

APLICAÇÃO DA VARIANTE MAG-PULSADO E MAG PULSADO TÉRMICO EM SOLDAS DE REVESTIMENTO DO TIPO “LINING”

Fernando Elias Silvestre Abdalla, MSc

Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro

E-mail: abdalla@amrj.mar.mil.br

Augusto José de Almeida Buschinelli, Prof. Dr. Ing

Universidade Federal de Santa Catarina

E-mail: buschi@emc.ufsc.br

Jair Carlos Dutra, Prof. Dr. Eng.

Universidade Federal de Santa Catarina

E-mail: jdutra@labsolda.ufsc.br

RESUMO

Neste trabalho, descreve-se o estudo da variante MAG pulsado e MAG pulsado térmico na aplicação em soldas para revestimento interno tipo lining de aço inoxidável AISI 317L nas torres de processamento de óleo pesado de elevada acidez naftênica. A grande dimensão das torres e o requisito de rapidez na manutenção demandam por um processo de soldagem que proporcione elevada produtividade, ao mesmo tempo em que garanta requisitos mínimos de qualidade. O processo de soldagem atualmente empregado é o MAG com arame tubular E309MoL, metal de adição mais caro relativamente ao arame maciço. Além disso, como essa variante MAG opera com elevadas correntes médias, são necessários 05 passes de solda para preencher a junta soldada e manter o teor de Molibdênio $\geq 2,5\%$, devido a alta diluição do processo. Neste trabalho aproveitou-se as vantagens da variante MAG pulsado e MAG pulsado térmico, para soldar com o arame maciço ER309MoL: com a redução da corrente média torna possível soldar chapas de menor espessura, sob controle da diluição: isso permite elevar a produtividade e reduzir custos de manutenção, uma vez que torna-se necessário menor número passes de solda para preencher o cordão. Foram utilizados dois tipos de gás de proteção e 03 valores de stickout diferentes. A principal conclusão é de que é viável substituir o processo de soldagem MAG com arame tubular pelo MAG pulsado com arame maciço. O processo MAG pulsado térmico apresentou problemas de falta de penetração para esses parâmetros de soldagem.

ABSTRACT

This work describes the welding process of pulsed MAG and pulsed thermal MAG the application in welds for internal lining of AISI 317L stainless steel in towers of heavy oil processing with raised naphtenic acidity. The large dimension of the towers and the speed requirement in maintenance demand a welding process which provides high productivity, while warranting minimum quality requirements. The welding process employed nowadays is the MAG process with E309MoL tubular wire, a more expensive addition metal in relation to the solid wire. Furthermore, as that MAG variant operates with high medium currents, it demands 05 passes of weld to fill out the welded junction and to maintain the amount of molybdenum $\geq 2,5\%$, due to the high dilution of the process. The present work took advantage of the

pulsed MAG in order to welding using the ER309MoL solid wire. It has been verified that the reduction of the medium current enables to weld plates of smaller thickness, under control of the dilution. This allows plates, while elevating the productivity and reducing the maintenance costs, once it is necessary a smaller number of welding passes to fill out the fillet. In this study two types of protection gas and 03 values of different stickout were used. The main conclusion is that it is feasible the substitution of the MAG welding process with tubular wire for the pulsed MAG with solid wire. The pulsed thermal MAG process presented problems due to the lack of penetration for those welding parameters.

1 – INTRODUÇÃO

No cenário industrial brasileiro vem ocorrendo grande esforço de pesquisa no sentido de se prolongar a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos. O principal fenômeno responsável pela deterioração dos materiais na indústria tem sido a corrosão. A sua manifestação acontece das mais diferentes formas e provocada por diversos fatores, relacionados, em sua grande maioria, por agentes agressivos presentes em diversos meios em contato com superfícies metálicas. Como forma de aumentar a resistência à corrosão, é comum fabricar equipamentos em aço carbono, devido ao seu menor custo em relação ao aço inoxidável, e revesti-lo com aço inoxidável austenítico. Este recurso é muito utilizado em indústria química, petroquímica, hidroelétrica, dentre outras.

Devido aos altos teores de ácidos naftênicos existentes no petróleo brasileiro e a ação corrosiva deste nos equipamentos, tornou-se necessária a instalação, por meio de soldagem, de um revestimento anticorrosivo com chapas de aço inoxidável ASTM A-240 tipo 317L nas torres de processamento de óleo pesado, de modo a torná-las resistentes à ação desses ácidos.

Pela extensão das soldas para aplicação do revestimento nas torres de destilação, aproximadamente 1730 metros lineares, faz-se necessária a aplicação de um processo de soldagem de grande produção, com altas taxas de deposição, adequado ao rígido cronograma de trabalho das refinarias.

O processo de soldagem atualmente empregado para fixar o revestimento é o MIG/MAG com arame tubular (Cersosimo et al., 2003; Balducci et al., 2004) com proteção gasosa, que tem satisfeito os requisitos estabelecidos pelas empresas petrolíferas, tais como: revestir grandes áreas com elevada produtividade, para reduzir o prazo de execução e obter um teor de molibdênio $\geq 2,5$ % no cordão de solda, de modo a garantir a proteção contra corrosão por ácido naftênico.

