

CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DA SOLDAGEM MIG EM CCEN APLICADA EM REVESTIMENTO DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

Arildomá Lobato Peixoto

Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Correspondência: Rua Quinze de Janeiro, nº 291, Icoaraci, Belém, Pará – CEP 66811-110
e-mail: arildoma@gmail.com

Fábio Luis Castro Marinho

Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica.
e-mail: marinho.ufpa@gmail.com

Thiago da Silva Barrozo

Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica.
e-mail: thbarrozo@gmail.com

Carlos Alberto Mendes da Mota

Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
e-mail: cmota@ufpa.br

Eduardo de Magalhães Braga

Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
e-mail: edbraga@ufpa.br

Resumo. *Este trabalho estuda a soldagem MIG em corrente contínua com eletrodo negativo (CCEN) aplicada em soldas de revestimento (weld overlay) de aço inoxidável austenítico, e objetiva analisar as características econômicas (taxa de deposição, de fusão e rendimento) desse processo de soldagem nos modos de corrente contínua convencional e pulsada. Os consumíveis empregados foram o arame eletrodo AWS ER309L de 1,2 mm e a mistura gasosa 98%Ar+2%O₂ à vazão de 15l/min. Como metal de base, foram utilizadas chapas de aço inoxidável UNS S30400 (AISI 304). As soldagens automatizadas foram realizadas na posição plana, sendo mantida uma região de sobreposição de aproximadamente 30% da largura média dos cordões. O parâmetro variável foi a corrente média (165, 175 e 185 A) nos processos MIG convencional e MIG pulsado. Os dados instantâneos da corrente e da tensão de soldagem foram adquiridos e armazenados por um programa computacional e processados estatisticamente. Os resultados indicaram valores equivalentes para as taxas de deposição e de fusão em ambos os processos e refletem o excelente desempenho operacional na estabilidade do arco voltaico para as condições estabelecidas, justificando os elevados rendimentos alcançados na faixa de 98,6 a 98,9%.*

Palavras-chave: *weld overlay, rendimento, desempenho econômico.*

1. INTRODUÇÃO

A recuperação de componentes desgastados frequentemente pela ação corrosiva de ácidos naftênicos presentes na composição química do petróleo cru é realizada de forma lenta acarretando grandes prejuízos na produção do petróleo. Nos últimos anos, a utilização do processo de soldagem MIG neste tipo de operação vem se intensificando e é justificada especialmente pela sua elevada produtividade, Machado⁽¹⁾. Uma outra vertente em desenvolvimento é o uso da corrente contínua com o eletrodo negativo, Quintana⁽²⁾. Mas como explicado por muitos autores, como Corrêa et al⁽³⁾, Peixoto^{(4),(5)} e Almeida⁽⁶⁾, o desempenho econômico é um dos fatores de grande importância na soldagem e que muitas variáveis são capazes de interferir neste desempenho, como composição química, os parâmetros operacionais do processo de soldagem, o modo de transferência metálica etc.

Tendo isto em vista, este trabalho se propõe a estudar o comportamento das características econômicas (taxa de fusão - TF, taxa de deposição - TD e rendimento - R) de soldas de revestimento depositadas pelo processo de soldagem MIG em corrente contínua, eletrodo negativo (CCEN).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se uma bancada de soldagem na qual a fonte eletrônica multiprocessos foi ajustada em CCEN, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1. Bancada de soldagem utilizada para a realização dos experimentos, onde (1) Fonte de potência, (2) Cabeçote alimentador de arame, (3) Tocha, (4) Sistema de deslocamento automático da tocha de soldagem, e (5) micro-computador.

As soldagens experimentais automatizadas, na posição plana, foram depositadas em simples deposição em passes com 30% sobreposição sobre chapas de aço inoxidável austenítico da classe AISI 304 (UNS S30400). O arame consumível empregado foi o da classe AWS ER309L com diâmetro de 1,2 mm, para proteção do arco elétrico, uma mistura gasosa de 98%Ar/2%O₂ na vazão de 15 l/min. Permaneceram constantes a distância bico de contato à peça (DBCP) em 20 mm, o ângulo de inclinação da tocha em 15°, e o sentido de deslocamento foi o “empurrando”.

Os parâmetros de soldagem empregados na obtenção dos corpos de prova soldados estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem empregados nos experimentos.

