

REVESTIMENTO POR SOLDAGEM FORA DE POSIÇÃO EM PAINÉIS DE CALDEIRAS DE TERMOELÉTRICAS- MIG/MAG PULSADO VERSUS CONVENCIONAL

Rodrigo da Silva Machado, rodrigo.machado@grad.ufsc.br¹
Cleber Marques, c.marques@labsolda.ufsc.br¹
Alberto Bonamigo Viviani, alberto@labsolda.ufsc.br¹
Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br¹

¹Instituto de Soldagem e Mecatrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Trindade, Florianópolis - SC, Brasil, CEP: 88040-900, C.P.: 476. Phone: +55 (48) 3721-9471

Resumo: *Tubos que compõem caldeiras de termoelétricas são propensos a desgastes em sua superfície por erosão e/ou oxidação. Os óxidos e fuligens, provenientes da queima do carvão mineral, aliados a alta umidade e temperatura nas regiões próximas aos bicos de limpeza, são os principais responsáveis. Depois de certo período, faz-se necessária a substituição total ou parcial dos painéis comprometidos. Tal procedimento acaba por comprometer a geração de energia, tendo em vista que durante o período de substituição dos painéis, a caldeira permanece desativada. No intuito de postergar esses ciclos de manutenção, a região da caldeira mais crítica é revestida com uma camada de determinadas ligas com propriedades que garantem maior resistência a agentes corrosivos e abrasivos. Ora esses revestimentos são feitos in loco ora em oficinas para posterior substituição. Nas oficinas, há liberdade de escolha da posição de soldagem, buscando a mais favorável para a aplicação do revestimento; no entanto, o presente trabalho aborda o revestimento in loco. Os painéis em questão encontram-se na horizontal, com inclinação de 15° em relação à posição plana, dificultando a operação. Para fins comparativos, dois diferentes processos foram considerados: soldagem MIG/MAG convencional e com corrente pulsada. Nos testes para definição dos parâmetros, ambos os processos apresentaram problemas, como mordeduras e assimetria longitudinal dos cordões; no entanto, este último defeito maximizava-se na presença do MIG/MAG pulsado, devido aos maiores níveis de corrente empregados no processo. Por fim, obteve-se resultado satisfatório tanto para o modo convencional quanto para modo pulsado. Quando comparados entre si, a soldagem de revestimento utilizando o modo convencional mostrou-se mais eficiente tanto no aspecto superficial quanto pelas baixas diluição e penetração.*

Palavras chave: *Aços Inoxidáveis, Carvão Mineral, Energia, Desgaste Superficial, Corrosão.*

1. INTRODUÇÃO

Em paredes de caldeiras de termelétricas é comum o desgaste por corrosão e erosão (provenientes do atrito gerado por partículas, oriundas da queima do carvão, com as paredes que formam as caldeiras) de suas superfícies em contato com os resíduos da combustão do carvão. Este desgaste provoca a redução da espessura das mesmas, podendo chegar ao rompimento dos tubos. Uma das soluções possíveis é a soldagem de revestimento da superfície destas caldeiras com ligas especiais resistentes à corrosão[1][2][3].

A caldeira em questão, é a caldeira 7 do complexo termoelétrico Jorge Lacerda, e encontra-se levemente inclinada (15o) com relação a posição de soldagem horizontal. Tendo em vista a necessidade de revestir as caldeiras em sua posição de trabalho, tornou-se mais complexo estes revestimentos, uma vez que a caldeira a ser revestida encontra-se inclinada 15° em relação ao plano horizontal. Este trabalho aborda o desenvolvimento de procedimento para aplicação de revestimento metálico por soldagem na caldeira em questão. Optou-se por trabalhar com duas variações do processo MIG/MAG, pulsado e convencional, possibilitando a comparação do desempenho de ambas na aplicação estudada.

2. BANCADA EXPERIMENTAL

Para realizar os ensaios de soldagem, foi utilizada a bancada mostrada na Figura 1.



Figura 1: Bancada de ensaios.

