

AUMENTO DA PRODUTIVIDADE NA SOLDAGEM DE DUTOS DE AÇO CARBONO UTILIZANDO O PROCESSO MAG COM TRANSFERÊNCIA METÀLICA POR CURTO-CIRCUITO CONTROLADO NO PASSE DE RAIZ

Clayton Orivam de Moraes¹, Jeferson F. Monteiro Costa¹, William de Abreu Macêdo¹

¹ White Martins Gases Industriais Ltda., Centro de Tecnologia Rio, clayton_morais@praxair.com, jeferson_costa@praxair.com, william_macedo@praxair.com.

Resumo

O trabalho apresenta um estudo de caso, no qual se utilizou um equipamento de soldagem MAG que permite o controle das condições de destacamento da gota de metal fundido na transferência por curto-circuito. O caso prático aborda a soldagem MAG com curto-circuito controlado na execução do passe de raiz de uma tubulação de aço carbono. O controle da transferência metálica garantiu uma alta estabilidade do arco, praticamente eliminando todos os respingos, e promoveu uma penetração homogênea e estável ao longo de todo o passe de raiz da tubulação. O aumento de produtividade foi mensurado através da comparação entre o processo anteriormente utilizado (TIG) e o processo MAG com transferência por curto-circuito controlado. Com a introdução do processo semi-automático, houve um ganho substancial de produtividade, da ordem de 166%, com excelente qualidade do passe de raiz.

Palavras-chave

Curto-circuito controlado, Passe de Raiz, Soldagem de Tubulação, Produtividade.

Abstract

This work presents a case study where a MAG power source with controlled short circuit metal transfer was used. The case regards on the root pass of a mild steel pipe performed with a MAG welding system with controlled short circuit. The metal transfer control has assured high arc stability, practically eliminating all spatters and has promoted a stable and homogeneous penetration throughout the entire pipe root pass. The productivity improvement was measured comparing the former process used (TIG) and the MAG process with controlled short circuit. The introduction of the semi-automatic process has promoted a substantial gain in productivity, around 166%, with excellent quality of the root pass.

Key-words

Controlled short-circuiting, Root pass, Pipeline welding, Productivity.

1. Introdução

Com o processo de globalização dos mercados, a cada dia intensifica-se a busca pelo aumento da competitividade nas empresas industriais. Isto se reflete na crescente demanda por processos de produção que promovam ganhos significativos de produtividade.

Dentro da área da soldagem, este aumento de produtividade está sendo alcançado através do desenvolvimento de novos processos ou da reengenharia de processos já existentes. Processos de soldagem que anteriormente eram pouco difundidos no meio industrial, em função do custo ou de alta complexidade, hoje são acessíveis, principalmente com o advento das fontes controladas eletronicamente. Como exemplo, encontra-se o desenvolvimento dos processos GMAW Duplo Arame, MIG-Laser, Plasma-MIG, GMAW com Curto-circuito controlado, Soldagem Plasma, entre outros.

Nesse contexto, o caso da soldagem do passe de raiz em tubulações é merecedor de destaque. Em uma obra de construção de dutos, o fator determinante para garantir a velocidade da obra é a soldagem do passe de raiz com qualidade. Para soldagem no campo do passe de raiz em tubos, os processos Eletrodo Revestido e TIG ainda são preferidos, em função do histórico dessa aplicação. No entanto, estes processos são manuais e de baixa produtividade.

Visando a obtenção de níveis de produtividade mais elevados nessas operações, foi desenvolvido o processo de soldagem MAG com transferência metálica por curto-circuito controlado (MAG-CCC). Este processo alia a produtividade do processo MAG com a alta qualidade do processo TIG. Entretanto, por ser um processo relativamente novo, poucos dados são encontrados na literatura técnica mensurando os ganhos obtidos com a sua utilização e as eventuais barreiras à introdução do processo.

Com isto, o objetivo deste trabalho foi fazer um estudo comparativo em termos de qualidade e produtividade, entre o processo de soldagem TIG e o processo de soldagem MAG-CCC aplicados na soldagem do passe de raiz de tubulações.

