

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE PULSAÇÃO E DA VELOCIDADE DE SOLDAGEM SOBRE AS CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DE SOLDAS DE REVESTIMENTO

Dineusa Jesus dos Santos

Universidade Federal do Pará, Campos Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa nº 01,
dina@ufpa.br

Frank Leslie Pérez Quintana

Universidade Federal do Pará, Campos Universitário do Guamá, Rua Augusto Corrêa nº 01,
lesliepq@ufpa.br

Resumo. *A soldagem de revestimento é uma importante aplicação para a manutenção tanto corretiva quanto preventiva de peças e equipamentos com a finalidade de aumentar suas resistências à corrosão e ao desgaste. Este trabalho analisa a viabilidade operacional e econômica da aplicação de soldas de revestimento de aço inoxidável do tipo E 316L sobre chapas de aço carbono 1020. A variável de influência foi a velocidade de soldagem e as variáveis de resposta foram o rendimento, a produção e o consumo. As soldas foram realizadas utilizando uma fonte de soldagem eletrônica multiprocessos ajustada para o processo de soldagem MIG pulsado, na posição horizontal, utilizando argônio como gás de proteção. Obtiveram-se significantes aumentos de rendimentos do processo quando da utilização de altos valores de energia de soldagem.*

Palavras-chave: *Soldagem de Revestimento, aço inoxidável, MIG Pulsado, velocidade de soldagem.*

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das indústrias biotecnológica, alimentícia e química, entre outras exige a utilização de materiais com características e propriedades específicas, tais como alta resistência à corrosão e à oxidação, aliadas a elevadas temperaturas (Gentil, 2003).

Dentro dos materiais à disposição no mercado, os aços inoxidáveis têm mostrado características bem próximas as citadas anteriormente.

Os aços inoxidáveis basicamente são compostos ligados ao ferro, cromo e/ou níquel, com pequenas quantidades de outros elementos como silício, manganês, molibdênio, nitrogênio, entre outros, sendo o cromo responsável pelas suas propriedades essenciais (Braga, 2002).

Segundo Mondenesi (2001) a soldagem de revestimento é uma aplicação que vem sendo estudada muito nos últimos anos, principalmente devido ao seu emprego freqüente em indústrias de geração de energia, em reatores nucleares, e em especial na indústria petroquímica, visando estabelecer a melhor relação custo-benefício desta aplicação.

Quatro fatores aumentam cada vez mais a tendência do uso do aço inoxidável. São eles: Boa aparência, resistência à corrosão, resistência à oxidação e resistência mecânica. A aparência brilhante atraente dos aços inoxidáveis, que se mantêm ao longo do tempo com simples limpeza, associada à resistência mecânica, torna esses materiais adequados aos usos na construção arquitetônica, na fabricação de móveis e objetos de uso doméstico e a outros semelhantes. A

resistência à corrosão dos aços inoxidáveis aos diversos meios químicos permite o seu emprego em recipientes, tubulações e componentes de equipamentos de processamento de produtos alimentares e farmacêuticos, de celulose e papel, de produtos de petróleo e de produtos químicos em geral. A resistência à oxidação, em temperaturas mais elevadas, torna possível o seu uso em componentes de fornos, câmaras de combustão, trocadores de calor e motores térmicos. A resistência mecânica relativamente elevada, tanto à temperatura ambiente como as baixas temperaturas, faz com que sejam, usados em componentes de máquinas e equipamentos nos quais se exige alta confiabilidade de desempenho como, por exemplo, partes de aeronaves e mísseis, vasos de pressão, e componentes estruturais menores como parafusos e hastes.

Este trabalho utilizou o processo de soldagem automático MIG pulsado devido a soldagem de revestimento ter a necessidade de se recobrir grandes superfícies, onde altas taxas de deposição são preferidas para se garantir uma alta produtividade.