Processo	Va	Vs	Im	U	tp	Ip	tb	Ib
MIG	(m/min)	(cm/min)	(A)	(V)	(ms)	(A)	(ms)	(A)
P	7,0	20	165	-	2,0	203	4,9	150
	8,5	20	175	-	2,0	203	3,6	160
	9,5	20	185	-	2,0	203	3,1	173
C	7,0	20	165	25,0	-	-	-	-
	8,5	20	175	26,0	-	-	-	-
	9,5	20	185	27,5	-	-	-	-

Onde: P = pulsado, C = convencional, Va = velocidade de alimentação de arame, Vs = velocidade de soldagem, Im = corrente média, U = tensão de soldagem, tp = tempo de pico, Ip = corrente de pico, tb = tempo de base e Ib = corrente de base.

Após a realização das soldagens, os resultados foram processados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA), utilizando um software estatístico comercial.

2.1. Características Econômicas do Cordão de Solda

Os valores da taxa de deposição (TD), taxa de fusão (TF) e rendimento (R) foram calculados pelas Equações. 1, 2 e 3. Segundo Silva Filho et al⁽⁷⁾, a taxa de deposição é definida como a massa do consumível incorporada ao metal de solda na unidade de tempo, já a taxa de fusão é a massa do consumível fundida na mesma unidade de tempo e o rendimento é a razão entre estas taxas, obtidas durante a operação de soldagem.

$$TD = 3,6 \frac{(M_f - M_i)}{t_s} \text{ (Kg/h)} \quad (1)$$

Onde:

Mf - Massa final da junta depois da soldagem (g);

Mi - Massa inicial da junta antes da soldagem (g).

ts- Tempo de soldagem (s).

$$TF = 3,6 \frac{\rho \ell}{t_s} \text{ (Kg/h)} \quad (2)$$

Onde:

ℓ - Comprimento consumido (m);

ρ - Densidade linear do arame (g/m).

$$R = \left(\frac{TD}{TF} \right) \times 100 \text{ (\%)} \quad (3)$$

TD – Taxa de Deposição (kg/h);

TF – Taxa de Fusão (kg/h).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 nos apresenta os valores de TD, TF e R conseguidos a partir das Eqs. 1, 2 e 3. Já na Tabela 3, mostra os resultados da análise de variância realizada sobre os valores apresentados na Tabela 2 para um grau de confiança α de 5%

Tabela 2. Resultados das características econômicas. Soldagem MIG P e MIG C. Consumível ER 309L

Processo	Va (m/mim)	Vs (cm/min)	Im (A)	Características econômicas		
				TD (Kg/h)	TF (Kg/h)	R (%)
Pulsado	7,0	20	165	3,73	3,77	98,90
				3,76	3,76	99,08
	8,5	20	175	4,51	4,56	98,95
				4,50	4,55	98,98
	9,5	20	185	5,07	5,14	98,82
				5,07	5,13	98,85
Convencional	7,0	20	165	4,57	4,63	98,79
				4,59	4,64	98,85
	8,5	20	175	5,06	5,13	98,67
				5,08	5,15	98,78
	9,5	20	185	5,11	5,18	98,61
				5,12	5,27	98,85

Através da Tabela 2, podemos notar a proximidade entre os valores de TD e TF em ambos os processos, resultando assim em rendimentos bastante elevados.

Estes resultados mostram que o rendimento de deposição teve uma variação entre 98,61 a 99,08%. Isto indica que houve uma grande eficiência na transferência metálica tanto no modo pulsado como no modo convencional, indicando alta estabilidade do arco voltaico. Esta condição é observada, inclusive, na região compreendida pela velocidade de alimentação de 7 m/min, considerada crítica, onde apresentou maiores variações. Verificou-se que, houve ausência de respingos durante a soldagem, alguns salpicos de eventual ocorrência foram incorporados ao metal de solda do cordão subsequente, podendo justificar os altos valores obtidos para o rendimento, independente das variáveis utilizadas.

Técnicas estatísticas foram utilizadas, tanto na comparação dos resultados obtidos variando corrente de soldagem, mantendo constante um processo de soldagem quanto mantendo um nível de corrente e variando o processo de soldagem, com o objetivo de quantificar o grau de influencia de cada variável adotada neste trabalho. O método aplicado se baseia em uma análise de variância (ANOVA) para testar a igualdade dos resultados (Triola⁽⁸⁾) e assim, avaliar de maneira mais consistente os efeitos dos fatores empregados sobre as respostas observadas. Neste trabalho considerou-se como critério de análise de influência da variável de resposta, quando o nível obtido for inferior a um grau de confiança α de 5%, ou seja, uma confiabilidade estatística de 95% dos estudos.