Com a introdução de novas tecnologias para a fabricação de fontes de energia para soldagem a arco voltaico, tornou-se possível a utilização da corrente pulsada para os processos de soldagem como o MIG, com arame maciço e tubular, e o TIG.

Na corrente pulsada o arco é mantido com uma corrente de base baixa, enquanto uma corrente de pulso, de curta duração, provoca o destacamento da gota. No modo pulsado, são muitos os fatores variáveis responsáveis pela manutenção da operação de soldagem.

Já o pulsado térmico, há imposição de dois níveis de corrente média (corrente da base térmica e corrente do pulso térmico), com isso dois níveis de potência são transferidos para o arco com uma baixa frequência, menor que 5 Hz. Com a imposição da corrente de pulso há uma fusão mais efetiva da chapa e do metal de adição e com a imposição da corrente de base há um esfriamento da poça, induzindo-se melhores condições de tensão superficial e viscosidade, garantido melhor controle da poça de fusão.

Neste sentido, torna-se bastante complexa a tarefa para a seleção de parâmetros que possam ser adequados às necessidades de estabilidade do arco, vantagens econômicas, qualidade da solda e propriedades mecânicas.

Desta maneira, no presente trabalho busca-se basicamente estudar a viabilidade de aplicar o processo MAG com as variantes pulsado e pulsado térmico em soldas de revestimento tipo “lining”, uma vez que, por trabalhar com correntes médias mais baixas, obtém-se diluição menor. Aliando-se a vantagem do MAG pulsado (MAG-P) e do MAG pulsado térmico (MAG-PT) e buscando uma redução ainda maior dos custos, optou-se por estudar o comportamento do arame maciço neste tipo de soldagem, de modo a comprovar sua eficácia.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos do presente trabalho foram realizados de forma manual, posição horizontal e revestindo chapas de aço carbono ASTM A 516 Gr 60 de 25 mm de espessura com chapas de aço inoxidável ASTM A 240 TP 317L de 3 mm de espessura. Os corpos de prova possuem as seguintes dimensões:

- aço carbono – comprimento de 18 mm, largura de 10 mm e espessura de 25 mm;
- aço inoxidável – para cada corpo de prova de aço carbono foram utilizadas duas chapas de aço inoxidável com 17 mm de comprimento, 4,5 mm de largura e 3 mm de espessura.

A junta utilizada foi de topo com espaçamento entre chapas de 4 mm. A figura 1 mostra um desenho esquemático do corpo de prova.

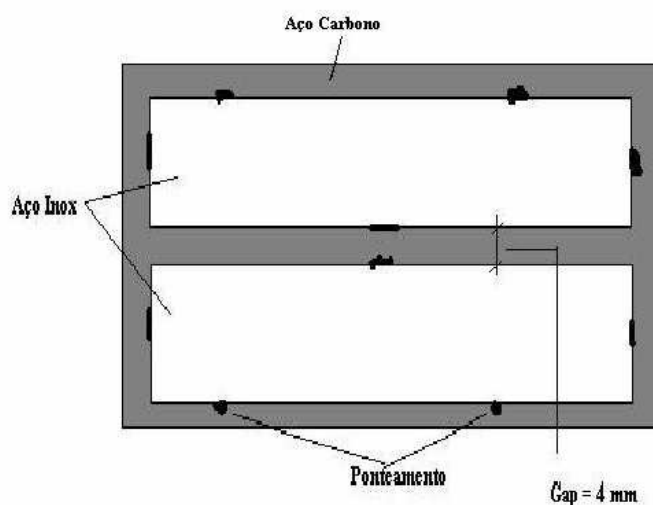


Figura 1 – Desenho esquemático dos corpos de prova

A máquina de solda utilizada foi uma fonte de soldagem multiprocesso transistorizada, dotada de interface para conexão com microcomputador.

Como metal de adição utilizou-se o arame maciço ER309MoL de 1,2 mm de diâmetro. A corrente média foi mantida constante em 100 A e as soldagens foram realizadas com o auxílio do comando sinérgico. Neste trabalho foram estudados os efeitos do *stickout* (comprimento do eletrodo) em 3 níveis, 10, 15 e 20 mm e dos gases de proteção com 92%Ar-8%CO₂ e 95%Ar-3%CO₂-2%N₂.

Para avaliação do desempenho do processo, foram analisados o efeito do gás de proteção no acabamento superficial, o efeito do *stickout* e do índice de defeitos superficiais, a avaliação das soldas quanto aos critérios de aceitação (mordedura, trincas de solidificação, porosidade superficial, falta de fusão, falta de penetração, análise química e ensaio de dobramento), a influência do gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ na fração de ferrita delta e estudo das características econômicas (custos do reparo).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - Efeitos do gás de proteção no acabamento superficial

De maneira geral o gás de proteção influenciou no acabamento superficial do cordão de solda. O gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ resulta num acabamento melhor que o do 92%Ar-8%CO₂, independente da condição de soldagem.

