

Avaliação de Raiz na Soldagem Orbital Mecanizada de Tubos Utilizando Diferentes Versões do Processo MIG/MAG com Curto Circuito Controlado

(Root Assessment in Pipes Mechanized Orbital Welding Using Different Controlled Short Circuiting MIG/MAG Process Versions)

Francisco Sartori¹, Rafael Costa Barbosa¹, Luiz Eduardo Paes¹, Régis Henrique Gonçalves e Silva¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica - LABSOLDA, Florianópolis, SC, Brasil, f.sartori@labsolda.ufsc.br

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.

Palavras-chave: 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.*

Key-words: GMAW; Orbital Welding; Mechanization.

1. 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.

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 estimulando 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 do soldador 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 regulação 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 uma operação de remoção, impactando diretamente na produtividade da junta.

Uma alternativa da minimização das problemáticas da versão com curto circuito convencional MIG/MAG, 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 realização da soldagem fora de posição, a total confiabilidade na soldagem de passe de raiz, a 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 dados elétricos e 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.

2. Versões MIG/MAG com curto circuito controlado

Para entender como essas versões com controle de corrente atribuem grandes vantagens, precisa-se entender o fundamento de funcionamento. Para esse tipo de transferência, projetam-se as formas de onda de energia para que se obtenha um dimensionamento adequado das gotas transferidas [7]. Desde a formação da gota até a sua transferência por curto circuito vários fenômenos físicos acontecem.

Para a formação da gota, o arame eletrodo recebe calor pelo efeito da potência ôhmica (efeito joule), não suficiente para a fusão do arame, e também o calor provido do arco elétrico. Com relação às forças envolvidas, a força eletromagnética, a força de arraste do jato de plasma, a força devido à tensão superficial são algumas relatadas por vários autores que explicam o funcionamento dos fenômenos físicos envolvidos para realizar a transferência metálica. A teoria mais aceita para essa transferência considera um balanço de forças atuando no sistema [8].

A força eletromagnética devida ao eletrodo estar submetido à passagem de corrente em sua extensão, denominado por efeito *Pinch*, é responsável pela contração da ponte metálica líquida adjacente ao eletrodo

sólido, favorecendo o destacamento [8].

A força denominada como tensão superficial é uma das mais pronunciadas quando se fala em transferência metálica por curto circuito controlado. Esta força atua no sentido de reduzir ao mínimo a energia superficial livre [9]. No caso da soldagem MIG/MAG a força da tensão superficial age primeiro no sentido de reter a gota metálica ao eletrodo, tendendo a formação de uma forma esférica. No entanto quando ocorre o curto circuito, a tensão superficial age no sentido contrário, puxando a gota no sentido da poça [8].

Na versão MIG/MAG convencional o contato inicial do arame e a poça acontecem a uma região muito pequena. Tem-se instantaneamente o aumento da intensidade da corrente ocorrendo vaporização metálica [4], sendo um ponto desfavorável dessa versão pela ocorrência de respingos. A eliminação dessa problemática acontece diminuindo a corrente no instante de contato (ic) [10], o que ocorre nas versões CCC e STT. Isto é visto nos oscilogramas da Figura 1 e Figura 2 quando o valor da leitura de tensão detectada cai a valores próximos a zero. A permanência em corrente baixa é de poucos microssegundos (μ s), seguido de um pulso de corrente (pc) que tem como função aumentar a força eletromagnética atuando no estrangulamento da ponte metálica. O fim do tempo de pulso para haver o estrangulamento depende da detecção da iminência de destacamento da gota [4]. No sistema CCC, primeiramente isso era realizado por intermédio da monitoração da resistência de contato, feito pela divisão da leitura da tensão pela corrente [11]. Porém, em versões atuais do CCC e também em versões STT, essa monitoração da taxa de variação da resistência é determinada indiretamente pela medição consecutiva da mudança da tensão por unidade de tempo. Com o fim do tempo de pulso e a ponte metálica prestes a romper, a corrente novamente diminui em uma dinâmica elevada, fazendo que a tensão superficial seja a principal força atuando para a acomodação suave da ponte a poça e o fim do destacamento, diminuindo a tendência de formação de respingos.

