

**Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP**

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

---

## **PROCESSO MIG-MAG CCC APLICADO AO PASSE DE RAÍZ E METODOLOGIA PARA FORMULAÇÃO DE PROGRAMAS SINÉRGICOS**

Leonardo Willyam de Assis Weck<sup>1</sup>, Eng. Regis Henrique Gonçalves e Silva<sup>2</sup>

LABSOLDA / UFSC, Campus Universitário, CP 476, Florianópolis, SC,

<sup>1</sup>leonardo@labsolda.ufsc.br; <sup>2</sup>regis@labsolda.ufsc.br

**Resumo** – A confecção do passe de raiz é uma fase muito importante na construção de linhas dutoviárias petrolíferas. Esse trabalho visa o desenvolvimento de um novo processo de soldagem capaz de substituir o atualmente utilizado, eletrodo revestido celulósico, levando em consideração ganho de produtividade e qualidade dos resultados. O CCC (MIG-MAG com curto-circuito com controle de corrente) tem como principais características a ausência de respingos e fumo, treinamento rápido e fácil, comodidade para o soldador, aumento da estabilidade da corrente média, o fato de ser um processo semi-automatizado e a possibilidade de automação, o que resulta uma raiz muito mais limpa e homogênea. Vários ensaios realizados a partir do MIG-MAG com curto-circuito convencional auxiliaram no desenvolvimento do CCC, desde a escolha do gás que seria utilizado até os parâmetros adotados para a nova curva de corrente. De acordo com pesquisas de campo determinou-se a utilização de velocidade de arame de 3m/min. O aprimoramento do CCC para velocidade de 4m/min também fez parte desse estudo, visando atender outras condições de soldagem futuramente necessárias.

Palavras-Chave: soldagem; curto-circuito; controle corrente.

**Abstract** – The making of the root pass is a very important phase in the construction of oil pipelines. This work aims at the development of a new process of welding capable to substitute the currently used celulosic coated electrode, taking into consideration productivity and quality of the results. The CCC (MIG-MAG with short circuit with current control) have as main characteristics the absence of spatter and fume, easy and fast training, comfort for the welder, increase of the stability of the average current, the fact of being an semi-automatic process and the possibility of automation, what results a much more cleanness and homogeneous root. Some tests carried out from the MIG-MAG with conventional short circuit had assisted in the development of the CCC, since the choice of the gas that would be used until the parameters adopted for the new current curve. In accordance with field research it was determined use of speed of wire of 3m/min. The improvement of the CCC for speed of 4m/min also was part of this study, aiming at future necessary welding conditions. A methodology for that is proposed.

Keywords: welding; short-circuit; current control.

## 1. Introdução

A soldagem está presente na maior parte dos processos industriais, e se faz muito importante na construção das “pipelines”. O foco desse trabalho é a aplicação da soldagem, mais especificamente o MIG-MAG CCC, ao passe de raiz em linhas dutovias petrolíferas *offshore*. Atualmente esses passes de raiz são feitos utilizando-se eletrodo revestido celulósico. Vê-se então como maior problema: a falta de produtividade. O eletrodo revestido celulósico tem como característica interessante a boa penetração, mas por outro lado leva consigo desvantagem no quesito produtividade. A escória, a alta taxa de respingos e fumos são, nesse caso, os pontos que dificultam um processo rápido e limpo.

Daí a importância desse trabalho. O MIG-MAG CCC, Curto-circuito com Controle de Corrente, vem sendo desenvolvido com o intuito de minimizar os fatores que tendem a diminuir a velocidade de produção, com qualidade. Treinamento rápido e fácil, comodidade para o soldador, ausência de fumo e respingos, aumento da estabilidade da corrente média, processo semi-automatizado e possibilidade de automação são algumas das características do CCC.

O curto-circuito controlado, como é chamado, foi desenvolvido como trabalho de dissertação de mestrado no próprio Labsolda. Ensaio com MIG-MAG com curto-circuito convencional e o auxílio de um robô MOTOMAN, de seis eixos, foram realizados para definição do gás a ser usado no estudo do CCC. Apenas a distância do bico de contato/peça e a tensão foram alterados nesses ensaios. De acordo com os resultados, entre CO<sub>2</sub> puro, Ar + 25%CO<sub>2</sub> e Ar + 8%CO<sub>2</sub>, o Ar + 25%CO<sub>2</sub> foi escolhido por apresentar uma maior regularidade de transferência metálica e de penetração. As tensões medidas em cada distância foram então implementadas no programa de controle que seria usado para comandar a fonte INVERSAL. Depois de terminados esses ensaios, partiu-se para as determinações de uma nova curva de corrente e parâmetros.