Os componentes utilizados para a realização dos testes são:

1. Tartilope V4 [4];
2. Trilho com sapata magnética de fixação;
3. Secção de caldeira inclinada 15° em relação ao plano horizontal;
4. Bancada tipo basculante;
5. Gabinete de controle do manipulador Tartilope V4;
6. Fonte de soldagem da IMC Digiplus A6 600 AC [5];

3. DESENVOLVIMENTO

Os testes iniciais foram feitos em chapa plana de aço carbono SAE 1020 com espessura 3/8", para posterior adaptação às caldeiras. O material de adição utilizado foi o arame eletrodo de aço inoxidável AWS ER309-LSi. Seguem os testes comparativos entre o processo MIG/MAG convencional e MIG/MAG pulsado.

3.1. Soldagem de Revestimento Utilizando MIG/MAG Convencional com Destacamento de Gota por Curto Circuito

Com a utilização da mistura gasosa STARGOLD SS (95% Ar, 3%CO₂ e 2%N₂) como proteção gasosa, vazão de gás igual à 10 l/min e DBCP de 17mm, testes iniciais foram feitos objetivando a definição de parâmetros que garantissem a estabilidade do arco elétrico e do destacamento de gotas. Os parâmetros finais adotados, já na superfície dos tubos, foram: tensão média (U=16,5V) e velocidade de avanço de arame eletrodo (Va=4,2m/min) resultando me uma corrente média de 115A.

Observou-se, no entanto, que houve uma assimetria longitudinal nos cordões de solda, tendo uma maior concentração do metal depositado na parte inferior do cordão, figura 2, devido a ação gravitacional.

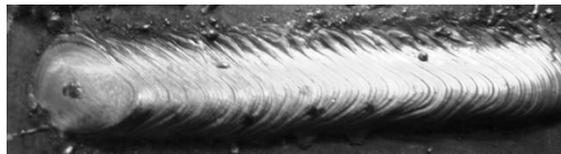


Figura 2- Cordão de solda com assimetria longitudinal (concentração de material na parte inferior).

Na tentativa de uniformizar a deposição de material ao longo do cordão, inseriu-se tempo de parada na extremidade superior da oscilação. No entanto percebeu-se uma ligeira intensificação do problema original, pois mesmo o arco atuando por mais tempo na parte superior do cordão, o material persistia em escorrer.

Após novos testes com alterações dos parâmetros elétricos e de movimento, sem sucesso para geometria do cordão, a derradeira alternativa para atenuar os efeitos da ação gravitacional, foi trabalhar com pouca deposição de material, produzindo cordões com menor reforço, e por isso com menor tendência ao escorrimento. E por isso reconsiderou-se os parâmetros de soldagem originais com um pequeno aumento na velocidade de soldagem.

Os testes seguiram na tentativa de revestir uma pequena região da chapa com cordões dispostos lado a lado. No entanto, foi observada a ocorrência de mordeduras nas sobreposições entre os cordões de solda (Figura 3). O que foi corrigido invertendo o sentido da disposição dos cordões. Ou seja, os cordões passaram a ser dispostos de baixo para cima, com a extremidade inferior do último cordão depositado sobrepondo a extremidade superior do cordão anterior. Neste último caso, embora imediatamente após a passagem do arco sobre o último cordão soldado originasse mordeduras, estas acabavam desaparecendo a medida que o material do cordão que estava sendo soldado sobrepunha e refundia estas regiões.

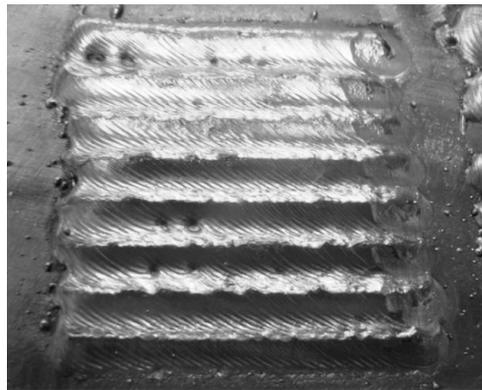


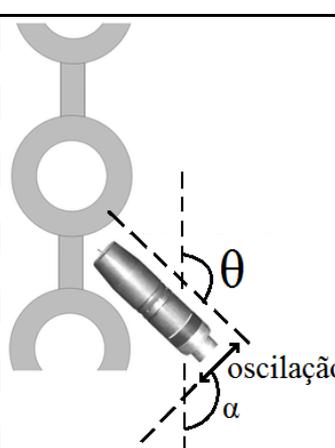
Figura 3- Região revestida com problemas de mordeduras.