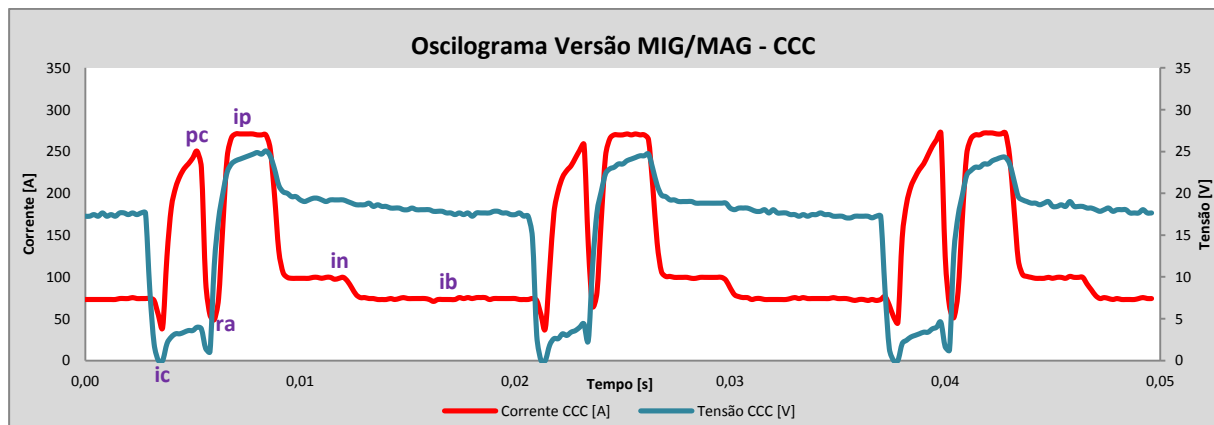


Figura 1. Forma de onda da versão CCC do fabricante IMC, programa sinérgico C25, arame 1,2 mm

A reabertura do arco (ra) é realizada em baixa corrente, entre 40 A e 50 A, no entanto, logo após um pico de corrente (ip) é imposto. Nos oscilogramas dos programas sinérgicos utilizados é possível observar que para o CCC esse valor é de 270 A, já o STT é de 220 A. Para Kvasov [12], esse pico age na formação do volume requerido da gota, aumentando a pressão do arco, assegurando a profundidade de penetração adequada e também é responsável pelo controle do aporte térmico. Além disso, o pico causa uma depressão na poça, evitando o contato prematuro com a gota em formação [10].

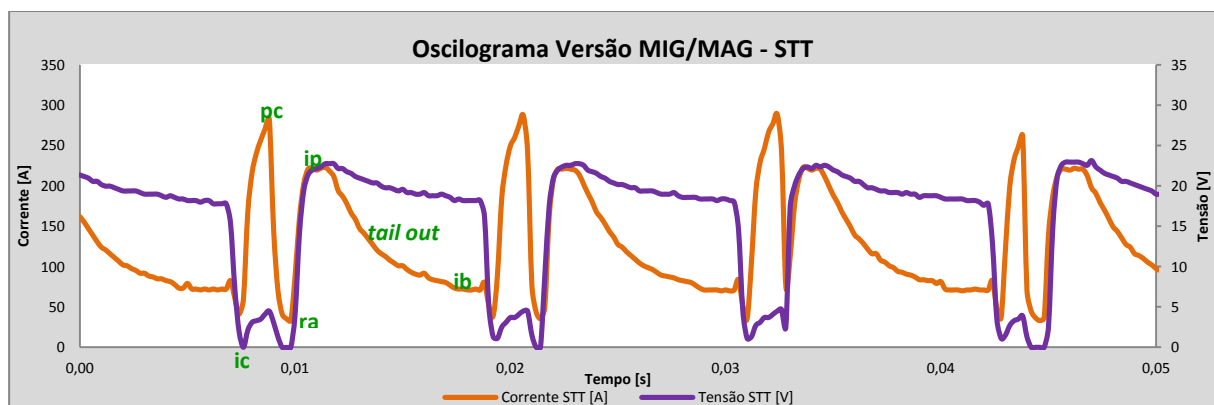


Figura 2. Forma de onda da versão STT do fabricante Lincoln Electric, programa STT - Steel 1,2 mm Ar CO₂

