

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE VERSÕES DO PROCESSO MIG/MAG EM
TRANSFERÊNCIA CURTO CIRCUITO COM CONTROLE DE CORRENTE PARA SOLDAGEM
DE RAIZ EM TUBOS COM SISTEMA MECANIZADO

AUTORES:

Francisco Sartori¹, Rafael Costa Barbosa², Régis Henrique Gonçalves e Silva³

INSTITUIÇÃO:

¹LABSOLDA, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, f.sartori@labsolda.ufsc.br; ²LABSOLDA, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina; ³LABSOLDA, Prof. Dr. Eng. Mec.do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE VERSÕES DO PROCESSO MIG/MAG EM TRANSFERÊNCIA CURTO CIRCUITO COM CONTROLE DE CORRENTE PARA SOLDAGEM DE RAIZ EM TUBOS COM SISTEMA MECANIZADO

(Analysis and Comparison of Versions of the MIG/MAG Process in Short-Circuit Transfer with Current Control for Root Welding in Pipes with Mechanized System)

Resumo: O presente trabalho visa obter o conhecimento detalhado e a comparação de diferentes versões do processo MIG/MAG por transferência em curto circuito controlado. Embora muitos trabalhos na área de soldagem de tubos descrevem realizar o procedimento inteiramente mecanizado, através de sistemas orbitais, informações mais detalhadas sobre como este foi realizado acabam não sendo divulgadas. Os fabricantes desses sistemas tratam tais informações apenas visando ao marketing, sendo que o objetivo de pesquisadores é a comprovação e o levantamento das dificuldades encontradas. Nesse contexto, a soldagem de raiz com manipulador orbital mecanizado foi realizada em tubos utilizados na indústria de petróleo e gás, comparando três versões comerciais do processo MIG/MAG com controle de corrente. Nas três situações, a soldagem mostrou atender às condições de operação, em situações nas quais a junta dos tubos apresentava geometria favorável, sem a presença de desnivelamento, e com abertura de raiz em condições determinadas de tolerância. Por fim, inspeções visuais dos cordões e análises metalográficas foram realizadas no intuito de obter comparação entre as três versões.

GMAW; Soldagem Orbital; Mecanização.

Abstract: This paper seeks detailed knowledge and the comparison of different versions of the MIG / MAG process by transfer in controlled short circuit. Although many works in pipe welding area describe to perform fully mechanized procedure, through orbital systems, more detailed information on how this was accomplished are usually not disclosed. The manufacturers of these systems treat such information only aiming at marketing, but the goal of researchers is evidence and the raising of the difficulties encountered. In this context, the root welding with mechanized orbital manipulator was carried out in tubes used in the oil and gas industry, comparing three commercial versions of the MIG/MAG process with current control. In the three situations, the welding proved to meet the operating conditions, in situations where the joint of tubes presented favorable geometry, without the presence of high-low, and with the root gap in certain conditions of tolerance. Lastly, visual inspections of beads and metallographic analyzes were performed in order to obtain comparison between the three versions.

GMAW; Orbital Welding; Mechanization.

Introdução

No cenário mundial, a indústria da exploração e produção de petróleo e gás natural é um importante ramo da economia, onde a busca tecnológica para o seu desenvolvimento influencia diretamente no aumento da competitividade desses produtos e derivados. No Brasil, principalmente depois da descoberta do pré-sal em 2006, isto não é diferente. O Brasil vem atingindo recordes de exploração/produção, prevendo o aumento significativo na fabricação de linhas de tubos terrestres e marítimos para o transporte dos produtos.

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Em atividades de construção, montagem, reparo e manutenção das linhas de tubos, a soldagem é o principal processo de fabricação utilizado, concedendo integridade estrutural das juntas. Ademais, processos de soldagem mais produtivos influenciam diretamente nos custos, cronogramas, análise de riscos e viabilização de projetos.