Os testes seguiram nas seções de caldeiras, e devido à complexidade geométrica da mesma, foi necessário o desenvolvimento de parâmetros de deslocamento para cada posição do tubo.

Para uma região que compreende o início de uma membrana até o final de um tubo foram utilizados 13 cordões, cujos parâmetros de deslocamento estão descritos na Tabela 1, os quais se referem à interface gráfica de comando do Tartilope V4.

A imagem da tabela ilustra como foi definido a angulação, para cada cordão de solda, entre o plano da membrana e o plano da oscilação da tocha.

Tabela 1 – Parâmetros de deslocamento utilizados.

Posição	Vs (m/min)	A (mm)	F (hz)	θ Tocha (graus)	α Oscilação (graus)	d (mm)	Imagem
Membrana	35	5	2,5	70	120	0	
Membrana	35	7	2,5	0	180	2	
Membrana	35	5	2,5	120	210	0	
Junção	35	5	2,5	120	230	0	
Lateral	35	7	2,5	145	225	2	
Lateral	35	7	2,5	135	225	2	
Lateral	35	7	2,5	120	225	1	
Lateral	35	7	2,5	110	210	1	
Topo	35	7	2,5	0	180	1	
Topo	35	7	2,5	0	180	1	
Lateral	35	7	2,5	60	160	0	
Lateral	35	7	2,5	45	135	0	
Lateral	35	7	2,5	30	120	0	

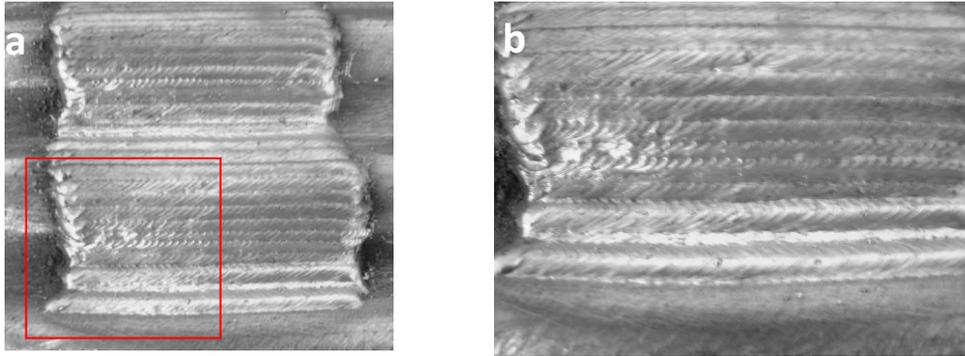
Onde:

Vs: velocidade de soldagem.

A: amplitude de oscilação.

F: frequência de oscilação.
 θ tocha: ângulo entre a tocha e o plano da membrana.
 α oscilação: ângulo entre o plano de oscilação e o plano da membrana.
d: valores de afastamentos considerando a extremidade do cordão soldado anteriormente e a ponta do arame eletrodo.

Os resultados obtidos pelo revestimento de trechos da caldeira, utilizando o modo convencional, estão ilustrados na Figura 4, seguidos pelos oscilogramas de tensão e corrente, apresentados na Figura 5.



Figuras 4: a) Trechos de revestimento superficial em seções de caldeiras de termoeletricas por processo MIG/MAG convencional, b) Ampliação da região em destaque na imagem (a).