A próxima fase tem-se uma redução da corrente como forma de amortecimento da poça e a fluidez do metal

fundido [11]. No CCC, o decréscimo apresenta um patamar intermediário (in), promovendo um ajuste fino no aporte térmico do processo [13]. No STT, essa fase é conhecida como *tail out*, tendo um decréscimo exponencial para o valor de base. Um decréscimo rápido da corrente não é aceitável, porque pode resultar em perturbações no processo [12].

O ciclo tem-se a continuidade com a corrente de base (ib) que nas duas versões fica em torno de 75 A. Essa corrente é mantida em patamar baixo, garantindo o aquecimento dos eletrodos (gota e poça) e a fluidez dos mesmos, assim como a manutenção do arco [11].

A Figura 3 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.

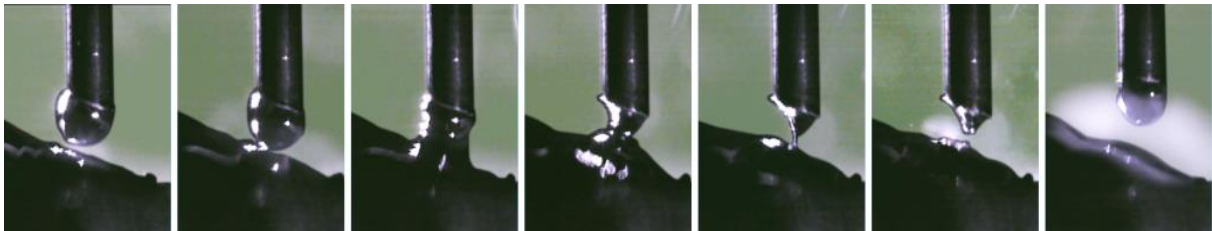


Figura 3. Imagens reais da transferência metálica do sistema CCC da empresa IMC-Soldagem

Com relação à versão CMT, o funcionamento é realizado com um sistema eletromecânico, que integra ao processo de soldagem movimentos reversíveis do arame. Toda vez que o curto circuito ocorre, o programa interrompe o fornecimento de energia e controla a retração do arame, como mostrado na Figura 4, em frequências de 70 Hz auxiliando no destacamento da gota [14]. Essa dinâmica é realizada devido equipamento possuir um sistema de alimentação de arame composto por dois motores, um sendo o cabeçote alimentador e o outro na tocha, além de um sistema de absorção de arame chamado de *buffer*. Em uma visão simplificada o motor do cabeçote fornece a média da velocidade de arame para o *buffer*, sendo que o motor da tocha, responsável pelo movimento de avanço e recuo de arame é suprido pelo arame do *buffer* [15].