No entanto, a carência de profissionais qualificados e as dificuldades para a execução da atividade de soldagem em tubos, principalmente no passe de raiz é evidente. Tipicamente, a soldagem de tubos é realizada com um passe de raiz com processo TIG (Tungstênio Inerte Gás) e preenchimento com soldagem por eletrodo revestido, ambos sendo manual [1]. Já em alguns casos, dependendo da disponibilidade e a qualificação dos soldadores, a raiz também é executada com eletrodos revestidos, normalmente celulósicos. Todo o procedimento acaba tendo a influência direta da atuação do soldador, sendo que em muitos casos a falta de habilidade acaba em soldas com excesso de descontinuidades, gerando retrabalhos pontuais ou a reprovação da junta completa. Ao longo dos anos, isso vem estimulado os institutos e empresas nacionais e internacionais do ramo da soldagem a atuarem no desenvolvimento tecnológico para a mecanização nos equipamentos e procedimentos.

Mesmo a soldagem sendo realizada por equipamentos mecanizados para a movimentação da tocha, um soldador é requerido para operar o equipamento. O conhecimento e a percepção visual deste fazem com que no procedimento sejam realizadas correções, devido às variações geométricas do chanfro, minimizando possíveis descontinuidades [2]. No entanto, é mais rápido treinar um soldador com equipamento mecanizado do que um soldador manual.

Na fabricação das linhas de tubos, a execução da raiz é geralmente o processo de controle da velocidade na construção da linha de tubos, ditando o ritmo da obra [3]. A execução é dificultosa pela exigência da integridade desse cordão, no entanto raízes com versões MIG/MAG produzem cordões com espessuras suficientes de metal fundido, eliminando a necessidade de passes quentes ou conhecido também como passe de reforço [2].

Ainda que o processo MIG/MAG seja uma opção favorável na execução do passe de raiz, a versão curto circuito convencional com comando em tensão é um fator limitante, porque não atua diretamente na corrente que é a variável de influência determinante para a solda. A atuação indireta restringe determinados objetivos, dificultando o controle do passe de raiz no fundo dos chanfros devido à variação da corrente média quando a tocha se desloca lateralmente a junta [4]. Quando isso acontece, há uma forte tendência do arco ancorar em regiões onde favorece a passagem da corrente, podendo gerar desvios do arco principalmente por características geométricas irregulares da junta.

Além do mais, outro problema que envolve o uso da versão curto circuito convencional MIG/MAG é devido a uma regulagem errônea de parâmetros elétricos, tensão e indutâncias, gerando uma transferência metálica com excesso de respingos. Esses respingos acabam se solidificando na região do chanfro, gerando a necessidade de operação para removê-los, impactando diretamente na produtividade da junta.

Uma alternativa da minimização das problemáticas da versão convencional, e muito utilizado em várias aplicações de fabricação de linhas de tubos no mundo, é o uso de versões MIG/MAG em curto circuito com controle de corrente. A tecnologia de controle da corrente permite um nível de controle da poça de fusão que habilita seu uso para o passe de raiz [5].

Com o desenvolvimento dessas versões, as vantagens estão ligadas ao menor aporte térmico e menor nível de tensões residuais, menores gasto de energia, menor custo de gás de proteção, por utilizar maiores concentrações de CO₂ ou até mesmo CO₂ puro, a soldagem fora de posição, a total

confiabilidade na soldagem de passe de raiz, uma melhor geometria do cordão de solda e ao menor nível de respingos [6].

Algumas empresas de tecnologia de soldagem disponibilizam no mercado suas versões, cada uma com características particulares. Alguns exemplos como as versões internacionais STT (Surface Tension Transfer) da empresa Lincoln Electric e CMT (Cold Metal Transfer) da empresa Fronius e a única tecnologia nacional CCC (Curto Circuito Controlado) da empresa IMC Soldagem.

Com o intuito de utilizar essas tecnologias para a aplicação industrial, aliando todas as vantagens, é que o trabalho vem sendo desenvolvido, estudando a aplicação em sistemas mecanizados para a execução do passe de raiz em tubos.

O objetivo principal foi investigar e conhecer essas versões, avaliando os resultados geométricos dos cordões nas diferentes posições de soldagem de raiz em tubo. Ao final, as limitações que podem apresentar essas versões na execução do passe de raiz mecanizado.