A Tabela 3 mostra os resultados do nível α para as respostas referente à taxa de deposição, de fusão e rendimento. Os números em negrito, nesta tabela, indicam que os valores médios das respostas foram estatisticamente afetados pelos fatores de controle conforme o critério adotado no parágrafo anterior. Pode-se ver por esta Tabela que a taxa de fusão assim como a taxa de deposição apresentaram valores de 0,01% e 0,11%, respectivamente, o que significa dizer que a variação da corrente de soldagem afetou significativamente tanto a TD quanto a TF, entretanto, a razão entre elas, que define o rendimento, não foi afetada estatisticamente pela variação da corrente de

soldagem (apresentando o valor de 66,55% o que, pelo critério adotado, está acima do fator de controle de 5%).

Tabela 3. Resultados da ANOVA – Características econômicas. Soldagem MIG Pulsado e MIG convencional. Grau de confiança α de 5%.

Influência da Corrente sobre as Características Econômicas				
Processo	Fator	TD	TF	R
MIG C	Corrente	0,01	0,11	66,55
MIG P	Corrente	0,00	0,00	23,58
Influência do Processo sobre as Características Econômicas				
Corrente (A)	Fator	TD	TF	R
165	Processo	0,05	0,01	21,50
175	Processo	0,04	0,04	5,21
185	Processo	1,21	18,52	47,68

Ao considerarmos o valor de corrente de soldagem constante, nota-se que a variação do tipo de processo de soldagem irá influenciar estaticamente na taxa de deposição de arame (TD) em todos os níveis de corrente de soldagem (165, 175 e 185 A), ou seja, é possível afirmar com 95% de confiança que variação do tipo de processo de soldagem é afetar a TD, independentemente do nível e/ou intensidade de corrente de soldagem empregada, enquanto para a taxa de fusão de arame (TF), o processo de soldagem não exercerá influência estatística somente no caso de maior nível de corrente de soldagem (185 A),

Apesar da taxa de deposição e da taxa de fusão (com exceção da condição em que se empregou corrente de soldagem de 185 A e se variou o processo) terem sido significativamente influenciadas pelas condições estudadas, a razão entre elas acabou se compensando em um rendimento que não sofreu influência em nenhuma condição de variação, ou seja, não sendo afetado estatisticamente por nenhum dos fatores analisados.

A Figura 2 ilustra o comportamento dos valores médios da TD e TF em função da corrente média e dos processos utilizados.

Analisando o gráfico da Figura 2A mostra os valores médios da taxa de deposição do arame em função da corrente média e dos processos utilizados. Esta Figura demonstra que no modo pulsado, a taxa de deposição cresce com o aumento da corrente, apresentando um comportamento praticamente linear. O modo convencional superou as expectativas com maiores valores de TD na corrente de 165 A. Para as correntes de 175 e 185 A, os valores de TD ficaram muito próximos do modo pulsado, porém sempre maiores. Entretanto, vale ressaltar que nível de correntes entre os intervalos de 165 a 175 A não é garantia absoluta para a obtenção de maiores taxas de deposição.