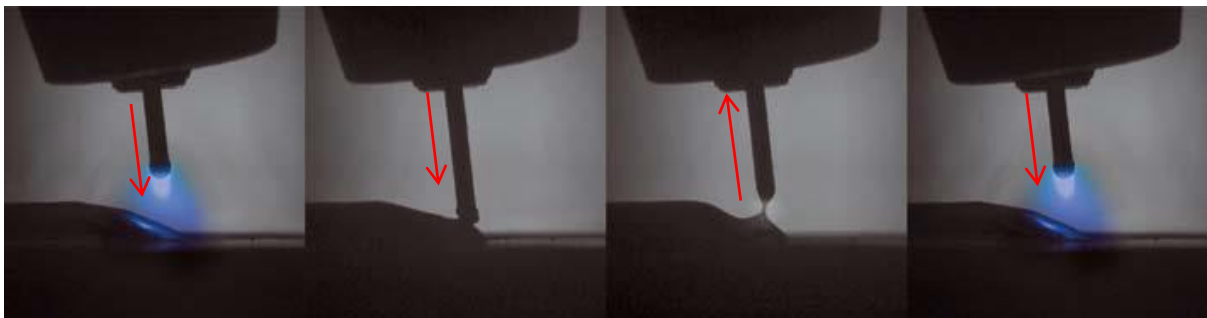


Figura 4. Principais fases da versão CMT [14]

No programa sinérgico utilizado para soldagem de raiz em tubos de aço de baixo carbono, a forma de onda mostrada na Figura 5, representa o comportamento da corrente e da tensão durante alguns ciclos.

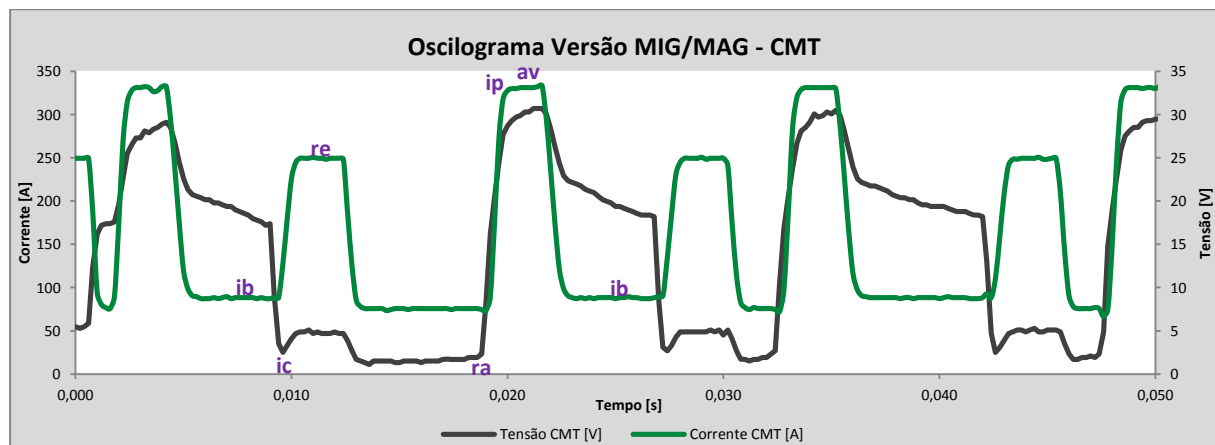


Figura 5. Forma de onda da versão CMT do fabricante Fronius, programa sinérgico G3Si, arame 1,2 mm

O instante de contato (ic) é perceptível com a queda de tensão, sendo que a corrente de base (ib) antecedente a isso, para manter a gota aquecida e a manutenção do arco, apresenta valores próximos a 90 A. Logo após, tem-se um aumento da corrente a 250 A e a desaceleração do avanço do arame. Na metade deste patamar começa a acontecer o recuo do arame (re), e na sequência a corrente volta a baixar a valores de 75 A acontecendo o rompimento da ponte metálica. A reabertura do arco (ra) acontece sequencialmente, ainda em baixa corrente, e um aumento praticamente instantâneo da corrente, chamada de corrente de pulso (ip), age para a formação de uma nova gota. O arame que ainda nessa fase está recuando faz a desaceleração e inverte na metade do patamar, que está em 330 A, e começa a avançar em sentido a poça novamente (av). Depois de um determinado tempo, a corrente volta a baixar para a corrente de base (ib) e há a continuação do ciclo.

3. 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 ½” (12,7 mm). Primeiramente usinado as extremidades e montado chanfro em “V”, como mostrado na Figura 6. Na montagem das juntas, tomou-se cuidado no melhor posicionamento entre os tubos, a fim de evitar desalinhamentos e variações de abertura da raiz 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.