Materiais e Métodos

Para a realização dos ensaios foram utilizados tubos de aço de baixo carbono, com diâmetro externo de 16" (406,4 mm) e espessura de parede de $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm). Primeiramente usinado as extremidades e montado chanfro em "V", como mostrado na Figura 1. Na montagem das juntas, tomou-se cuidado no melhor posicionamento entre os tubos, a fim de evitar desalinhamentos (*high-low*) e variações de abertura da raiz (*gap*) que pudessem de alguma forma interferir na soldagem. As verificações dessas medidas foram feitas com um calibre de solda, tendo como valor de referência a abertura da raiz ao longo da junta entre 2,5 mm e 3 mm.

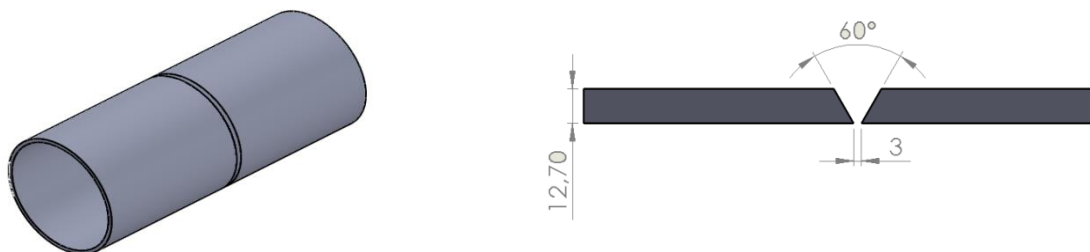


Figura 1. Desenho esquemático de chanfro em "V" usado em tubos

O equipamento utilizado em todos os ensaios para manipulação da tocha no curso dos tubos foi o Tartilope V3, que é desenvolvimento tecnológico do LABSOLDA. É um manipulador robótico para soldagem que possui movimentação automática em três eixos, permitindo que o equipamento reproduza os movimentos necessários para executar tarefas de soldagem de elevada complexidade [7]. Esse manipulador robótico se desloca sobre um trilho, como mostrado na Figura 2, de modo que pode realizar a parametrização de movimentos antes e durante a execução da solda.

Como metal de adição usou-se o arame ER70S-6 de 1,2 mm e proteção gasosa com a mistura C 25 (75% Ar, 25% CO₂) e vazão de 15 l/min.

Sendo comum a divisão da seção de um tubo como um relógio, as soldas foram executadas todas no sentido descendente a partir da posição 12h até 6h, percorrendo 180° do tubo. Para as análises de resultados, foi estipulado que a posição 11h do tubo referencia-se a posição plana (PP), 9h a posição vertical (PV) e 7h a posição sobre cabeça (SC). Outra questão que vale ressaltar é que os ensaios foram executados sempre no sentido anti-horário devido ao melhor arranjo da bancada de ensaios (melhor disposição de cabos, de fontes, sistemas de aquisição de dados, etc.).



Figura 2. Manipulador robótico Tartílope V4 fixado a trilho

Nas três versões MIG/MAG foram usados programas sinérgicos, sendo que cada um apresenta parâmetros de regulação diferentes. CCC: aço carbono C25, va 3,3 m/min, a 30, cta 1,0, ckr 0,0; STT: steel 1,2 mm, Ar CO₂, va 3,3 m/min, Peak off, Trim 1,25; CMT: G3Si 1,2 mm, Ar CO₂, va 5,9 m/min, CA -10, CD 3. Levantamentos prévios foram realizados em tubos, a fim de encontrar parâmetros aceitáveis para uma solda de qualidade para a raiz.

Para fim de comparação, foi mantida a mesma parametrização de movimento em todos os ensaios. A velocidade de soldagem (vs) variando de 16 a 19 cm/min. A amplitude de tecimento (At) atribuída em 3 mm e frequência (f) em 1,5 Hz. Como perfil de tecimento foi definido o trapezoidal, fazendo com que tenha uma parada de movimento da tocha em cada extremidade do chanfro. A distância do bico de contato até a peça (DBCP) foi regulada em 17 mm.

Em todos os ensaios, aquisições de dados elétricos e de velocidade de arame foram obtidas, usando a ferramenta SAP (Sistema de Aquisição Portátil) da empresa IMC, e posterior tratamento dos dados para análise das versões.