A principal diferença deve-se ao fato de que o gás 92%Ar-8%CO₂ resulta numa maior tendência a apresentar mordedura no cordão de solda. A figura 2 apresenta foto que mostra o acabamento para os dois gases utilizados, onde pode ser verificada a maior quantidade de mordedura para os corpos de prova soldados com a utilização a gás de proteção 92%Ar-8%CO₂. Nesta figura pode ser observado também que o gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ apresenta menos tendência a escorrimento, favorecendo um melhor acabamento da solda.

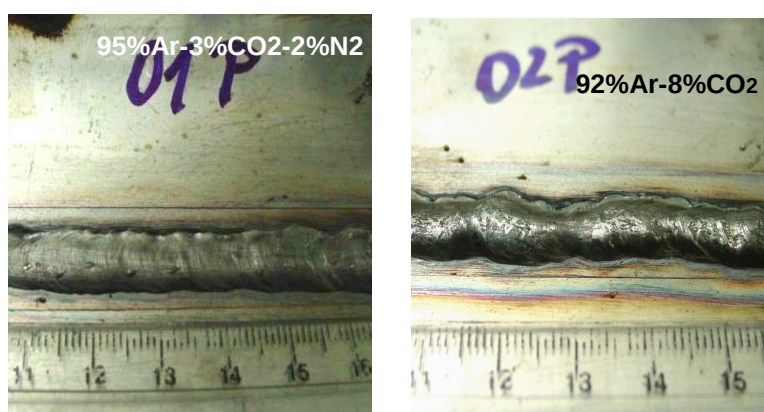


Figura 2 – Cordão de solda - MAG-P com *stickout* de 10 mm

A explicação para essa tendência maior a apresentar mordeduras para o gás 92%Ar-8%CO₂, é baseada na concentração de CO₂ nesse gás, na faixa de 8%. Como o CO₂ é um gás com alta condutividade térmica, que possibilita fornecer um arco direto com penetração uniforme, maior tensão é necessária para sustentar o arco, conseqüentemente, maior energia é gerada e maior quantidade de calor é transferida

para a solda, proporcionando um aumento na molhabilidade. Além do que, existe o fato de que reações de oxidação na poça geram mais calor e também contribuem para o aumento da fluidez. Como a velocidade de soldagem é inconstante e há oscilação do ângulo de ataque do arco e com uma melhor molhabilidade, aliada a baixa condutividade térmica do aço inox, que retém mais calor na região da solda, e o fato da solda ser realizada na posição horizontal, resulta numa poça de fusão mais fluida, com tendência ao escorrimento e, conseqüentemente, maior incidência de mordeduras na parte superior da chapa de aço inox.

Por outro lado, como o gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ possui menor concentração de CO₂ em sua composição, na faixa de 3%, menor tensão é necessária para sustentar o arco e menor quantidade de calor é transferida para a solda, ou seja, a poça de fusão fica mais “fria” e a molhabilidade é menor, logo, a poça de fusão escorre menos diminuindo a incidência de mordeduras e apresentado um melhor acabamento superficial.

3.2 - Efeito do *stickout* e do índice de defeitos superficiais

Os corpos de prova com *stickout* de 10 mm não apresentaram uniformidade no cordão de solda, onde podem ser observadas mordeduras e uma maior tendência ao escorrimento. Segundo Carvalho (1999), as mordeduras estão associadas, entre outras causas, a inconstância na velocidade de soldagem e a oscilação do ângulo de ataque do arco elétrico. Porém a ocorrência desse defeito pode ser minimizada ou mesmo evitada, pela habilidade do soldador. Nesse caso, além da influência do gás, citado no item 3.1, e por se tratar de solda na posição horizontal, o soldador obteve dificuldade de visualizar a ponta do arame, dificultando o controle da poça de fusão, causando uma queda no acabamento, considerável quantidade de mordedura e dificuldade de executar a solda. O aspecto do cordão de solda pode ser visto na figura 2.

Os corpos de prova com *stickout* de 15 mm apresentaram, para as duas variantes do processo MAG, boa uniformidade no cordão de solda, bom acabamento superficial para o processo MAG-P e um excelente acabamento para o MAG-PT, devido a formação de escamas. O aspecto do cordão de solda para o MAG-P e MAG-PT pode ser visto nas figuras 3 e 4. O *stickout* de 15 mm apresenta uma excelente condição de soldagem.