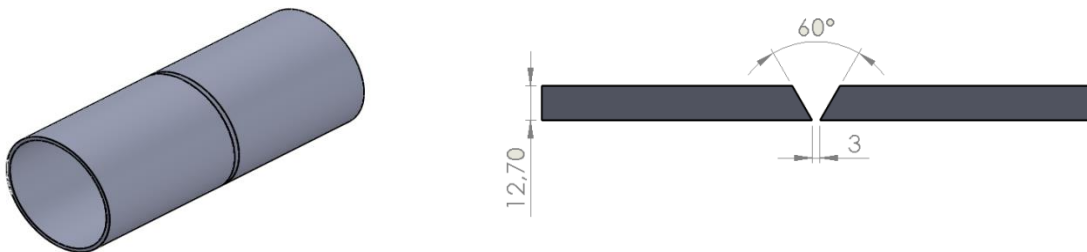


Figura 6. Desenho esquemático de chanfro em “V” usado em tubos

O equipamento utilizado em todos os ensaios para manipulação da tocha no curso dos tubos foi o Tartílope 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 [16]. Esse manipulador robótico se desloca sobre um trilho, como mostrado na Figura 7, de modo que pode realizar a parametrização de movimentos antes e durante a execução da solda.



Figura 7. Manipulador robótico Tartílope V4

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, sem a utilização de anteparo da poça de fusão (*backing*). A solda iniciou-se 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.).

Nas três versões MIG/MAG foram usados programas sinérgicos, sendo que cada um apresenta parâmetros de regulagem 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.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análise do procedimento

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 ponto de contato do arame em relação à poça e a estabilidade do processo.

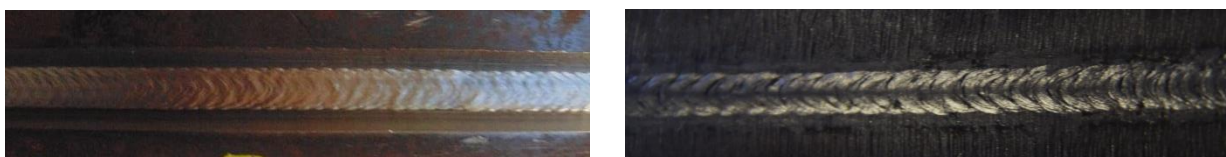
Um importante ponto a considerar é a relação do ancoramento do arco com o chanfro. Na versão CMT quando estabelecido na fonte de soldagem uma velocidade de arame (*va*) de 3,3 m/min, o valor da tensão registrada no painel frontal foi de apenas 12 V, e o arco tendenciado a ancorar em apenas em um dos 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 regulagem 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 escorrimo 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 1, Figura 2 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.

3.2. Análise das soldas

Primeiramente, uma avaliação visual dos cordões de solda foi feita com o intuito de verificar se havia a existência de descontinuidades que as comprometessem. Descontinuidades comuns em normas como penetração incompleta, concavidade excessiva da raiz, penetração excessiva da raiz, perfuração, poros superficiais, mordeduras, falta de fusão, poros, não foram observados nos cordões. A Figura 8, Figura 9 e Figura 10 mostram tanto a superfície da raiz, quanto a parte interna.



(a)

(b)

Figura 8. Cordão de raiz com a versão CCC (a) superfície da raiz (b) parte interna

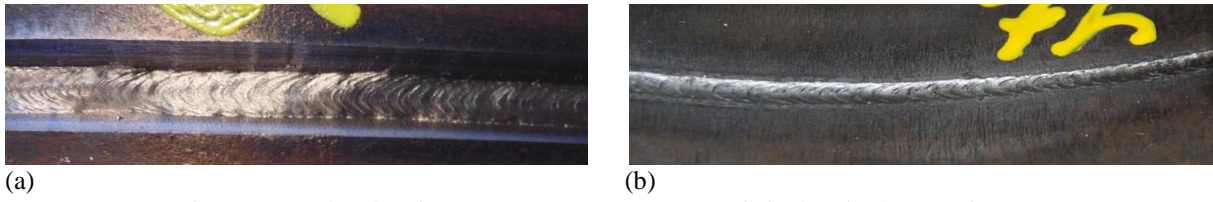


Figura 9. Cordão de raiz com a versão STT (a) superfície da raiz (b) parte interna