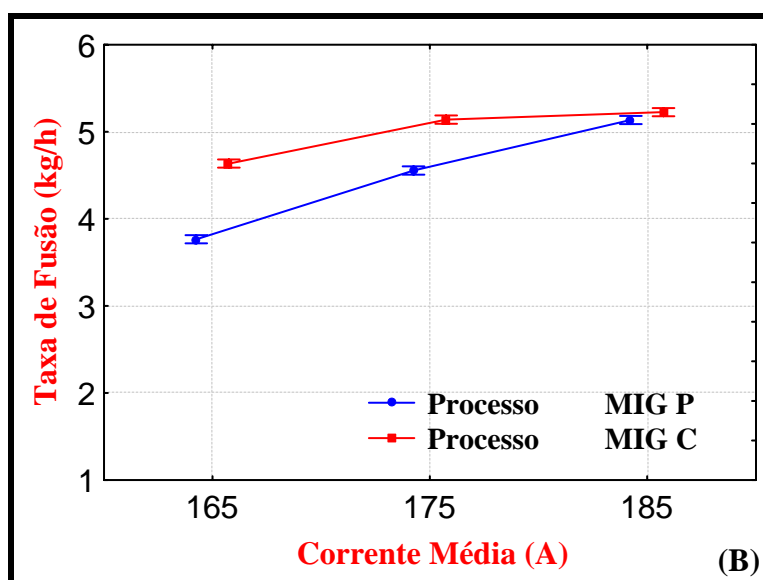
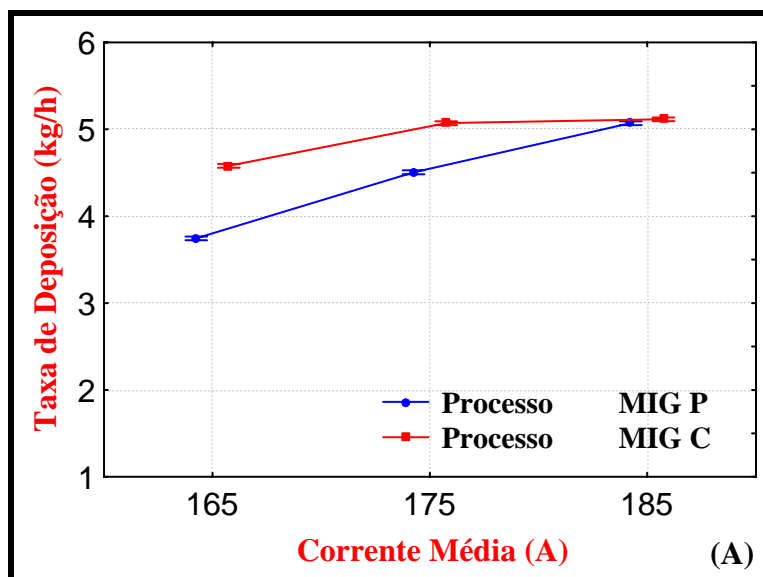


Figura 2. Efeito da corrente média nos processos MIG P e MIG C sobre a taxa de deposição (A) e fusão (B) de arame.

Vários autores tais como: Machado⁽¹⁾, Silva Filho⁽⁷⁾ e Quintana⁽²⁾, entre outros, afirmam que a taxa de fusão (TF) e a taxa de deposição (TD) aumentam com o aumento da corrente, tanto para o modo pulsado quanto o convencional, sendo explicado pelo incremento do calor gerado no arco voltaico devido ao aumento da corrente de conexão da extremidade do arame com o arco e do calor gerado pelo efeito “Joule”, em outras palavras, um aumento do aporte térmico.

Voltando nossa atenção à Figura 2B, é possível verificar o comportamento análogo da taxa de fusão em relação à taxa de deposição nos modos pulsado e convencional. Ao compararmos os modos convencional e pulsado nos mesmos níveis de corrente (165, 175 e 185 A) nota-se o mesmo comportamento anunciado na Figura 2A, onde demonstra valores superiores de taxa de fusão no modo convencional em relação ao pulsado, demonstrando, assim, ser a melhor condição de soldagem, também este processo MIG convencional mostra-se como uma condição estável, haja vista que a diferença tanto da taxa de fusão como da taxa de deposição não foi significativa para que influenciasse estatisticamente no rendimento do processo que implicaria em prejuízos à transferência metálica.

Os altos valores de TD e TF para a corrente de 165 A, no modo convencional, pode estar relacionado ao tipo de transferência metálica e às curvas características estáticas da fonte de potência do tipo tensão constante.

È bom frisar que para ambos os processos e nas mesmas condições de soldagem, o modo pulsado demonstrou ser inferior tanto na taxa de fusão como na taxa de deposição.

A Tabela 2 mostra que o rendimento variou de 98,61 a 98,90 % para as condições estabelecidas nesta experiência, já a Figura 3 ilustra o comportamento gráfico da variação do rendimento de deposição nas diversas condições de soldagem em MIG C e MIG P.