Algumas ferramentas foram criadas para a aquisição e processamento dos dados. Através delas é possível avaliar, estatisticamente, a frequência de curtos circuitos, quantos deles ocorreram em momento correto, quantos não, a corrente média, a corrente eficaz, os tempos de cada corrente e outras informações importantes.

Os testes com a nova forma de onda foram feitos também com o auxílio do robô MOTOMAN, para distâncias de 7mm a 22mm, até que se alcançasse um processo estável. Para isso as variáveis alteradas foram as correntes, distribuídas em seis fases (patamares), de acordo com a curva, e os tempos de cada uma. Todos os ensaios foram realizados com velocidade de arame de 3m/min, baseados em informações de campo.

## 2. Objetivos e Justificativa

Dentre os objetivos iniciais estava a determinação do gás que seria usado no trabalho de desenvolvimento do CCC. Os gases CO<sub>2</sub> puro e Ar + 8%CO<sub>2</sub> foram deixados de lado após vários ensaios e estudos metalográficos para determinação de penetração. Fotos tiradas das peças com o auxílio de um estereoscópio e estudadas através de um programa CAD (AUTOCAD 2000) mostraram que os cordões depositados utilizando o gás Ar + 25%CO<sub>2</sub> apresentavam uma maior regularidade em sua penetração no material de base, além de uma maior estabilidade de arco.

A penetração não poderia só depender do gás usado, sendo assim o estudo foi direcionado a determinar o que poderia influenciar nesse caso. Após vários ensaios concluiu-se que a penetração está diretamente ligada ao aporte térmico. O aporte térmico, por outro lado, depende diretamente da corrente de arco, e conseqüentemente a penetração.

O estudo de uma nova forma de onda tornou-se necessário, uma vez que a forma de onda anteriormente adotada no LABSOLDA diferia em alguns aspectos de outras encontradas na literatura científica e tecnológica. De início estudou-se quais parâmetros seriam usados para desenvolver uma curva de corrente ainda não conhecida. Após pesquisa em literatura da área e em processos já existentes determinou-se uma curva que, após ajustes, se tornaria definitivamente o curto-circuito controlado.

A substituição do eletrodo revestido utilizado na passe de raiz é o principal objetivo. A visível estabilidade do arco, a taxa quase nula de respingos, a ausência de escória, a baixa quantidade de fumo, a facilidade de adaptação, a qualidade dos resultados, a possibilidade de mecanização, levando em conta que o processo é semi-automático, são características que deixam o CCC em um patamar mais elevado em relação a outros processos, mas principalmente o eletrodo revestido.

Por último objetivou-se o desenvolvimento do processo CCC para velocidade de arame de 4m/min, visando outras condições. Além do passe de raiz, futuramente também há o trabalho de preenchimento. A disponibilidade da tecnologia do MIG-MAG com controle de corrente a baixo custo para o mercado nacional justifica a amplitude desse trabalho.

## 3. Metodologia

Utilizando o robô MOTOMAN, começou-se o desenvolvimento do CCC. Uma faixa de distâncias bico-de-contato/peça (DBP) foi determinada (7mm a 22mm) para se direcionar o desenvolvimento do sistema de controle do CCC. Adotando condições estáveis na área de ensaios, e principalmente na temperatura das peças utilizadas, os cordões foram depositados, ainda com MIG-MAG com curto-circuito convencional, e identificados. Todos esses ensaios foram realizados com os gases CO<sub>2</sub> puro, Ar + 8%CO<sub>2</sub> e Ar + 25%CO<sub>2</sub>.

Os cordões foram cortados, com o auxílio de uma serra mecânica, em três regiões diferentes. Através de processos metalográficos, cada peça foi lixada e atacada com Nital2%. Fotos tiradas utilizando-se um estereoscópio foram inseridas em um programa de CAD (AUTOCAD 2000).

#### 4. Resultados

As penetrações foram medidas (Figura 1) e tabeladas juntamente com as suas respectivas DBPs. Através de gráficos relacionando as DBPs e as penetrações, decidiu-se pela utilização do gás Ar + 25%CO<sub>2</sub> no desenvolvimento do CCC. Suas penetrações se apresentaram mais estáveis e regulares ao longo dos cordões.