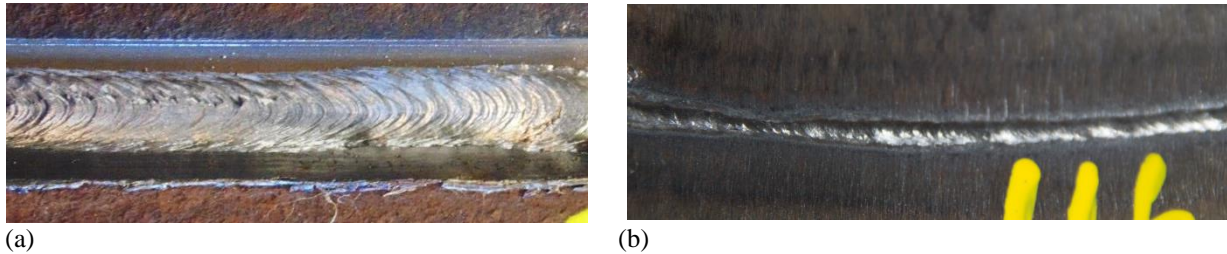


Figura 10. Cordão de raiz com a versão CMT (a) superfície da raiz (b) parte interna

No entanto, para uma análise mais detalhada do perfil geométrico do metal fundido e uma melhor condição de visualização das discontinuidades, macrografias mostradas na Figura 11, Figura 12 e Figura 13 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 11 (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.