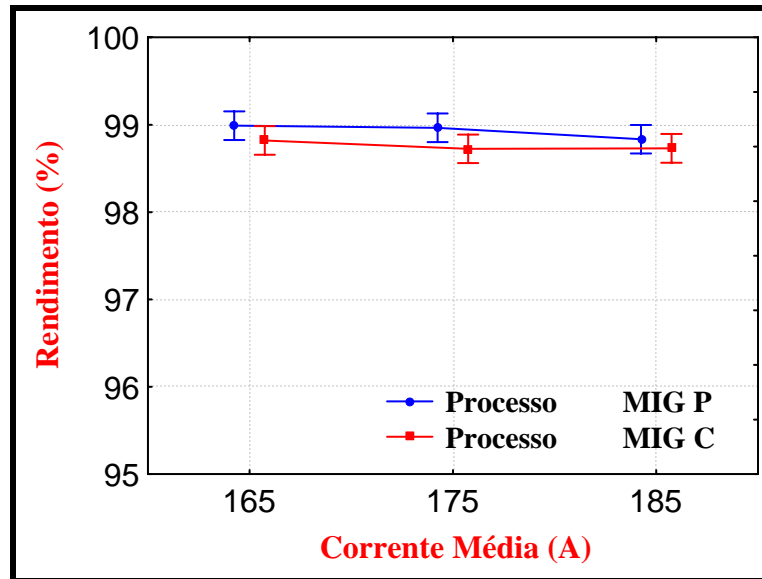


Figura 3 – Efeito da corrente média nos processos MIG P e MIG C sobre o rendimento de deposição de arame.

A Figura 3 evidencia uma equidade entre o pulsado e o convencional nos valores do rendimento de deposição para os diferentes níveis de corrente média. Analisando o gráfico, observamos que não existem diferenças significativas entre os dois processos e as suas respectivas correntes médias. Isto pode ser associado à transferência metálica, ao regime de estabilidade do arco sem geração de respingos ou salpicos que leva à ausência ou à minimização de perdas efetivas de massa de metal de adição fundido.

A Figura 4 ilustra a total ausência de salpicos adjacentes ao metal de solda depositado nas condições de 165, 175 e 185 A, respectivamente, no processo MIG P, justificando os valores elevados de rendimento de deposição na soldagem (Figura 3).

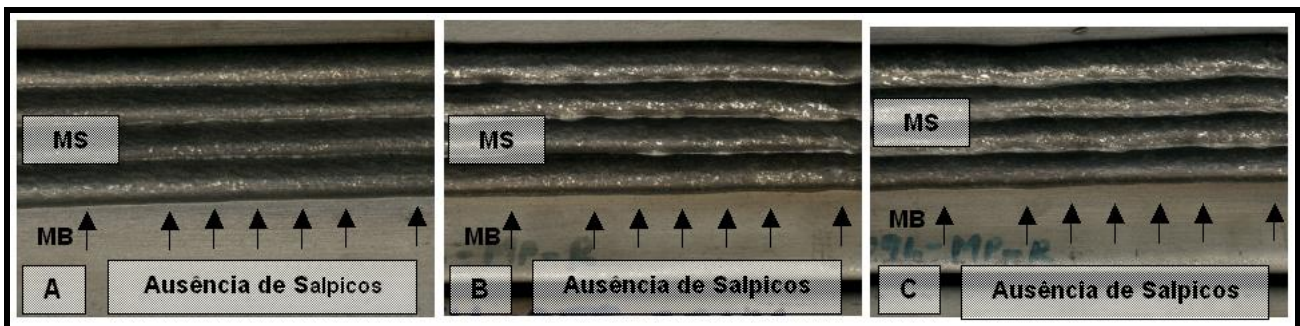


Figura 4 – Aspecto da soldagem MIG P, demonstrando ausência total de salpicos; (A) $I_m = 165$ A, (B) $I_m = 175$ A, (C) $I_m = 185$ A

A regularidade e facilidade nas transferências de carga elétrica e de metal relacionam-se com o comportamento operacional do arco, Almeida⁽⁶⁾.

A Figura 5 mostra detalhes das soldagens em 165, 175 e 185 A, respectivamente, no processo MIG C.