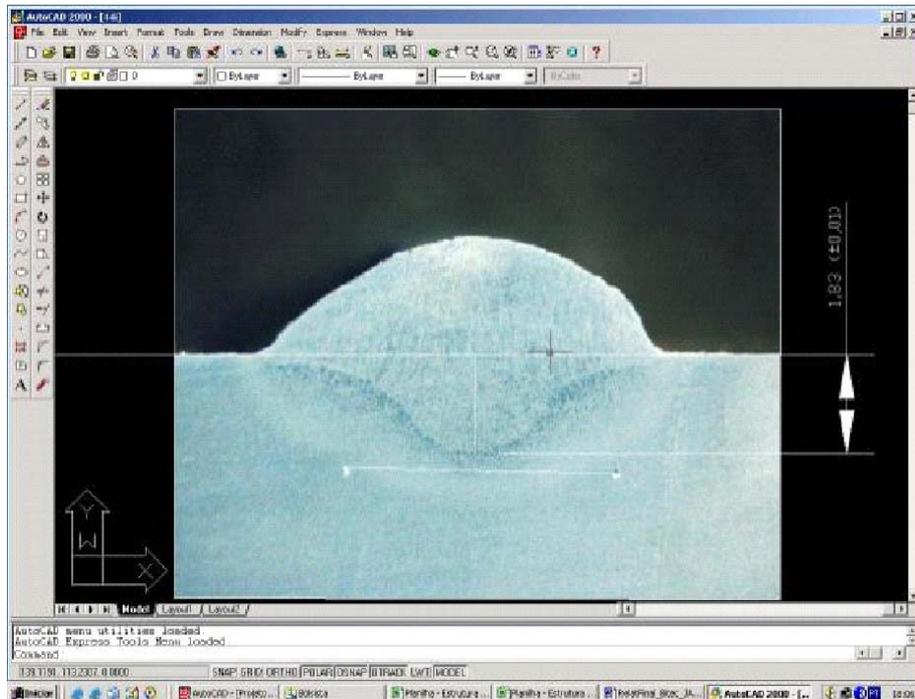


Figura 1. Medição de penetração em CAD.

Já com uma curva de corrente, como mostra Figura 2, e parâmetros inicialmente determinados, começaram os ensaios com o CCC (Silva, 2005). De acordo com a estratégia de controle adotada (Gohr, 2002), foi medida a tensão de curto-circuito para cada distância bico-peça e estas foram relacionadas de modo que se possibilitasse o sistema realimentado. Para essas medições de tensões, além do robô, que novamente foi utilizado, assegurando-se DBPs com pequeno erro, utilizaram-se arquivos estatísticos gerados pelo próprio computador que controla a fonte. Todas essas informações foram compiladas em um programas de planilha (FlexPro) para a obtenção de gráficos. Os gráficos mostraram a estabilidade e a continuidade da nova curva.

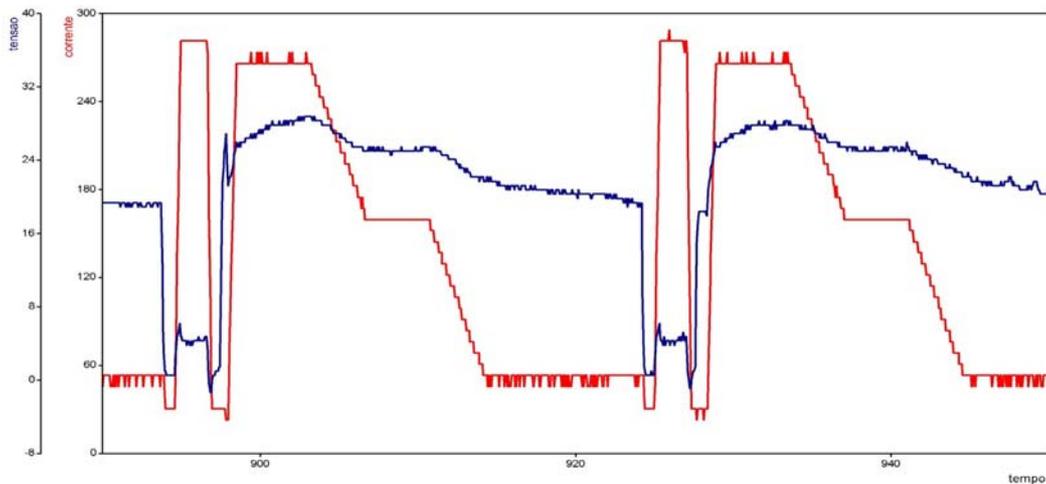


Figura 2. Nova curva der corrente desenvolvida para o CCC (vermelho-corrente; azul-tensão)

Para isso, variáveis tiveram que ser alteradas durante os ensaios. A principal meta era determinar correntes e tempos que pudessem ser usados independentemente da DBP, alterando-se somente o tempo da corrente  $I_5$ , principal responsável pela formação da gota. Simulando um trabalho manual, em que o soldador, por mais que seja tecnicamente treinado, comete alterações na distância entre a tocha e o material de base, o software responsabiliza-se de ler a tensão constantemente e identificar a distância no instante, alterando automaticamente o tempo de  $I_5$ , mantendo assim um processo constante e estável.