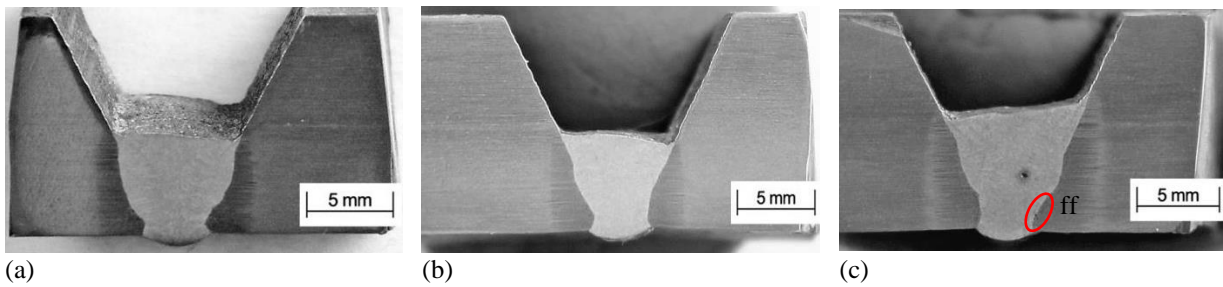


Figura 11. Macrografias na posição plana - 11h (a) CCC (b) STT (c) CMT

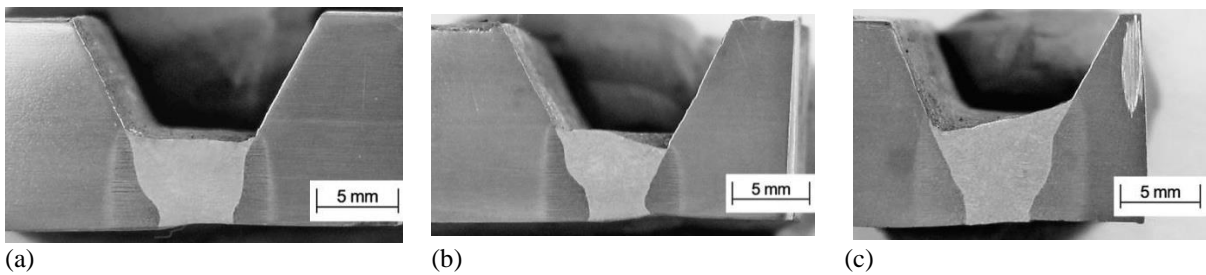


Figura 12. Macrografias na posição vertical - 9h (a) CCC (b) STT (c) CMT

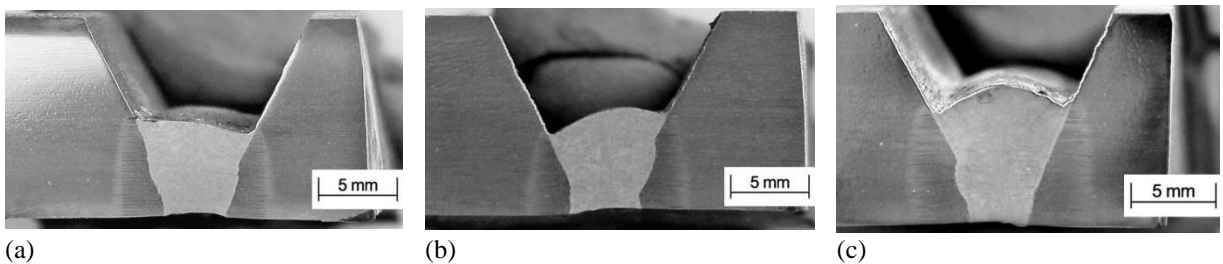


Figura 13. Macrografias na posição sobre cabeça - 7h (a) CCC (b) STT (c) CMT

Embora as versões STT e CMT na posição sobre cabeça apresentem 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.

Outro ponto analisado foi como a alteração do comportamento da poça de fusão ao longo das posições do tubo, influenciou em um perfil solidificado diferente a cada posição, porém similar entre as versões. Na posição plana é nítida a presença de reforço de raiz, tais que os valores medidos foram: CCC – 0,7 mm; STT – 0,5 mm; CMT – 0,6 mm. Para a posição vertical e sobre cabeça, o aspecto da raiz ficou no mesmo patamar, ou em alguns casos, uma pequena concavidade interna ocorreu em relação ao tubo.

No que diz respeito à espessura de metal depositado, nas versões CCC e STT foi constatada a similaridade de valores, em torno de 6,2 mm na posição plana, 5,5 mm na posição vertical e 6,0 mm na sobre cabeça. O CMT devido à ocorrência que, para conseguir realizar a soldagem ter sido aumentado os parâmetros de velocidade de arame e consequentemente o aumento da corrente e tensão, teve uma maior espessura depositada. Na posição plana o valor foi de 7,4 mm, na vertical 6,3 mm e na sobre cabeça 8,0 mm.

Por fim, a compilação de dados das variáveis elétricas e o valor real medido da velocidade de arame são expostos na Tabela 1. Essas medidas representam a média dos valores instantâneos aquisitados. Os valores das versões CCC e STT são semelhantes, o que torna a comparação mais coerente, principalmente ao exposto nas macrografias com relação ao perfil geométrico do metal fundido. A versão CMT, no entanto, registrou em ferramenta de aquisição uma velocidade de arame maior, em torno de 4,7 m/min o que pode explicar a maior espessura de cordão depositada. Além disso, uma maior potência e maior corrente média foi registrada. Mesmo assim, o procedimento acabou ficando suscetível a falta de fusão nos flancos do chanfro. A explicação disso pode ser devido ao mecanismo de transferência das gotas dessa versão, onde o tempo em curto é relativamente maior que o tempo em curto das outras versões. Isso foi observado em comparação de oscilogramas da Figura 1, Figura 2 e Figura 5. Essa ocorrência tende a deixar a gota mais fria, o que pode dificultar na fusão com o metal de base e tornando a versão desfavorável para a soldagem nas condições de ensaio proposta.