2. Processo de Soldagem MAG x MAG-CCC

O processo de soldagem a arco sob proteção gasosa, se baseia na formação do arco elétrico entre a peça e um eletrodo maciço, nu, consumível e continuamente alimentado. A poça de fusão assim formada, que receberá o metal de adição também na forma fundida, é protegida por um gás, ou mistura de gases, inerte ou oxidante ("ativo"), e daí provém o fato de, no Brasil, ele ser geralmente denominado "MIG-Metal Inert Gas", ou "MAG-Metal Active Gas". (MACHADO, 1996).

No processo MIG/MAG convencional com transferência por curto-circuito, a ponta do arame vai se fundindo pela ação do arco elétrico e forma uma gota que aumenta de tamanho até atingir a peça. Nesse instante, quando a gota de metal fundido atinge a poça de fusão, o arco elétrico se extingue. A gota então é destacada e transferida à peça pela ação de forças eletromagnéticas, o efeito "pinch", que é o estrangulamento que ocorre na ponta do arame. Simultaneamente com o destacamento da gota ocorre

a reignição do arco elétrico, com a intensidade da corrente de soldagem atingindo o valor de pico denominado corrente de curto circuito. A indutância é a variável que controla a velocidade com a qual a corrente de soldagem atinge a corrente de curto-circuito. Velocidades muito elevadas provocam um destacamento da gota muito brusco, gerando respingos. Na Figura 1a, tem-se um oscilograma esquemático da transferência metálica por curto-circuito convencional. Este tipo de transferência metálica é tipicamente de baixo aporte de calor, permitindo a soldagem de peças finas e fora de posição.

A utilização de misturas à base de argônio proporciona boa estabilidade de arco e gotas pequenas minimizando a projeção de respingos. O metal é transferido nesse modo em baixas corrente e tensão, geralmente entre 30 e 200A e 15 a 22V, respectivamente, sendo por isso denominado "arco curto" ("short arc"). Como não existe arco no momento em que ocorre o curto-circuito, o metal fundido é transferido devido à tensão superficial. Este modo de transferência produz uma poça de fusão relativamente pequena e de rápida solidificação. A tensão e a corrente elétrica sofrem considerável variação na amplitude, com frequências de curto circuito entre 20 e 200Hz.

Um fator limitante na utilização do processo MIG/MAG convencional com transferência por curto-circuito é que não se pode atuar diretamente na corrente de soldagem. A atuação é sempre indireta através de variáveis como a indutância, isto restringe determinados objetivos, já que a corrente é a variável de influência determinante para a solda. Uma grande limitação é a dificuldade de se obter um adequado controle de passes de raiz em chanfros devido à variação da corrente média quando a tocha se desloca lateralmente à junta e também a dificuldade para redução drástica dos respingos (DUTRA, 2008).

Para eliminar os problemas encontrados com o processo convencional, foram desenvolvidos sistemas nos quais a corrente passa a ser uma variável de controle direto. De uma maneira geral, estes sistemas se baseiam na garantia de que o contato entre a gota metálica e a poça de fusão ocorra em baixo nível de corrente (DUTRA, 2008). Na figura 1b, tem-se um oscilograma esquemático típico da transferência metálica com curto-circuito controlado. Este processo geralmente é dividido em fases, que são determinadas por cada fabricante.

Uma das maiores aplicações do processo MAG-CCC é a soldagem do passe de raiz em tubulações e também para soldagem de chapas finas, nas quais um baixo aporte térmico é requerido.