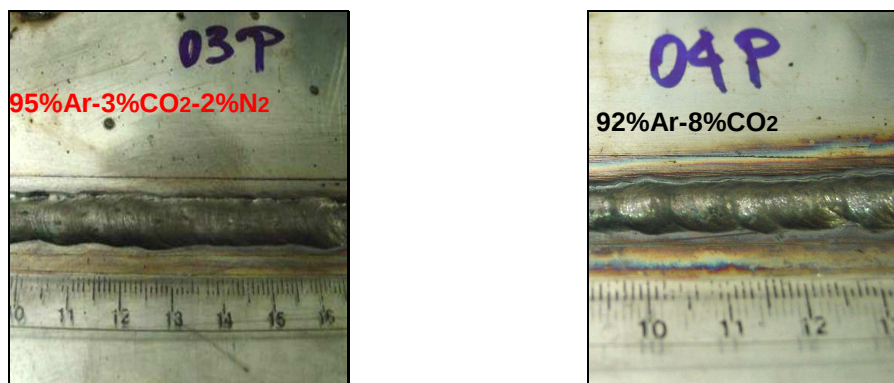


Figura 3 – Aspecto do cordão de solda – MAG-P com *stickout* de 15 mm

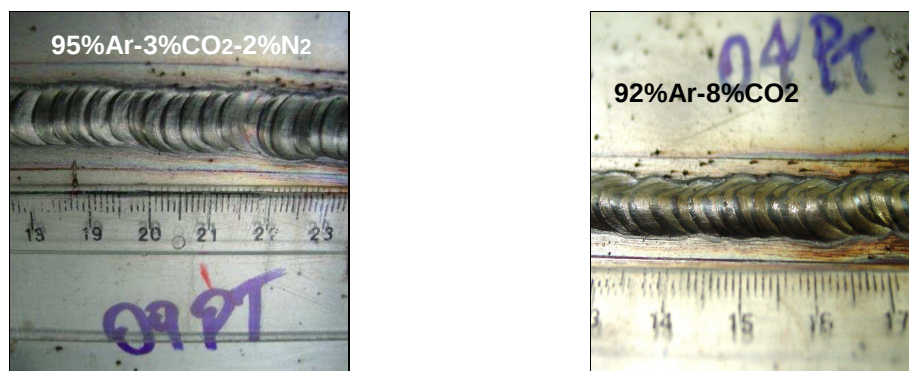


Figura 4 – Aspecto do cordão de solda – MAG-PT com *stickout* de 15 mm

Os corpos de prova com *stickout* de 20 mm apresentaram, para as duas variantes do processo MAG, uniformidade no cordão de solda, bom acabamento superficial para o processo MAG-P e um excelente acabamento para o MAG-PT. Foi observado, pelo soldador, uma pequena instabilidade no arco, porém com menos mordedura, dificultando um pouco o controle da poça de fusão.

3.3 - Avaliação das soldas quanto aos critérios de aceitação

3.3.1 – Mordeduras

Alguns corpos de prova apresentaram mordeduras, principalmente os com *stickout* de 10 mm, como visto na figura 1. Apesar disto, todos ficaram dentro do limite estabelecido por norma, que define que as mordeduras não podem ultrapassar 0,45 mm de profundidade.

As causas do surgimento de mordeduras no cordão de solda foram apresentadas nos itens 3.1 e 3.2.

3.3.2 – Trincas de solidificação, porosidade superficial e a influência do gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ na fração de ferrita delta

Para verificação da incidência de trincas de solidificação e porosidade superficial no cordão de solda, foi realizado o ensaio por líquido penetrante. Como pode ser observado na figura 5, onde são mostrados alguns exemplos, e independente do gás de proteção utilizado, não há incidência de trincas nem porosidade superficial no cordão de solda.



Figura 5 – Ausência de trincas e poros após ensaio por líquido penetrante para o MAG-P e MAG-PT

A análise metalográfica é importante, uma vez que o gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ possui em sua composição 2% de nitrogênio. Normalmente a adição de nitrogênio ao gás de proteção visa o controle da microestrutura e do modo de solidificação. Como o nitrogênio é um elemento gamagênico, teores elevados desse elemento na solda podem alterar o modo de solidificação, tornando-o austenítico. Isso pode ser indesejável, pois pode haver redução no teor de ferrita delta (Fe-δ) e a solda apresentar susceptibilidade a trincas de solidificação.

Com isso torna-se importante verificar, através de análise metalográfica, a microestrutura obtida para os dois gases de proteção utilizados, um com adição de nitrogênio e o outro sem, de forma a verificar se houve alteração na fração de ferrita delta (Fe-δ).

A figura 6 mostra as micrografias com os gases de proteção 92%Ar-8%CO₂ e 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ utilizados neste estudo.