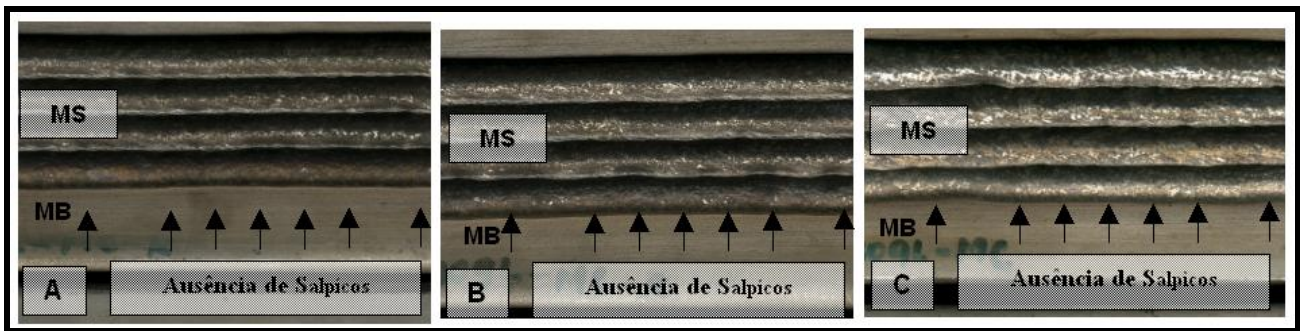


Figura 5 – Aspecto da soldagem MIG C, demonstrando ausência total de salpicos; (A) $V_a = 7$ m/min, (B) $V_a = 8,5$ m/min, (C) $V_a = 9,5$ m/min

Esta Figura demonstra, como a Figura 4, que não ocorreram respingos adjacentes aos cordões e o excelente aspecto superficial do metal de solda (MS), mais uma vez, comprovando os elevados rendimentos apresentados na Tabela 2.

Neste trabalho, os dados instantâneos de corrente e de tensão de soldagem foram armazenados em software e, em seguida, foram processados para a geração de oscilogramas representativos da variação do comportamento do arco voltaico, a Figura 6 ilustra um desses oscilogramas de corrente e tensão com o tempo, referente aos cordões representados nas Figuras 5B, percebe-se uma total ausência de curtos-circuitos.

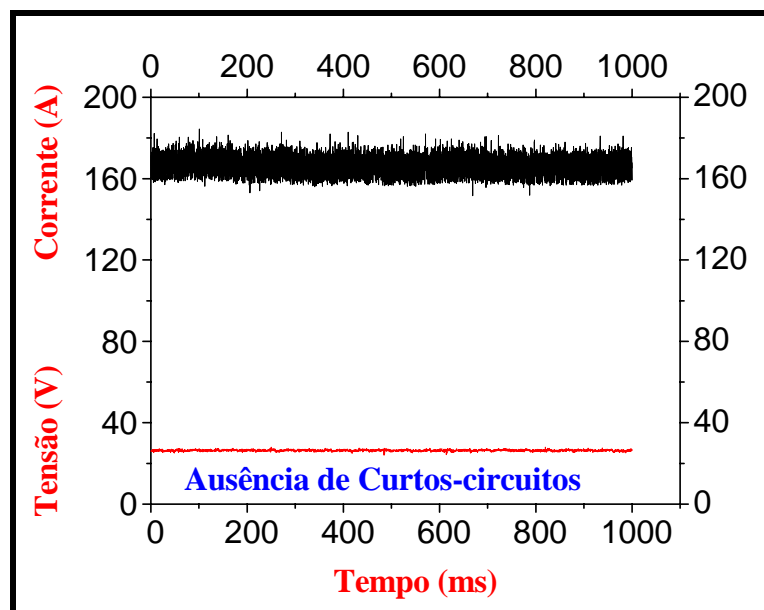


Figura 6 – Oscilograma de tensão e corrente, onde $I_m = 175$ A. Soldagem MIG C

As Figuras 5 e 6 comprovam que a soldagem no MIG C demonstrou excelente desempenho, justificando os elevados rendimentos alcançados, também, nesse modo.

4. CONCLUSÕES

- De maneira geral, no uso do modo convencional houve uma pequena melhoria nos valores de TD e TF, em relação ao uso da corrente pulsada;
- A TD e Tf foram afetadas significativamente pela corrente de soldagem em todas as condições;

- A TD foi afetada significativamente pelo tipo de processo de soldagem, enquanto na TF a variação do tipo de processo não influenciou significativamente apenas na condição em que se manteve a corrente de soldagem em 185A;
- O rendimento de deposição não foi estatisticamente afetado por nenhum dos fatores avaliados (processo de soldagem, corrente média e interação destes);
- Os valores de rendimento para os dois processos de soldagem foram elevados e estatisticamente equivalentes;
- O processo MIG C é uma opção mais viável em ser empregado, segundo o proposto neste trabalho, pois se levando o fator custo benefício em consideração, o processo MIG P poderia ser considerado mais oneroso.

