apresenta-se com aspecto de molhabilidade e um perfil de penetração simétrico. No entanto, a concavidade apresentada neste apresenta-se como uma problemática para aplicações em que haja a necessidade de penetração total, como se exige em soldagem de união;
- Para a soldagem multidirecional, portanto, recomenda-se a utilização de uma tocha com inserção de arame tangencial, visto que pelos resultados apresentados não apresentaram defeitos;
- Por último, indica-se a necessidade de realização de novas sessões de ensaio visando possíveis desdobramentos. Os resultados indicarão que uma dada configuração seja mais adequada para um certo procedimento (passe de raiz por exemplo), uma segunda configuração mais indicada para outro (passes de enchimento/acabamento), além da possibilidade da utilização em técnicas de proteção (tal como, *weld overlay*);

7. Referências Bibliográficas

- [1] Petrobras, “Exploração e Produção de Petróleo e Gás - Pré Sal”, 2015. [Online]. Available at: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/pre-sal/>. [Acessado: 03-set-2016].
- [2] R. H. Gonçalves e Silva, “Inovações em Equipamentos e em Parametrização no Processo de Revestimento por Plasma-Pó (PTA-P)”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.
- [3] M. August F, “Consumable electrode arcless electric working”. Google Patents, 25-fev-1964.
- [4] I. Sykes e J. Digiacomio, “Automatic hot wire GTA welding of pipe offers speed and increased deposition”, *Weld. J.*, vol. 74, nº 7, 1995.
- [5] J.-P. Barthoux e F. Polysoude, “Narrow gap welding of heavy wall thickness materials in nuclear and fossil fuel industries”, *Focus Nucl. power Gener. Polysoude-the art welding*, [www. Focus. com](http://www.Focus.com), 2008.
- [6] M. B. Schwedersky, R. H. Gonçalves e Silva, J. C. Dutra, U. Reisinger, e K. Willms, “Two-dimensional arc stagnation pressure measurements for the double-electrode GTAW process”, *Sci. Technol. Weld. Join.*, vol. 21, nº 4, p. 275–280, 2016.
- [7] S. Egerland, J. Zimmer, R. Brunmaier, R. Nussbaumer, G. Posch, e B. Rutzinger, “Advanced Gas Tungsten Arc Weld Surfacing Current Status and Application”, *Soldag. Inspeção*, vol. 20, nº 3, p. 300–314, 2015.
- [8] K. Kobayashi, Y. Nishimura, T. Iijima, M. Ushio, M. Tanaka, J. Shimamura, Y. Ueno, e M. Yamashita, “Practical application of high efficiency twin-arc TIG welding method (SEDAR-TIG) for PCLNG storage tank”, *Weld. World*, vol. 48, nº 7–8, p. 35–39, 2004.
- [9] L. C. Delgado, “Estudo e Desenvolvimento do Processo TIG com Alimentação Automática de Arame”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- [10] I. O. Pigozzo, “Soldagem TIG Orbital:: Otimização de Equipamentos e Prospecções tecnológicas para Procedimentos de Passe de Raiz”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.
- [11] A. Tokar, “Efeito dos Parâmetros de Pulsação no Processo TIG sobre a Formação da Poça de Fusão”, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.
- [12] T. Opderbecke e S. Guiheux, “TOPTIG: robotic TIG welding with integrated wire feeder”, *Weld. Int.*, vol. 23, nº 7, p. 523–529, 2009.
- [13] J. C. B. Ribeiro e R. H. G. da Silva, “Desenvolvimento de Procedimentos de soldagem TIG e Análise de Diferentes”, *Consolda*, 2011.