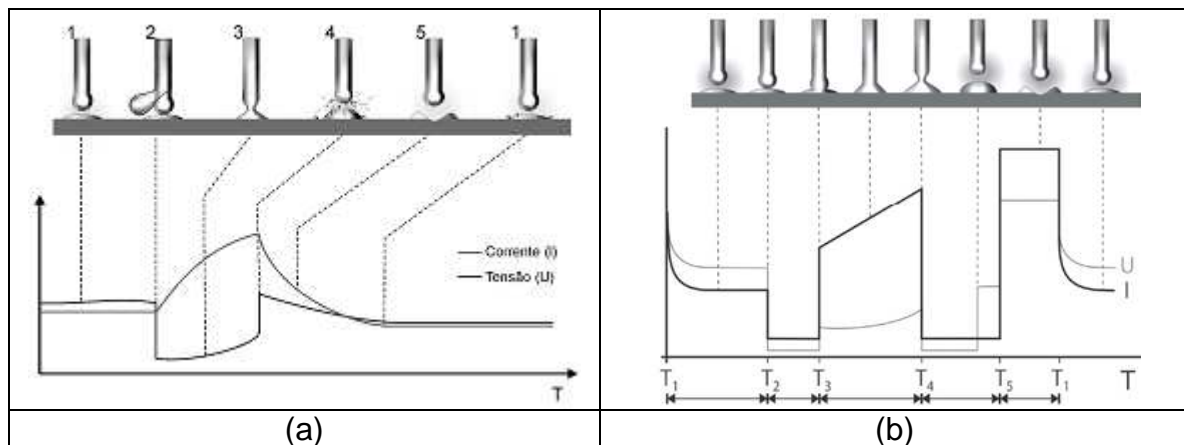


Figura 1 - Oscilograma esquemático da transferência metálica por curto-circuito: (a) Processo MAG Convencional (SILVA, 2008) e (b) Processo MAG-CCC (DUTRA, 2008).

3. Procedimento Experimental

Para realização dos testes com o processo MAG com transferência metálica por curto-circuito controlado (MAG-CCC), foi utilizada uma fonte de fabricação finlandesa, marca Kemppi, modelo FASTMIG KMS 400. Essa fonte possui capacidade para operar com intensidade de corrente máxima de 400A com um ciclo de trabalho de 80% e 380A@100%. O alimentador de arame utilizado é do modelo FASTMIG MSF 55 com painel de controle modelo SF 53. O equipamento de soldagem possui ainda uma tocha semi-automática modelo PMT42W e sistema de refrigeração FASTCOOL 10, todos da marca KEMPPI. Este equipamento possui um programa sinérgico, denominado FastRoot, especialmente desenvolvido para soldagem de chapa fina e passe de raiz com o processo MAG-CCC para diversos tipos de material.

Para realização dos testes com o processo TIG, foi utilizada uma fonte de energia modelo MASTERTIG MLS 2500, com capacidade para operar com intensidade de corrente máxima de 300A com um ciclo de trabalho de 30% ou 160A@100% e painel de controle modelo MTL, todos da marca KEMPPI. Com este equipamento, trabalhou-se no modo convencional, ou seja, com ajuste apenas do valor da corrente média de trabalho.

Para realização dos testes com o processo TIG, foi utilizado como gás de proteção o argônio puro, com uma vazão de 12 l/min. Para os testes com o processo MAG-CCC foi utilizado a mistura Stargold Plus, com uma vazão de 15l/min, ambos do fabricante White Martins Gases Industriais Ltda.

O metal de adição utilizado para realização dos testes com o processo TIG, foi da classificação AWS ER70S-3 de 3,25mm de diâmetro em forma de varetas e para realização dos testes com o processo MAG-CCC, foi da classificação AWS ER70S-6 de 1,0 mm de diâmetro, embobinado no modo capa-a-capa, ambos do fabricante Belgo Mineira.

Para a aquisição dos valores de tensão, intensidade de corrente elétrica, velocidade de alimentação de arame e vazão de gás de proteção, utilizou-se um sistema de

aquisição de dados modelo SAP 1 do fabricante IMC Soldagem a uma taxa de aquisição de 1 kHz.

Os corpos de prova para realização dos testes foram confeccionados a partir de tubos de aço carbono API 5L, com dimensões e parâmetros geométricos da junta conforme especificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões dos tubos e parâmetros geométricos da junta utilizada

Diâmetro do Tubo (mm)	Espessura do Tubo (mm)	Tipo de Chanfro	Abertura de raiz (mm)	Face da Raiz (mm)	Ângulo de Chanfro (°)
220,0	8,0	V	4,0	1,0	60

O soldador que realizou a solda do passe de raiz com o processo MAG-CCC já era qualificado no processo MAG convencional. O treinamento para apresentação do novo sistema de soldagem foi realizado no próprio local de trabalho e demandou apenas aproximadamente 40 minutos.