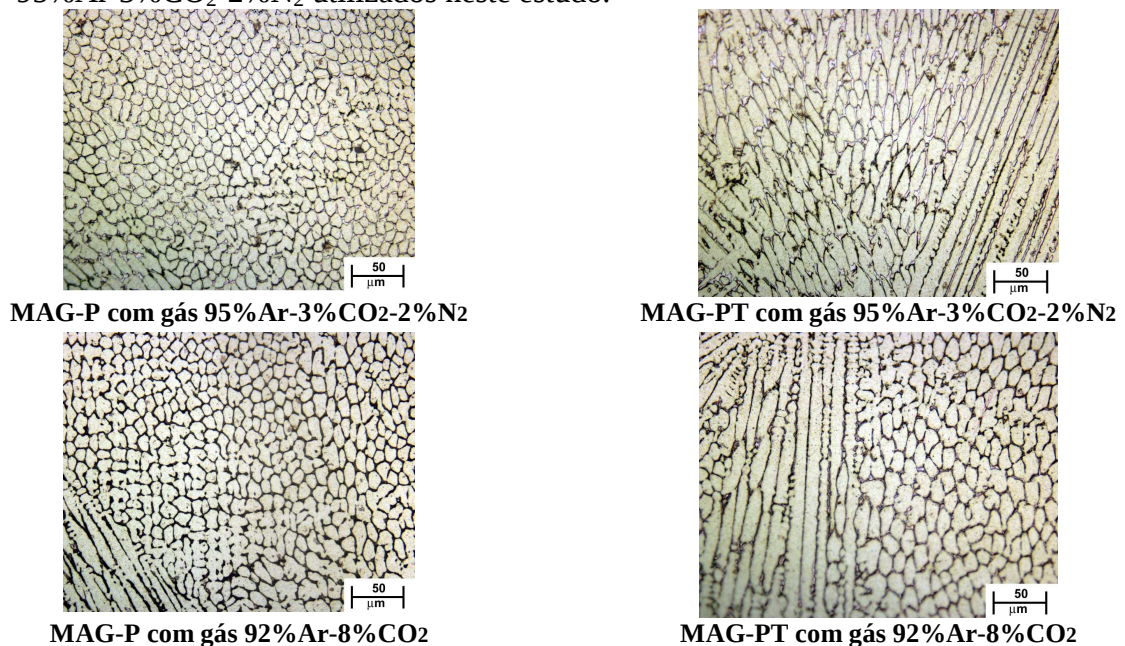


Figura 6 – Micrografia mostrando a presença de ferrita delta (aumento 500 x)

Como pôde ser observado, não foram observadas alterações aparentes na quantidade de ferrita delta (Fe-δ) na solda, com isso, conclui-se que o nitrogênio adicionado ao gás de proteção 95%Ar-3%CO₂-2%N₂, não apresentou efeito na fração de ferrita delta (Fe-δ).

3.3.3 – Falta de fusão e falta de penetração

Como um dos critérios de aceitação, a falta de fusão não é permitida no cordão de solda. Essa análise determina a aprovação ou não do processo de soldagem para soldas de revestimento tipo “lining”. Além disto, a falta de penetração compromete a aprovação no ensaio de dobramento.

A macrografia da figura 7 apresenta o corte transversal de amostras do MAG-PT, onde pode ser observada falta de fusão. No corte longitudinal, macrografia da figura 8, também para o processo MAG-PT, observa-se que em parte do cordão de solda não houve penetração.

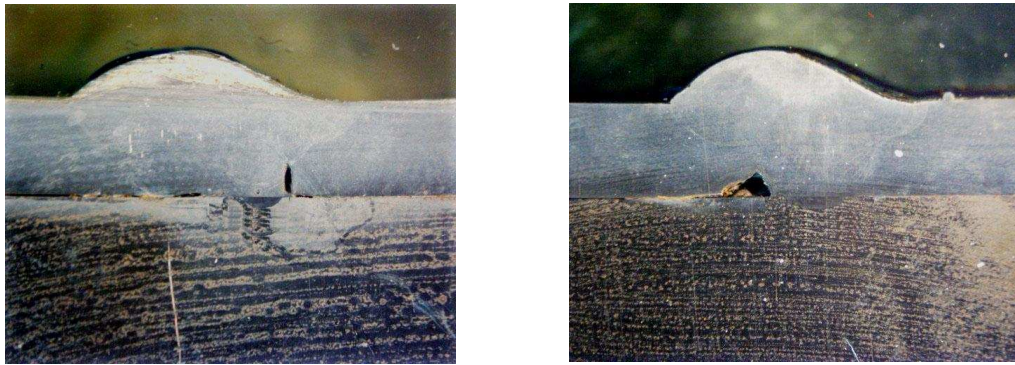


Figura 7 – Micrografias de amostra do MAG-PT apresentando falta de fusão

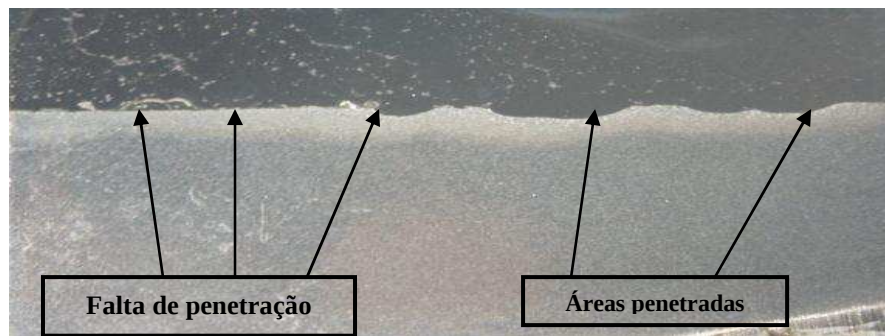
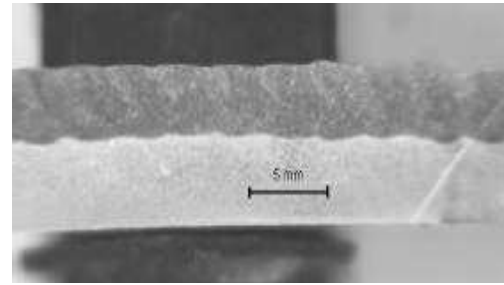
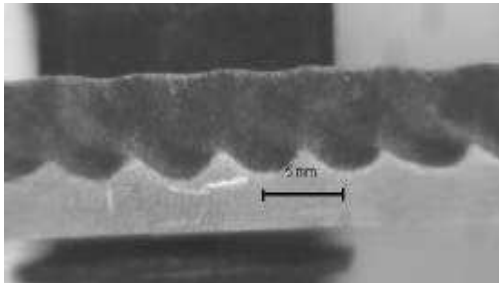