Após os ensaios com o robô, partiu-se para os testes manuais, agora com peças chanfradas, simulando um processo real de campo, mas ainda na posição plana. Esses testes levaram a mais algumas alterações nas variáveis, devido a diferença entre uma superfície plana e um chanfro, com o intuito de manter a qualidade anteriormente adquirida. A Figura 3 mostra um ensaio feito com o robô, onde se pode perceber a ausência de respingos. Na mesma figura, um passe de raiz em corte transversal, mostrando a estabilidade e regularidade.



Figura 3. Processo sem respingos ou fumo. Penetração estável e regular.

Ainda acompanhando o desenvolvimento do CCC para velocidade de arame de 3m/min, partiu-se para o aprimoramento do processo para outra velocidade, no caso, 4m/min, visando atender outras condições possivelmente necessárias. Para isso uma equação relacionando corrente eficaz e velocidade de arame foi encontrada. A Equação 1 (Baixo, 1999) foi descrita a partir da linearização de um gráfico feito com resultados de experimentos relacionando velocidade de arame e corrente eficaz. Essa equação auxiliou no desenvolvimento do CCC com 4m/min.

$$v_a = C_1 \cdot I_{eficaz}^2 + C_2 \quad (1)$$

Na Equação 1, além da corrente eficaz e da velocidade de arame, duas constantes também estão presentes,  $C_1$  e  $C_2$ , dependentes da DBP e da bitola do arame respectivamente.

A corrente eficaz utilizada foi calculada através da curva de corrente gerada a partir dos dados recolhidos do programa de aquisição. O programa de aquisição também fornece a corrente eficaz, confirmando o resultado calculado.

O principal objetivo dessa equação é encontrar um valor para a corrente  $I_5$ , principal responsável pela formação da gota, para outra velocidade de arame, mantendo as demais variáveis as mesmas, diminuindo consideravelmente assim o tempo despendido para encontrar as variáveis adequadas para uma velocidade de arame ainda não estudada.

Calculando-se um  $C_1$  para cada DPB com velocidade de 3m/min, estes foram usados na equação para 4m/min, tendo como incógnita agora a corrente  $I_5$ . Já com uma corrente  $I_5$  previamente calculada, iniciou uma bateria de ensaios para o refinamento do CCC para 4m/min. Essas correntes encontradas através da equação se mostraram maiores que o necessário para um processo mais estável. Algumas variáveis foram alteradas visando alcançar um estado adequado, baseado nos resultados obtidos para 3m/min.

## 5. Conclusões

A nova curva de corrente desenvolvida para o CCC, bem como os métodos de controle e aquisição de dados, garantem um processo dotado de alta qualidade e produtividade. Visando substituir a utilização do eletrodo revestido no processo de soldagem de passe de raiz em dutos petrolíferos, nas condições deste trabalho, o CCC apresenta considerável superioridade. Um processo limpo, sem fumo, sem escórias, com penetração estável e regular.

Todo o desenvolvimento do CCC foi feito em cima de um processo utilizando velocidade de arame de 3m/min. Uma equação, resultante de experimentos, auxilia no aprimoramento do processo para outras velocidades de arame, mantendo a mesma qualidade anteriormente encontrada. Alguns ajustes nas variáveis devem ser feitos para efeito de refinamento do processo, pois a corrente resultante da equação está acima de um patamar estável.

Os resultados obtidos no desenvolvimento do CCC o colocam como uma alternativa tecnológica de qualidade e acessível em nível nacional, considerando seu baixo custo em relação aos processos semelhantes, hoje em dia disponíveis fora do país.

## **6. Referências**

- BAIXO, C. E. I., Estudo da soldagem Mig/Mag pela técnica hiperbárica a seco 1999. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – UFSC, Florianópolis.
- GOHR JR, R. Novos métodos de controle da soldagem MIG/MAG. 2002. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SILVA, R.H.G. Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz. 2005, 127f. Dissertação (Mestrado em eng. Mecânica) UFSC, Florianópolis