Resultados e Discussão

A fim de atingir aos objetivos da pesquisa, algumas análises quantitativas e qualitativas foram realizadas. Primeiramente a verificação de cada versão com relação ao comportamento do arco dentro do chanfro, o comportamento da poça ao longo das posições de soldagem, o atingimento do arame em relação à poça e a estabilidade do processo.

Um importante ponto a considerar é a relação do ancoramento do arco com o chanfro. Na versão CMT quando estabelecido na fonte de soldagem uma velocidade de arame (va) de 3,3 m/min, o valor da tensão registrada no painel frontal foi de apenas 12 V, e o arco tendenciado a ancorar em apenas em um dos lados no flanco do chanfro. A percepção é que o arco tende a ancorar em uma região mais favorável, fazendo que a poça de fusão não tenha atuação precisa em ambos os lados. Ficou evidenciado que para a situação de chanfro proposta, essa regulação de parâmetros foi impossível de ser utilizada. Para a solução, aumentou-se o valor da velocidade de arame até uma condição satisfatória, sendo regulado na fonte 5,9 m/min e o parâmetro CA (correção do arco) para o valor de -10, a fim de manter a altura de arco menor. Para as outras versões, CCC e STT, o valor de objetivo que foi de 3,3 m/min atendeu plenamente.

A soldagem orbital em tubos apresenta diferentes posições ao longo de seu perímetro, e com isso, a variação da velocidade de soldagem se faz necessária devido ao escorrimento da poça de fusão em determinadas posições. Para todas as versões, essa variação aconteceu principalmente na posição

vertical. O operador do equipamento de soldagem mecanizada (soldador), através de sua percepção visual, manteve o arame destacando por curto circuito atingindo o centro da poça de fusão, com o intuito de garantir o melhor comportamento dessa relação ao procedimento.

No decorrer da soldagem, as três versões apresentaram bons resultados quanto à estabilidade da transferência, verificado em análises de oscilogramas. A Figura 3, Figura 4 e Figura 5 mostram parte dessa estabilidade que se repetiu ao longo de toda a soldagem. Em uma análise qualitativa durante os ensaios, a quantidade de respingos é mínima, uma das características do bom funcionamento dessas versões.

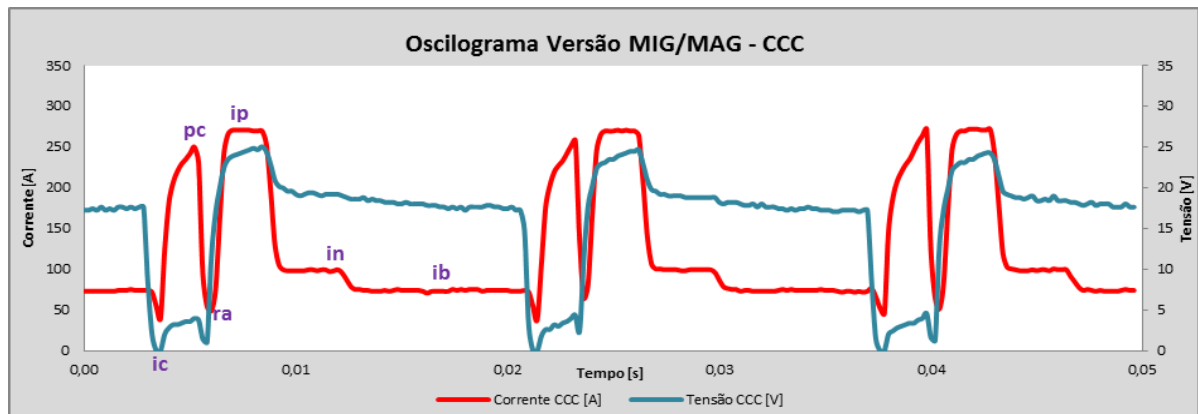


Figura 3. Forma de onda da versão CCC do fabricante IMC, programa sinérgico C25, arame 1,2 mm