Figura 8 – Corte longitudinal de amostra do MAG-PT mostrando áreas com penetração e sem penetração (aumento 5x)

O surgimento da falta de fusão e/ou penetração para o MAG-PT não segue um critério muito bem definido, ou seja, aparece em corpos de prova independente do comprimento do eletrodo ou do tipo de gás utilizado. Das 18 amostras analisadas macrograficamente, 10 apresentaram falta de penetração.

O sincronismo entre frequência de pulsação e velocidade de soldagem também é muito importante, desde que a corrente média possa proporcionar boa penetração. A alteração do tempo de pulsação térmica pode ser utilizado para uniformizar a penetração, ou seja, adquirir uma penetração mais uniforme, reduzindo o efeito serrilhado.

Scotti e Silva (2001), demonstraram, para uma liga de alumínio, que o tempo de pulsação térmica T_p e T_b têm efeito significativo sobre a profundidade e regularidade da penetração (figura 9), e também sobre o aspecto visual do cordão, avaliado pelo número de escamas por unidade de comprimento. Um melhor aspecto é alcançado para os menores valores dos parâmetros de pulsação T_p e T_b . Cabe ressaltar que a velocidade de soldagem foi mantida constante durante a solda realizada na posição plana.



Tempo de pulsação T_p e $T_b = 0,8$ s

Tempo de pulsação T_p e $T_b = 0,6$ s

Figura 9 – Perfil de penetração para o MAG-PT com variação do tempo de pulsação (Scotti e Silva, 2001)

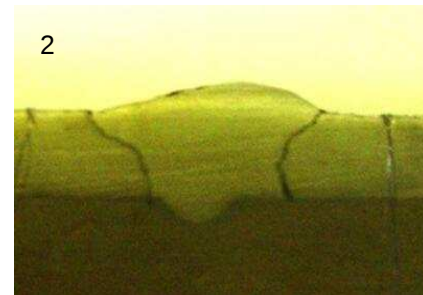
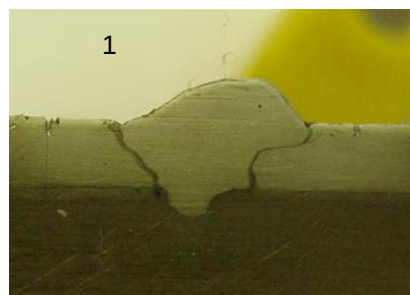
Os dados do estudo de Scotti e Silva (2001), mostraram que com a redução do tempo de pulsação térmica, maiores frequências, o perfil de penetração mudou, aproximando-se do MAG-P, por outro lado, a penetração também diminuiu, mantida a corrente média, como visto na figura 9.

Do exposto, pode-se concluir que a variante MAG-PT é mais sensível para a soldagem de revestimento utilizando-se soldagem manual do que o MAG-P, utilizando a mesma corrente média. Como o soldador não consegue manter um padrão durante a realização da solda, ocorre variação na penetração devido a falta de uniformidade entre velocidade de soldagem e frequência de pulsação. Conseqüentemente, a solda apresenta maior variação na penetração com regiões de maior, menor ou mesmo falta de penetração.

Com mais tempo de treinamento do soldador, que é de fundamental importância, e um ajuste dos parâmetros de solda, corrente média e frequência de pulsação, acredita-se que possa ser resolvido o problema da falta de penetração e minimizado a sensibilidade da soldagem manual pela habilidade do soldador.

O MAG-P não apresentou problemas de falta de fusão e/ou penetração ao longo do cordão de solda.

A macrografia da figura 10 apresenta o corte transversal de uma amostra, onde não são observadas falta de fusão e falta de penetração.