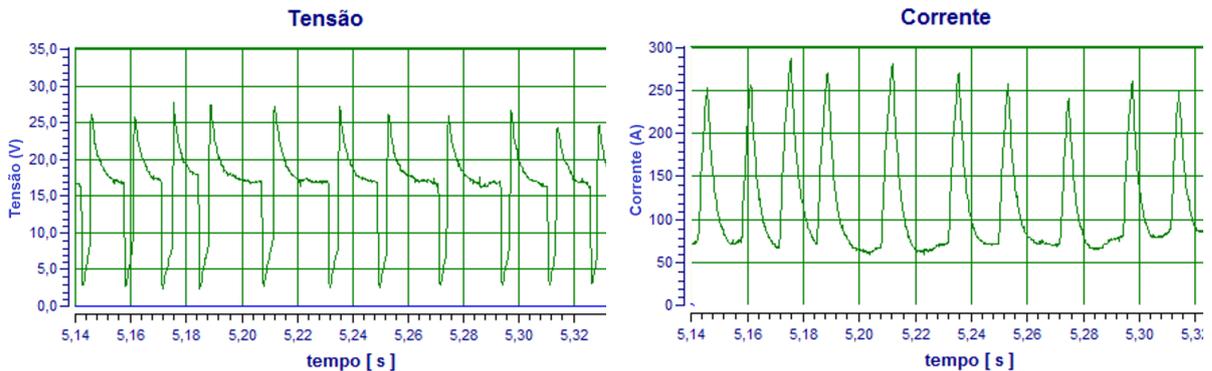


Figura 5: Oscilogramas de tensão e corrente referentes ao processo MIG/MAG convencional.

Quanto à avaliação por análise metalográfica, o revestimento apresentou uma baixa taxa de diluição e bom reforço superficial. Os dados completos da metalografia estão presentes na Tabela 2 e sua ilustração na Figura 6.

Tabela 2- Dados relativos à análise macrográfica.

Região	Medidas
Penetração máxima	0,89 mm
Penetração mínima	0,48 mm
Reforço máximo	3,43 mm
Reforço mínimo	2,61 mm
Taxa de diluição	19%



Figura 6: Imagem da metalografia referente à soldagem de revestimento superficial com o programa MIG/MAG convencional com destacamento de gota por curto circuito.

3.2. Soldagem de Revestimento com MIG/MAG Pulsado

Inicialmente houve questionamento quanto ao uso do MIG/MAG Pulsado, já que este tipo de transferência metálica ocorre em maiores níveis de corrente média, e por isso haveria uma maior tendência ao escorrimento do metal a ser depositado.

Com o objetivo de utilizar o programa do pulsado sinérgico desenvolvido anteriormente para este metal de deposição, fez-se necessário a utilização da mistura gasosa STARGOLD FLEX (98% Ar e 2% O₂).

Basicamente as mesmas dificuldades encontradas no MIG/MAG convencional estiveram presentes no MIG/MAG pulsado. Tanto na assimetria longitudinal dos cordões, figura 7, quanto nas sobreposições dos cordões que mantiveram mordeduras, Figura 8.

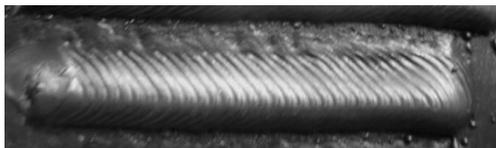


Figura 7: Cordão de solda com assimetria longitudinal.

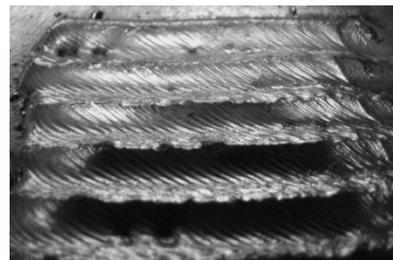


Figura 8: Cordões de solda com mordeduras na região de sobreposição.

Objetivando tornar a deposição uniforme, já que esta concentrava-se na parte inferior do cordão de solda, optou-se, como no processo anterior, por reduzir a deposição de material. Buscou-se também trabalhar com um menor comprimento de arco na tentativa de garantir maior estabilidade no programa do sinérgico. E para tanto, utilizou-se a correção de altura do arco (variável “a”, presente no programa do sinérgico). Alguns respingos foram gerados provenientes dos curtos-circuitos que ocorreram no decorrer do processo devido ao baixo comprimento de arco.

Os testes seguiram na secção de caldeira. E com os parâmetros elétricos pré-definidos em chapa: corrente média (115 A) e fator de correção de altura do arco (-6). Foi utilizado DBCP igual à 18 mm e vazão de gás igual a 15 L/min. Por fim fez-se necessária a variação dos parâmetros de movimento para as diferentes posições de soldagem nos tubos. Os quais estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de deslocamento utilizados.