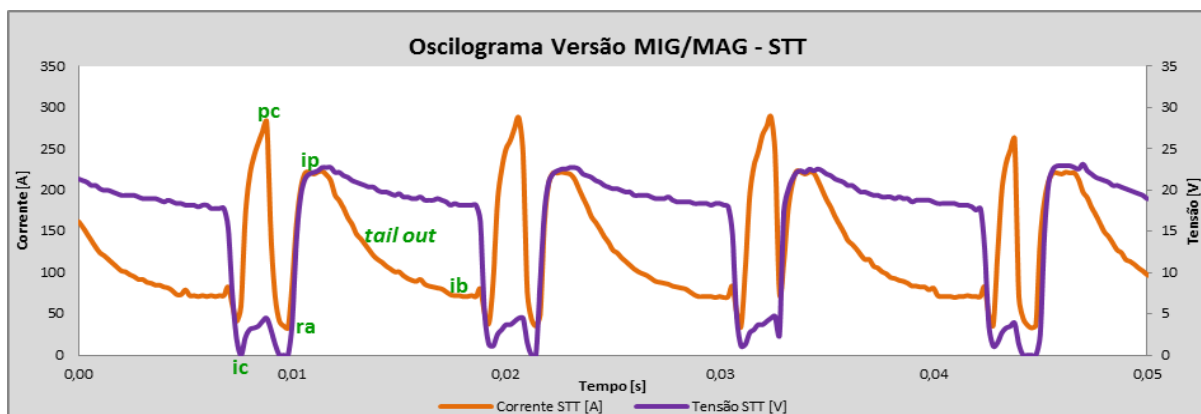


Figura 4. Forma de onda da versão STT do fabricante Lincoln Electric, programa STT - Steel 1,2 mm Ar CO₂

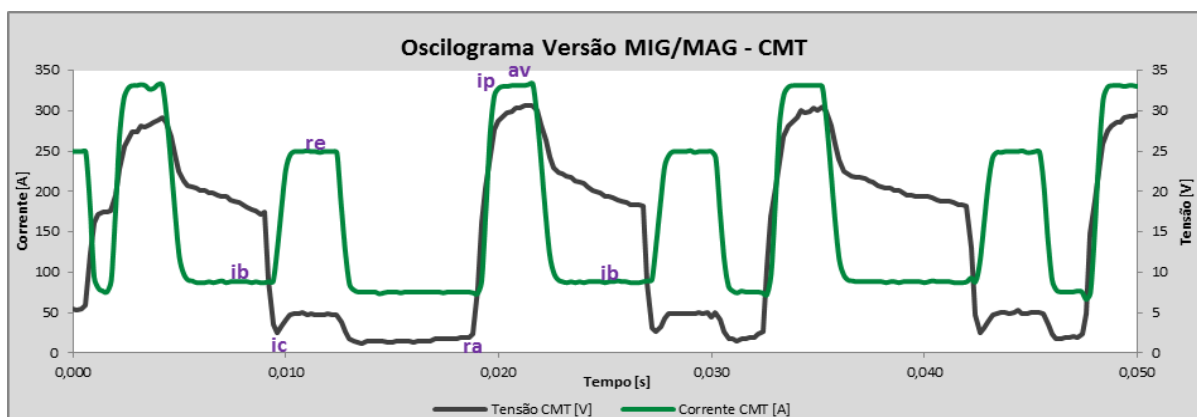


Figura 5. Forma de onda da versão CMT do fabricante Fronius, programa sinérgico G3Si, arame 1,2 mm

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

A Figura 6 mostra a sequência detalhada da versão CCC, a partir da gota formada plenamente, o contato inicial, a formação da ponte metálica até sua ruptura, a reabertura do arco e por último a formação de uma nova gota dando continuidade ao ciclo.

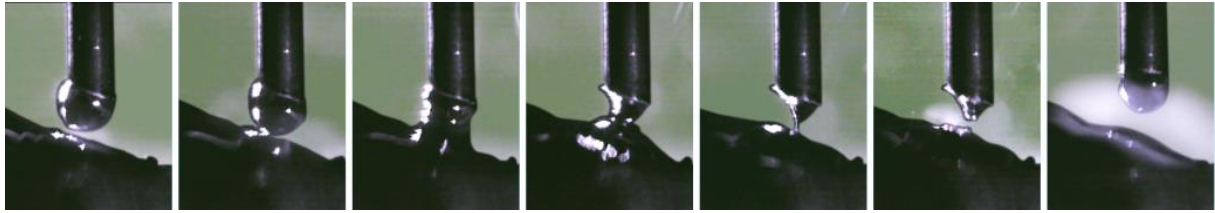


Figura 6. Imagens reais da transferência metálica do sistema CCC da empresa IMC-Soldagem