Stickout de 10 mm e gás 92%Ar-8%CO₂

Stickout de 20 mm e gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂

Figura 10 – Corte transversal de amostra do MAG-P

3.3.4 – Análise química

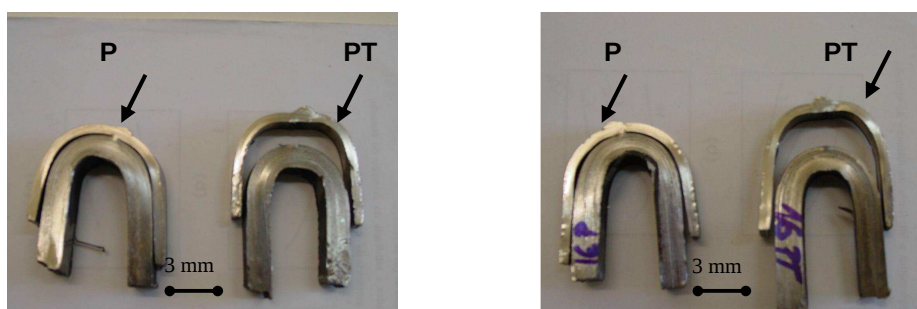
O aspecto mais importante da análise química é quanto ao teor de Molibdênio na solda. O teor de Molibdênio deve ser $\geq 2,5\%$, de forma a garantir a proteção contra a corrosão por ácido naftênico.

Os teores de molibdênio determinados por análise química estão acima do mínimo estabelecido por norma, ou seja, acima de 2,5%. A média encontrada foi de 2,68% de molibdênio.

3.3.5 – Ensaio de Dobramento

O ensaio de dobramento é o principal ensaio destrutivo para qualificação do processo de soldagem. O mesmo foi realizado de acordo com o especificado no Código ASME IX, seção 1.

A figura 11, mostra os corpos de prova submetidos ao ensaio de dobramento e pode ser observado que não houve rompimento do revestimento durante o ensaio de dobramento.



Stickout 10 mm e gás 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ Stickout de 15 mm e gás 92%Ar-8%CO₂
Figura 11 – Corpos de prova submetidos ao ensaio de dobramento

3.4 - Estudo das características econômicas (custos do reparo).

Para efeito de análise de custos, tomou-se como base o procedimento utilizado atualmente nas soldas de revestimento do tipo “lining”, onde são realizadas pelo processo MAG convencional com arame tubular.

Na tabela 1 são apresentados os dados relativos aos dois processos que serão comparados.

Tabela 1 – Dados comparativos entre o processo de soldagem MAG convencional com arame tubular e o MAG-P com arame maciço

	MAG convencional com arame tubular	MAG pulsado com arame maciço
Produtividade	1 m/h	8 m/h
Nº de passes	05	01
Abertura entre chapas	10 mm	4 mm

Alguns dados foram baseados no último reparo realizado na REPLAN, realizado em 2003. Dessa forma os cálculos ficam bem próximos da realidade. Naturalmente, o objetivo é dar uma ordem de grandeza, uma vez que os valores utilizados neste tipo de reparo são altos.

- Quantidade de solda – 1730 metros lineares;

- Turno – 8 horas;

- soldadores – 08 por turno;

- **Produtividade do arame tubular = 1m/h**

- Para um turno de 8 horas/dia, cada soldador produziu 8 metros de solda/dia. Considerando uma perda de 30 % durante o turno tem-se uma produtividade de 5,6 metros de solda/dia; (05 passes) – FONTE REPLAN

- 08 soldadores/dia x 5,6 metros de solda/dia = 44,8 metros de solda/dia

- Para 1730 metros lineares de solda por dia, corresponde a 38,6 dias de reparo;

- **Produtividade do processo MAG PULSADO com arame maciço = 8 m/h**

- Seguindo o mesmo raciocínio do arame tubular: com a produtividade de 8 m/h e para um turno de 8 horas/dia, cada soldador produzirá 64 metros de solda/dia. Considerando uma perda de 30 % durante o turno tem-se uma produtividade de 44,8 metros de solda/dia;

- 08 soldadores/dia x 44,8 metros de solda/dia = 358,4 metros de solda/dia

- Para 1730 metros lineares de solda por dia, corresponde a 5 dias de reparo;

- **Gastos com consumíveis:**

- **ARAME TUBULAR**

- Gastos do último reparo: 2647 kg de arame E309MoL (AT), utilizando 05 passes de solda;

- Preço do arame tubular E309MoL – R\$ 154,50/kg (Fonte KESTRA)

- Gasto de arame tubular 2647 x 154,5 = R\$ 408.961,50

- **ARAME MACIÇO**

- Para 01 passe a previsão é 2647/5 = 529,4 kg de arame ER309MoL (AM);

- Preço do arame maciço ER309MoL – R\$ 78,00/kg (Fonte KESTRA)

- Gasto com arame maciço = R\$ 41.293,20

- **Equipamentos:**

- **Máquina de Solda** – R\$ 100,00/dia (Fonte LABSOLDA)-> 08 máquinas/dia = R\$ 800,00/dia;

- **MAG convencional com arame tubular:**

- 38,6 dias de reparo x R\$ 800,00/dia = R\$ 30880,00 de aluguel de máquina de solda;

- **MAG pulsado com arame maciço:**

- 5 dias de reparo x R\$ 800,00/dia = R\$ 4.000,00 de aluguel de máquina de solda;

- **Mão de Obra** – R\$ 70,00/dia (Soldador qualificado – Fonte LABSOLDA) -> 08 soldadores/dia = R\$ 560,00/dia com mão de obra de soldador, sem levar em consideração os ajudantes.