Para realização do estudo comparativo, como o objetivo era fazer o passe de raiz deixando o tubo pronto para receber os demais passes de enchimento e acabamento, com o processo TIG foi necessário realizar o passe de raiz e um passe de reforço, já com o processo MAG-CCC, devido a uma maior taxa de deposição, apenas com o passe de raiz já foi possível deixar o tubo nas condições desejadas.

Na Tabela 2, pode-se observar os parâmetros ajustados para o processo TIG e na Tabela 3 os parâmetros de soldagem ajustados para o processo MAG-CCC.

Tabela 2 – Parâmetros de soldagem utilizados com o processo TIG

Passe	Corrente (A)	Velocidade de soldagem (cm/min)	Posição de soldagem	Ângulo de trabalho (°)	Tecimento
Raiz	121,0	6,0	Vertical ascendente	10 – 15 empurrando	Sim
Reforço	140,0	11,3	Vertical ascendente	10 – 15 empurrando	Sim

Tabela 3 – Parâmetros de soldagem utilizados com o processo MAG-CCC

Passe	Prog.	Valim (m/min)	Nível da corrente de base	V_s (cm/min)	Posição de soldagem	Ângulo de trabalho (°)	Tecimento	DBCP (mm)
Raiz	FR-FE904	3,4	20	11,6	Vertical descendente	10 – 15 puxando	Sim	12,0

Prog. = Programa; Valim = Velocidade de alimentação; V_s = Velocidade de soldagem; DBCP = Distância bico de contato peça.

4. Resultados e Discussão

Na Tabela 4, pode-se observar os parâmetros monitorados durante a soldagem com o processo TIG e na Tabela 5, com o processo MAG-CCC.

Tabela 4 – Parâmetros monitorados durante a soldagem com o processo TIG

Passe	Tensão média (V)	Corrente média (A)	Tempo de arco aberto (s)	Tempo de limpeza e preparação (s)	Tempo total (s)	Taxa de deposição (Kg/h)
Raiz	9,3	121,0	701,7	459,9	1161,6	0,65
Reforço	10,8	140,0	369,8	72,3	442,1	0,65
		Total	1071,5	532,2	1603,7	

Tabela 5 – Parâmetros monitorados durante a soldagem com o processo MAG-CCC

Passe	Tensão média (V)	Corrente média (A)	Tempo de arco aberto (s)	Tempo de limpeza e preparação (s)	Tempo total (s)	Taxa de deposição (Kg/h)
Raiz	16,8	92	445,1	157,2	602,3	1,8

Na Figura 2, pode-se observar o posicionamento do tubo e do soldador e o aspecto visual do cordão soldado do lado da face e do lado da raiz para o processo TIG.

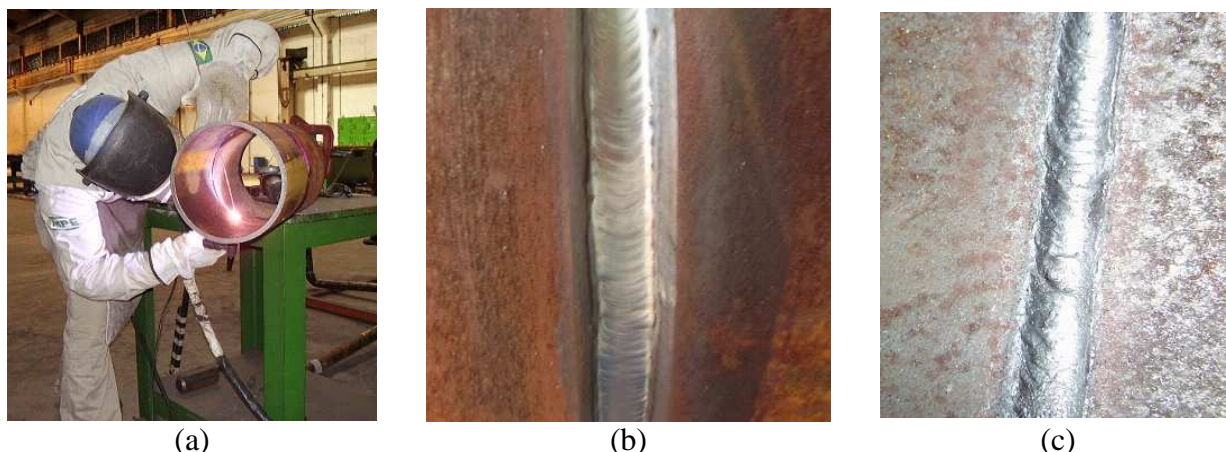


Figura 2 – (a) Posicionamento do tubo na bancada, (b) aspecto visual da face do cordão soldado e (c) aspecto visual da raiz do cordão soldado.