Com relação aos cordões de solda, uma avaliação visual foi feita com o intuito de verificar se havia a existência de descontinuidades que os comprometessem. Descontinuidades comuns em normas como penetração incompleta, concavidade excessiva da raiz (*burn-through*), penetração excessiva da raiz, poros superficiais, mordeduras, falta de fusão, poros, não foram observados nos cordões.

Para uma análise mais detalhada do perfil geométrico de penetração e uma melhor condição de visualização das descontinuidades, macrografias mostradas na Figura 7, Figura 8 e Figura 9 foram preparadas. Cada posição de soldagem, plana, vertical e sobre cabeça, amostras em mesma referência pontual dos tubos foram cortadas.

Nos resultados, apenas a versão CMT mostrou não atender plenamente as condições exigíveis. Em amostra na posição plana, Figura 7 (c), além de apresentar poro no centro do metal fundido, a falta de fusão (ff) é perceptível em um dos flancos do chanfro, comprometendo a integridade da raiz por ser um concentrador de tensões.

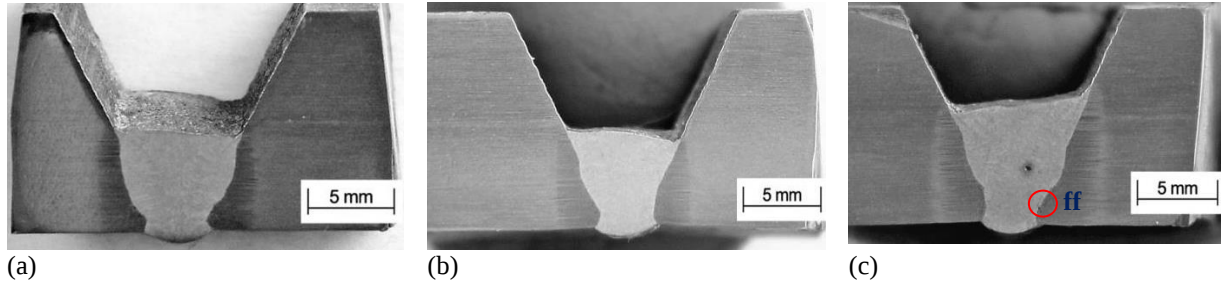


Figura 7. Macrografias na posição plana - 11h (a) CCC (b) STT (c) CMT

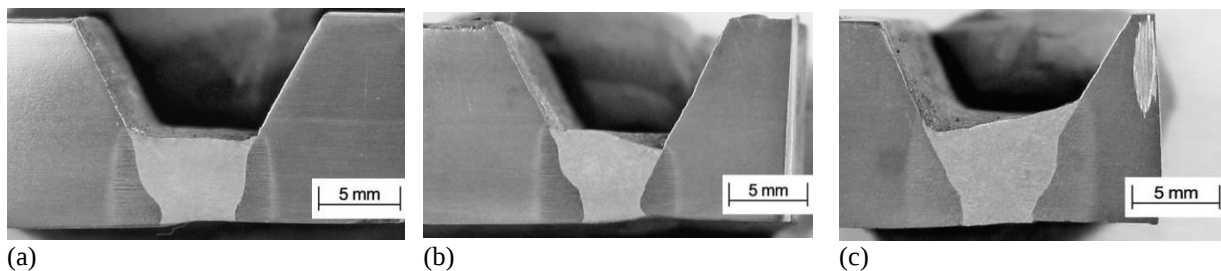


Figura 8. Macrografias na posição vertical - 9h (a) CCC (b) STT (c) CMT

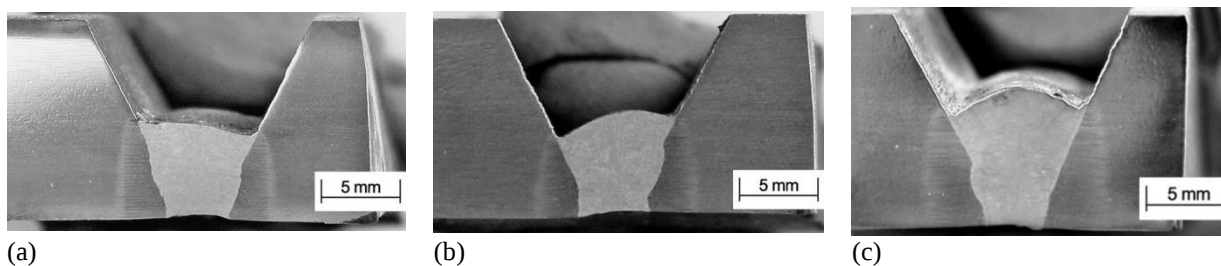


Figura 9. Macrografias na posição sobre cabeça - 7h (a) CCC (b) STT (c) CMT

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Embora as versões STT e CMT na posição sobre cabeça apresentarem uma convexidade excessiva na superfície da raiz, o que não é considerado defeito, os demais resultados se mostraram de boa qualidade, principalmente a versão CCC, que em todas as posições do tubo teve boa fusão nos flancos do chanfro.

Conclusões

- O manipulador robótico para soldagem orbital, Tartilope V3, mostrou atender com bom desempenho dinâmico aos parâmetros de movimentação impostos, além da facilidade de operação;
- A soldagem de raiz em tubos é possível de ser realizada sem o uso de anteparo (*backing*), com a utilização de versões MIG/MAG em curto circuito com controle de corrente, nas condições dos ensaios realizados. A geometria do chanfro apresentava regularidade na abertura de raiz e mínimo de desalinhamentos entre os tubos;