Tabela 1. Valores medidos através de ferramentas do equipamento SAP.

Versão de Processo	Posição	Um [V]	Im [A]	P [W]	va [m/min]
CCC	Plana - 11h	16,1	122	1911	3,4
	Vertical - 9h	16,4	119	1914	3,4
	Sobre cabeça - 7h	16,8	113	1919	3,4
STT	Plana - 11h	15,6	123	1798	3,4
	Vertical - 9h	15,3	126	1826	3,5
	Sobre cabeça - 7h	15,3	126	1862	3,4
CMT	Plana - 11h	14,8	158	2673	4,8
	Vertical - 9h	14,8	160	2708	4,7
	Sobre cabeça - 7h	14,7	161	2745	4,7

Nota: Um: Tensão média; Im: Corrente média; P: Potência; va: Velocidade média de alimentação de arame.

4. Conclusões

- O manipulador robótico para soldagem orbital, Tartílope 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. Isso foi verificado em inspeções visuais realizadas;
- O perfil geométrico de fusão nos flancos do chanfro, com a versão CCC e STT obtiveram resultados expressivos em todas as posições, sem quaisquer discontinuidades que puderam comprometer o procedimento. Já a versão CMT, nas condições de ensaio realizadas, apresentou falta de fusão na amostra metalográfica da posição plana. Essa falta de fusão pode comprometer a integridade da junta, por ser um ponto de concentração de tensões.

5. 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.

6. 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. H. G. e. **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 Desenvolvimentos do Labsolda/UFSC**. *4o PDPETRO, 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] AMIN, M. **Synergic Pulse MIG Welding**. *Metal Construction*, p. 349-353, Jun. 1981.
- [8] SILVA, R. H. G. e.; DUTRA, J. C.; GOHR Jr, R. **Fundamentos Científicos e Tecnológicos para o Desenvolvimento do Processo MIG/MAG por Curto Circuito Controlado - Parte 2**. *Soldagem e Inspeção*, vol. 12, n. 4, p. 326-335, Out/Dez 2007.
- [9] MOREIRA, A. R. et al. **Líquidos: Mudanças de estado e propriedades coligativas**. UNIFACS, Salvador, 20/07/1999, Relatório.
- [10] STAVA, E. K. **A New, Low Spatter Arc Welding Machine**. *Welding Journal*, p. 25-29, Jan. 1993.
- [11] SILVA, R. H. G. e.; DUTRA, J. C.; GOHR Jr, R. **Fundamentos Científicos e Tecnológicos para o Desenvolvimento do Processo MIG/MAG por Curto Circuito Controlado (CCC) - Parte 3**. *Soldagem e Inspeção*, vol. 13, n. 1, p. 70-81, Jan/Mar 2008.
- [12] KVASOV, F. V. **Special Features of Mechanised Welding with Controlled Electrode Metal Transfer**. *Welding International*, vol. 14, n. 2, p. 158-161, 2000.
- [13] DIRENE Filho, H. **MIG/MAG CCC - Avanços na Tecnologia de Controle da Transferência Metálica Como Solução para o Passe de Raiz**. Florianópolis SC: Dissertação de Mestrado - UFSC, 2014.
- [14] FRONIUS, **CMT: The New Revolution in Digital GMA Welding**. disponível em: http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-6F72238A-DEF5A15E/fronius_usa/22_cmt_the_new_revolution_in_digital_gma_welding_gb.pdf. [Acesso em 24 de Julho de 2015].
- [15] MARQUES, C. **Prospecções da Natureza Física da Soldagem MIG Automática de Ligas de Alumínio**. Florianópolis SC: Dissertação de Mestrado - UFSC, 2013.
- [16] SPS. **Sistemas e Processos de Soldagem**. disponível em: http://www.spssoldagem.com.br/tartilope_v4.php [Acesso em 03 de Março de 2015].