Este trabalho analisou a viabilidade operacional e econômica da aplicação de soldas de revestimento de aço inoxidável do tipo E 316L sobre chapas de aço carbono 1020. Utilizou-se aço-carbono devido ao seu menor custo em relação aos aços inoxidáveis austeníticos, aliado a uma maior resistência mecânica. Para as soldas de revestimento foi usado aço inoxidável austenítico dado pela sua resistência à corrosão muito superior aos aços-carbono e necessária em aplicações em que um meio agressivo esteja em contato com alguma parte do equipamento. A variável de influência foi a velocidade de soldagem e as variáveis de resposta foram o rendimento, a produção e o consumo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Bancada de Soldagem e Acessórios

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma central de soldagem multiprocesso, com fonte eletrônica transistorizada modelo digitec 600; sistema de alimentação de arame modelo STA- 20 / digital; sistema de posicionamento automático modelo Tartílope IV; tocha de soldagem modelo “push” refrigerada a água e cabos com 3 m de comprimento; placa de aquisição e processamento de dados modelo Interdata, sistema de aferição e aquisição portátil modelo SAP1, equipado com sistema de instrumentação de medição e aferição, em tempo real, dos valores da corrente, da tensão, da velocidade de alimentação de arame e da vazão de gás de proteção; MVA-2 sistema de medição e monitoração da produtividade em operações de soldagem; microcomputador modelo Pentium 133 MHz; Programas Computacionais: Oscilos SAP, utilizado na aquisição de dados durante a realização das soldagens, Origin 6.0, utilizado na geração de gráficos para a análise de resultados. Statistica, utilizado no tratamento estatístico dos resultados e Autocad 2000, utilizado nas medições da geometria das soldas depositadas.

2.2. Levantamento dos Parâmetros de Pulsação

A determinação de um pacote operacional otimizado para soldagem com corrente pulsada consiste na realização de cálculos de parâmetros a partir de resultados experimentais e de equações disponíveis na literatura seguindo uma ordem seqüencial que se encontra descrita nos tópicos seguintes. Estas equações fornecem como resultado os parâmetros de destacamento.

a - Métodos Utilizados para Determinar a Corrente de Transição

Para determinar o valor da corrente de transição, inicialmente com a fonte de soldagem ajustada no modo tensão constante, devem ser selecionados arbitrariamente alguns valores de velocidade de alimentação de arame. Para o presente trabalho os valores selecionados foram 5, 7 e 9 m/min.

A execução de cada experimento será definida a partir de um valor mínimo da tensão de soldagem, nas condições estabelecidas, capaz de garantir a transferência da gota metálica no modo curto-circuito. A seguir, o valor da tensão passa a ser aumentado progressivamente até atingir um valor que define claramente a passagem para um novo modo de transferência da gota metálica, ou

seja, o modo em “spray”. Os aumentos progressivos da tensão de soldagem implicam também, neste caso, em aumentos do comprimento do arco, haja vista que no modo tensão constante, a manutenção da velocidade de alimentação do arame no valor inicialmente ajustado combinada com a elevação do valor da tensão de soldagem acarreta a elevação da taxa de fusão do arame.

A caracterização da transição do modo de transferência curto-circuito para globular e deste para o spray será estabelecida por dois critérios. O primeiro critério será a partir de minuciosas observações sobre a evolução do comportamento dinâmico do arco e, o segundo, com o auxílio de “software” de aquisição e processamento de dados que fornece os oscilogramas dos valores instantâneos da tensão e da corrente de soldagem.

A metodologia experimental estabelecia que no instante em que o modo de transferência metálica era alterado de globular para spray, interrompia-se o acréscimo da tensão de soldagem, pois para este ponto estava caracterizado o valor da corrente de transição. Neste ponto, os gráficos gerados pelo programa Oscilos 4 devem ser gravados, para posterior análise.