- As três versões, CCC, STT e CMT, apresentaram boa estabilidade de processo ao longo da junta, com mínimo de respingo, resultando em cordões de ótima aparência superficial e penetração total na parte interna da raiz dos tubos;
- O perfil geométrico de fusão nos flancos do chanfro, com a versão CCC e STT obtiveram resultados expressivos em todas as posições, sem quaisquer descontinuidades que puderam comprometer o procedimento. Já a versão CMT, na parametrização regulada, apresentou falta de fusão na amostra metalográfica da posição plana. Essa falta de fusão compromete a integridade da junta, por ser um ponto de concentração de tensões.

Agradecimentos

A toda equipe do LABSOLDA – Laboratório de Soldagem da UFSC, ao Posmec – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, e em especial à Agência Nacional do Petróleo – ANP pela bolsa de pesquisa através do Programa de Recursos Humanos PRH – ANP 09, que tornou possível o desenvolvimento desse trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] EMMERSON J.G. **Fcaw Orbital Pipe Welding Technology Improves Fab Shop Productivity.** *Welding Journal*, vol. 78, n. 11, p. 57-59, Nov. 1999.
- [2] EMMERSON J.G. **Maximizing a Productivity Tool for Large-Pipe Welding.** *The Fabricator*, Aug. 2007.
- [3] YAPP D.; BLACKMAN S. A. **Recent Developments in High Productivity Pipeline Welding.** *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. XXVI, n. 1, p. 89-97, 2004.
- [4] DUTRA J. C.; SILVA R. G. **MIG-MAG - Transferência Metálica por Curto-Circuito sob Controle da Forma de Onda da Corrente - Sistemas CCC e STT - Fundamentos.** *Soldagem e Inspeção*, vol. 13, n. 2, p. 92-96, 2008.
- [5] SILVA R. H. G.; DUTRA J. C.; GOHR JR R.; CUNHA T. V. **Soldagem e sua Automação na Indústria de Petróleo e Gás – Recentes Desenvolvidos do Labsolda/UFSC.** *4o PDPEPETRO*, Campinas, SP, 21-24 Outubro 2007.
- [6] BAIXO C. E. I. **Estudo da soldagem MIG/MAG pela técnica hiperbárica a seco.** Florianópolis - SC : Tese de Doutorado - UFSC, 1999.
- [7] SPS - **Sistemas e Processos de Soldagem.** disponível em www.spssoldagem.com.br/tartilope_v4.php [Acesso em 04.05.2015].