- **MAG convencional com arame tubular:**

- 38,6 dias de reparo x R\$ 560,00/dia = R\$ 21.616,00 de gasto com soldador;

- **MAG pulsado com arame maciço:**

- 5 dias de reparo x R\$ 560,00/dia = R\$ 2.800,00 de gasto com soldador;

A tabela 2, mostra os dados calculados relativos aos dois processos para uma análise global do reparo do “lining”.

Tabela 2 – Dados calculados relativos ao reparo do “lining”

	MAG convencional com arame tubular	MAG pulsado com arame maciço
Tempo de reparo	38,6 dias	5 dias
Gastos com consumíveis	R\$ 408.961,50	R\$ 41.293,20
Gastos com máquina de solda	R\$ 30.880,00	R\$ 4.000,00
Gastos com mão de obra	R\$ 21.616,00	R\$ 2.800,00
TOTAL	R\$ 461.457,50	R\$ 48.093,20

Na tabela acima pode ser observado que o reparo através do Processo MAG-P com arame maciço, desenvolvido neste trabalho apresenta uma redução substancial nos custos e no tempo de reparo do “lining”, possibilitando menos tempo de parada das torres, com conseqüente redução de custos na manutenção.

Cabe ressaltar que faltou considerar o custo de gás, energia elétrica, mão-de-obra de montadores, esmerilhadores, etc, que, mesmo pelas piores estimativas, representará um aumento substancial no custo do MAG convencional.

4 – CONCLUSÕES

Análise dos resultados desse trabalho experimental e do reportado na literatura recente permite as conclusões:

1. É tecnicamente viável e economicamente vantajosa a aplicação da variante MAG-P com arame maciço na soldagem de revestimento (*lining*), sendo a melhor condição de soldagem com *stickout* de 15 mm e gás de proteção 95%Ar-3%CO₂-2%N₂;

- O processo MAG-P foi aprovado em todos critérios de aceitação, em especial, pelas reduzidas penetração/diluição é possível atender o requisito de molibdênio $\geq 2,5\%$;

- Face à experiência recente em Refinarias da Petrobrás com MAG utilizando arame tubular as vantagens são muito significativas:

⇒ Produtividade de 1m/h para 8 m/h;

⇒ O gasto com consumível do MAG pulsado é 05 vezes menor que o MAG com arame tubular;

⇒ Como o arame tubular custa aproximadamente o dobro do arame maciço, a economia financeira com consumível é cerca de 10 vezes;

2. Quanto aos gases:

- Os dois tipos de gases de proteção testados podem ser utilizados na soldagem de revestimento, porém a mistura 95%Ar-3%CO₂-2%N₂ resulta em melhor acabamento superficial que o 92%Ar-8%CO₂, independentemente da condição e do processo de soldagem;

3. Quanto ao *stickout*:

- Para soldagem manual o comprimento de eletrodo de 10 mm não deve ser utilizado neste tipo de solda devido a dificuldade de controle da poça de fusão e, por outro lado, o comprimento do eletrodo de 20 mm também é inadequado (para a vazão de gás de 14 l/min), uma vez que a distância bico-peça muito longa, comprometendo a proteção da poça fundida e causando porosidades nas soldas;
- O comprimento de eletrodo de 15 mm demonstrou ser a melhor condição de soldagem, independente do processo de soldagem utilizado;

4. Quanto ao MAG-PT

- O acabamento superficial da variante MAG-PT é superior ao do MAG-P, independente do gás de proteção e do comprimento de eletrodo utilizados;
- A variante MAG-PT é mais sensível a soldagem manual, havendo variação excessiva na penetração;

Para os parâmetros de solda utilizados ($I_m = 100$ A e $t_p = 0,5$ s), a variante MAG-PT não é viável para soldagem manual do “*lining*”, sendo reprovado no ensaio de dobramento.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASME, “**Welding and Brazing Qualifications**” – Section IX - 3ª Edição - 2001

BALDUCCI, C.R., GOLDBERG, L.N., VILAS BOAS, M.C., - “**Uso do processo de arame tubular em parada de manutenção**” – Anais do 1º Encontro técnico da soldagem – Julho 2004 – Rio de Janeiro – RJ

BRACARENSE, A., ZEEMANN, A., ALMEIDA, D., URTADO, E., FERRER, S., PEREIRA, U., - **A soldagem GMAW (ou MIG-MAG)** – Revista da soldagem – 2005

CARVALHO, M.J., - “**Orientações práticas de soldagem em aço inox**” – ACESITA – 1999

CERSOSIMO, A.G., ANTUNES, E.S., SÉRVULO, W., FEDELE, R., COSTA, U.P., TAMBURUS, E.G., RAMALHO, J. – “**Otimização do processo Arame Tubular na soldagem de Lining**” – I ENSOLD - 2005