Posição	Vs (m/min)	A (mm)	F (Hz)	θ tocha (graus)	α Oscilação (graus)	d (mm)
Membrana	27	9	3,5	75	120	0
Membrana	25	7	3,5	80	110	1
Membrana	25	7	3,5	115	180	0
Junção	25	8	3	140	230	0
Jateral	25	8	3	135	225	1
Lateral	27	9	3,5	135	225	1
Lateral	27	7	3,5	120	210	1

Lateral	27	7	3,5	110	210	1
Topo	27	7	3,5	0	180	0
Lateral	27	7	3,5	70	160	0
Lateral	27	7	3,5	30	145	1
Lateral	27	9	3,5	45	120	0

Os resultados obtidos pelo revestimento de trechos da caldeira, utilizando o MIG/MAG pulsado, estão ilustrados na Figura 9, e são seguidos pelos oscilogramas, Figura 10, de tensão e corrente obtidos no respectivo processo.

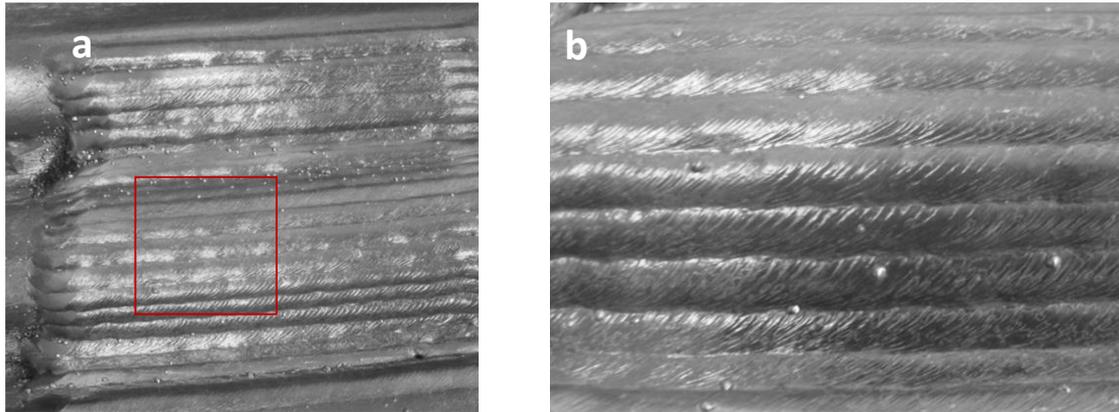


Figura 9- a) Trechos de revestimento superficial por soldagem em secções de caldeiras de termoeletricas utilizando processo MIG/MAG pulsado, b) ampliação da região delimitada em a).

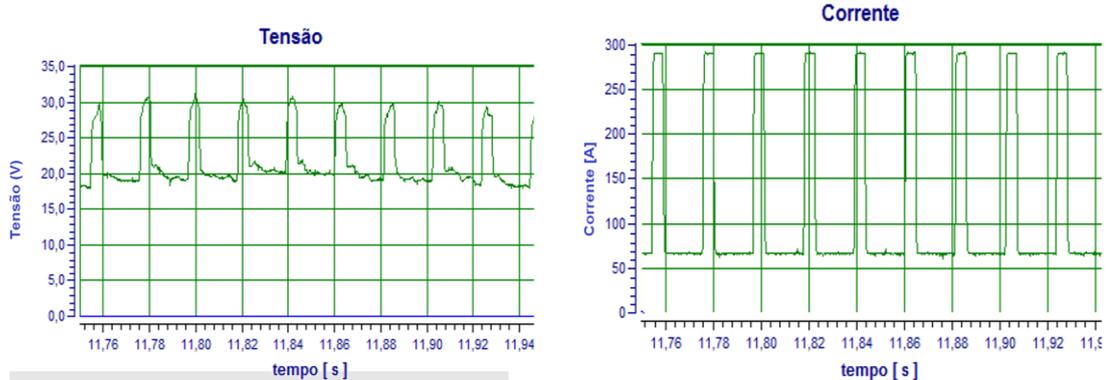


Figura 10: Oscilogramas de tensão e corrente no modo pulsado.