5. AGRADECIMENTOS

Aos integrantes do GETSOLDA (Grupo de Estudos em Tecnologia da Soldagem) pela infraestrutura disponibilizada aos experimentos e ao CNPq pela concessão das bolsas de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

1. MACHADO, I. G., **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**, Livro, Porto Alegre, 1996.
2. QUINTANA, F. L. P. **Desempenho Metalúrgico de “Weld Overlay” Aplicado sobre “Clad” de Aço UNSS30400 pelo Processo MIG-CCEN Pulsado e Convencional**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2005.
3. CORRÊA, Celso Alves, BRAGA, Eduardo de Magalhães & TREVISAN, Roseana da Exaltação. Influência dos Parâmetros da Soldagem MIG Pulsado e Convencional nas Características Econômicas de Revestimento. **Soldagem e Inspeção, Suplemento Técnico**. Ano 6, Nº 4, Julho de 2000.
4. PEIXOTO, Arildomá Lobato. **Estudo da Microestrutura de Soldas AlMg – 5083 depositado pelo Processo MIG Pulsado**. Relatório Técnico Científico – Projeto: Soldagem MIG do Alumínio em Corrente Pulsada, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA, 2003.
5. PEIXOTO, Arildomá Lobato. Características econômicas de soldas depositadas pelo processo MIG pulsado e convencional. In: XIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPA, novembro, 2003. Belém, PA. **Anais...** Belém: Universidade Federal do Pará, 2003. p. 195.
6. ALMEIDA, Hélio Antônio Lameira de. **Uma Contribuição ao Estudo de Soldagem MIG de Chapas Finas de Al-Mg**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. Setembro de 2003.
7. SILVA FILHO, C. B. A., ALMEIDA, H. A. L., MOTA, C. A. M., BRAGA, E. M., “Estudo da Características Econômicas e Geométricas de Soldas Depositadas pelo Processo MIG Duplamente Pulsado em Alumínio Naval”. In: PROCEEDINGS OF THE 2TH BRAZILIAN CONGRESS OF FABRICATION ENGINEERING, 2, 2003, Minas Gerais. **Anais...** Minas Gerais Brazil: COBEF, 2003. p. 1-10.
8. TRIOLA, M. F., **Introdução à Estatística**, Livro, Rio de Janeiro, 1999.

ECONOMIC PERFORMANCE OF THE ELECTRODE NEGATIVE GMAW PROCESS APPLIED TO AUSTENITIC STAINLESS STEEL CLADDING

Arildomá Lobato Peixoto

Federal University of Para, Technological Center, Program of Pos-Graduation in Mechanical Engineering.

Correspondence: Street Quinze de Janeiro, number 291, Icoaraci, Belem, Para, Brazil – Brazilian ZIP Code 66811-110

e-mail arildoma@gmail.com

Fábio Luis Castro Marinho

Federal University of Para, Technological Center, Department of Mechanical Engineering.

e-mail:

Thiago da Silva Barrozo

Federal University of Para, Technological Center, Department of Mechanical Engineering.

email::

Carlos Alberto Mendes da Mota

Federal University of Para, Technological Center, Department of Mechanical Engineering and, Program of Pos-Graduation in Mechanical Engineering.

e-mail: cmota@ufpa.br

Eduardo de Magalhães Braga

Federal University of Para, Technological Center, Department of Mechanical Engineering and, Program of Pos-Graduation in Mechanical Engineering.

e-mail: edbraga@ufpa.br

Abstract: *This work aims to study the GMAW process applied to the weld overlay technique, using direct current with electrode on the negative pole. The economic performance of this process was evaluated for both conventional continuous and pulsed current. The claddings were carried out with a 1.2mm-diameter commercial wire of specification AWS ER309L, and a 98%Ar-2%O₂ shielding gas mixture at a flow rate of 15 L/min. As base metal, it was used stainless steel plates of specification AISI 304. The weld beads were deposited with superposition of about 30% of their average width, thus characterizing the cladding. The mean current was the variable parameter, and was experimented in three levels (165, 175, 185 A) for both processes. Voltage and current data were acquired and recorded for further analysis. The results showed that fusion and deposition rates were not significantly affected by the process, and deposition efficiency was found to be between 98.6 and 98.9%. These values are primordially attributed to the excellent arc stability and good operational performance of the process.*

Key words: *weld overlay, deposition efficiency, economic performance.*