Na Figura 3, pode-se observar o posicionamento do tubo e do soldador, aspecto da junta antes da soldagem e o aspecto visual do cordão soldado do lado da face e da raiz.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 – (a) Aspecto da junta antes da soldagem; (b) Posicionamento do tubo no posicionador, (c) aspecto visual da face do cordão soldado e (d) aspecto visual da raiz do cordão soldado.

Através da análise visual do corpo de prova soldado com o processo MAG-CCC, verificou-se que o acabamento do cordão no passe de raiz (Figuras 3c e 3d) ficou com boa qualidade, ou seja, baixo nível de respingos, sem mordeduras, sem porosidade, com reforço e convexidade adequados. O acabamento na face do cordão ficou ideal para deposição dos passes de enchimento, sem necessidade de esmerilhamento, necessitando apenas do uso de uma escova de aço para limpeza (retirada dos silicatos formados). Do lado da raiz ocorreu uma boa penetração e o reforço ficou com perfil (largura e altura) adequado e constante ao longo de todo o cordão soldado. Ou seja, o cordão apresentou características similares ao cordão produzido com o processo TIG.

Para avaliação da integridade da junta soldada com o processo MAG-CCC, após a soldagem, o corpo de prova foi submetido a um Ensaio Radiográfico de acordo com a norma ASME IX, sendo o mesmo aprovado de acordo com os critérios de aceitação da referida norma.

Na Tabela 6, pode-se observar que o ganho de produtividade foi de 166% quando se utilizou o processo MAG-CCC em comparação ao processo TIG para soldagem do passe de raiz.

Tabela 6 - Comparativo dos processos TIG x MAG-CCC para soldagem do passe de raiz

Processo	Taxa de deposição (Kg/h)	Tempo de arco aberto (s)	Tempo de limpeza (s)	Tempo total (s)	Ganho de produtividade (%)
TIG	0,65	1071,5	532,2	1603,7	166
MAG-CCC	1,8	445,1	157,2	602,3	

5. Conclusões

O teste comparativo realizado entre o processo MAG-CCC e o processo TIG na soldagem do passe de raiz de um tubo de aço carbono de 220mm de diâmetro permitiu as seguintes conclusões:

- 1- A soldagem do passe de raiz com o processo MAG-CCC proporcionou um ganho de produtividade de 166% em relação ao processo TIG.
- 2- O cordão de solda produzido com o processo MAG-CCC apresentou um nível de acabamento compatível com os requisitos da aplicação e comparável ao obtido com o processo TIG.
- 3- O soldador qualificado no processo MAG convencional necessitou de apenas 40 minutos de treinamento para se adaptar ao processo MAG-CCC.

6. Referências

DUTRA, J. C. e SILVA, R. H. G. MIG/MAG – Transferência Metálica por Curto-Circuito sob Controle da Forma de Onda da Corrente – Sistemas CC e STT – Fundamentos. Revista Soldagem e Inspeção. São Paulo, Vol. 13, No 2, p. 092-096, Abr/Jun 2008.

MACHADO, I. G. Soldagem e Técnicas Conexas: Processos. Porto Alegre: editorado pelo autor, 1996. 477p.:il.

SILVA, R. H. G.; DUTRA, J. C. e GOHR JÚNIOR, R. Fundamentos Científicos e Tecnológicos para o Desenvolvimento do Processo MIG/MAG por Curto-Circuito Controlado (CCC) – Uma Revisão da Literatura. Parte 3 de 3: Princípios dos Sistemas MIG/MAG em Curto-Circuito com Controle de Corrente. Revista Soldagem e Inspeção. São Paulo, Vol. 13, No 1, p. 070-081, Jan/Mar 2008.