A análise metalográfica do revestimento, ao contrário do que se esperava, não revelou excessiva penetração. No entanto, como no caso da soldagem com o MIG/MAG Convencional, houve um significativo reforço, principalmente na região da membrana. Os dados referentes à metalografia estão presentes na tabela 4, e a ilustração da macrografia na Figura 11.

Tabela 4- Dados relativos à análise macrográfica.

Região	Medidas
Penetração máxima	1,08mm
Penetração mínima	0,53mm
Reforço máximo	4,72mm
Reforço mínimo	3,07mm
Taxa de diluição	22%



Figura 10- Metalografia referente ao processo MIG/MAG pulsado.

4. CONCLUSÕES

Os acabamentos superficiais entre os dois processos se assemelham assim como as taxas de penetração, no entanto o processo pulsado apresenta maior reforço, principalmente na região que compreende a membrana. Em termos de produtividade o modo convencional demonstrou-se mais eficiente, além de apresentar uma maior robustez e repetitividade do processo.

5. REFERÊNCIAS

[1] SILVA, R. H. G.; Dutra, J. C.; PIOTROVSKI NETO, J.; et al. **Inovações em Revestimentos Automatizados de Tubos e Paredes d'Água de Caldeiras de Unidades de Geração Termelétrica para Mitigação de Desgaste**. Anais VIII CITENEL e IV SEENEL. Costa do Sauípe, 2015. 12 p.

[2] CARVALHO, Renon Steinbach. **Tecnologias para Execução de Revestimentos Via Soldagem Automática das Paredes D'Água de Usinas Termelétricas**. 2015. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

[3] DUTRA, J. C.; SILVA, R. H. G.; MARQUES, C. et al. **A new approach for MIG/MAG cladding with Inconel 625**. Welding in the World, v. online, p. online, 2016. doi: doi:10.1007/s40194-016-0371-3

[4] SPS Soldagem. Manual Tartílope V4. Disponível em: http://sps-soldagem.com.br/catalogo/Catalogo_de Equipamentos_SPS-Soldagem.pdf. Acesso em 15 Fev 2017.

[5] IMC Soldagem. Manual Digiplus A7 600 AC. Disponível em: <http://www.imc-soldagem.com.br/pt-br/equipamentos/fontes-de-soldagem/multiprocesso/linha-digiplus-a7>. Acesso em 15 Fev 2017.

WELDING OUT OF POSITION FOR THERMOELECTRIC BOILER PANELS CLADDING – PULSED VERSUS CONVENTIONAL MIG/MAG

Rodrigo da Silva Machado, rodrigo.machado@grad.ufsc.br¹

Cleber Marques, c.marques@labsolda.ufsc.br¹

Alberto Bonamigo Viviani, alberto@labsolda.ufsc.br¹

Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br¹

¹Welding and Mechatronics Institute. Federal University of Santa Catarina, Trindade, Florianópolis - SC, Brazil, CEP: 88040-900, C.P.: 476. Phone: +55 (48) 3721-9471

Abstract: Pipes that make up boilers from thermoelectric plants are prone to wear on their surface by erosion and / or oxidation. Oxides and soot from coal burning, combined with high humidity and temperature in the regions near the cleaning nozzles, are mainly responsible. After a certain period, the total or partial replacement of the panels involved is required. Such a procedure ends up compromising energy generation, considering that during panels replacement period, the boiler remains deactivated. In order to delay these maintenance cycles, the most critical boiler region is coated with a layer of certain alloys with properties that ensure greater resistance to corrosive and abrasive agents. Now these coatings are made locally or in workshops for later replacement. In the workshops, there is freedom to choose the welding position, seeking the most favorable for the coating application; however, the present work addresses in loco cladding operations. The panels in question are horizontal, with a slope of 15 ° from the flat position, making operation difficult. For comparative purposes, two different processes were considered: conventional and pulsed MIG/MAG. In the parameters definition tests, both processes presented problems, such as undercuts and longitudinal asymmetry of the beads; however, this latter defect was maximized in the presence of pulsed MIG/MAG due to the higher current levels employed in the process. Finally, a satisfactory result was obtained for both conventional and pulsed mode. When compared to each other, cladding welding using the conventional method has proved more efficient both in surface appearance and low dilution and penetration.

Keywords: Stainless Steel, Mineral Coal, Energy, Superficial Wear, Corrosion.