Para cada valor estabelecido na velocidade de alimentação de arame obtém-se a corrente de transição correspondente. Adotaram-se os valores médios da corrente de transição, I_m , obtidos de uma série de experimentos na mesma velocidade. Estes valores médios serão então correlacionados graficamente com as velocidades de alimentação de arame correspondentes, fornecendo uma relação linear que possibilitará a determinação do fator de fusão m (Burnoff factor), utilizado no critério de fusão desenvolvido por Amim et al (1983). A Equação (1) representa a equação da reta que relaciona a corrente média com a velocidade de alimentação do arame.

$$I_m = mV_a + K \quad (1)$$

Onde: I_m é a corrente média (A);

V_a é a velocidade de alimentação do arame (m/min);

m é o fator de fusão (A/m/min), ou seja, o coeficiente angular da reta;

K é o intercepto, (A), que apresenta o valor zero para as características que passam pela origem.

b - Métodos Utilizados para Determinação do Tempo Modal

A metodologia experimental adotada para aquisição dos dados instantâneos da tensão e da corrente de soldagem, através do programa Oscilos 4, possibilitará a verificação do intervalo de tempo entre sucessivos destacamentos, os quais são representados pelos picos de tensão. Embora o tempo entre um destacamento e outro varie, o intervalo de destacamento médio é aproximadamente constante e pode ser estimado pelo tempo de destacamento modal (T_m) o qual possui a maior frequência de distribuição (Rajasekaran et al, 1998 e Nixon et al, 1988).

O programa Oscilos 4 é uma ferramenta também auxiliar para a confirmação da maior incidência de intervalos de tempo entre destacamentos consecutivos da gota metálica.

c - Métodos Utilizados para Determinar o Volume Modal.

O volume modal representa o volume assumido pela gota destacada. Quando este é relacionado com vários valores da corrente média, que varia com a velocidade de alimentação do arame se pode observar graficamente a mudança do comportamento da transferência metálica, em regime globular para o spray, caracterizada pela alteração da inclinação da curva.

O volume modal deve ser calculado para cada valor de velocidade de alimentação de arame estipulado inicialmente, onde este cálculo deve ser realizado a partir dos valores do tempo modal obtidos nos histogramas de tempo modal e utilizando-se a Eq. (2).

$$v = \frac{\pi \times d^2 \times V_a \times T_m}{240} \quad (2)$$

Onde: v = volume modal [mm^3];

T_m = tempo modal [ms];

d = diâmetro do arame-eletrodo [mm];

V_a = velocidade de alimentação do arame [m/min];

d - Métodos para Determinar o Parâmetro de Destacamento

De posse dos valores do tempo modal (T_m) e do volume modal (v), assim como, da corrente média (I_m) deve-se traçar gráficos $I_m \times v$ e $T_m \times v$. O diâmetro do arame é então estabelecido como referência para o volume inicial da gota, no entanto, no presente trabalho adotou-se o diâmetro da gota 20% inferior ao diâmetro do arame, ou seja, 0,96 mm que fornece o volume de $0,463 \text{ mm}^3$, em seguida determina-se os valores de corrente e do tempo. Os valores encontrados nos gráficos serão utilizados na Eq. (3) para determinarmos o parâmetro de destacamento.

$$t_p I_p^{2,3} = D \quad (3)$$

Onde: t_p é Tempo de pulso;
 I_p é a corrente de pulso;
 D é o parâmetro de destacamento.

e - Métodos para Determinar os Parâmetros de Pulsção

Os referidos parâmetros de pulsção são: a corrente e tempo de duração no pulso, corrente e tempo de duração na base.

A partir do parâmetro de destacamento D , mostrado acima, deve-se estabelecer arbitrariamente um valor para o tempo de pulso e se obtém o valor para a corrente de pulso, considerando uma determinada velocidade do arame.

Os valores do período de destacamento devem ser calculados para cada velocidade de alimentação de arame, através da Eq. (4).

$$T = \frac{240 \times v_g}{\pi \times d^2 \times V_a} \quad (4)$$

Onde: T é o período de destacamento (ms);
 v_g é o volume da gota (mm^3).

Conhecidos o período de destacamento (T) e o tempo de pico (t_p), torna-se possível determinar o valor para o tempo de base através da Equação (5).

$$T = t_p + t_b \quad (5)$$

Para determinarmos o valor de corrente de base será utilizada a equação da corrente média que é dada pela Eq. (6)

$$I_b = \frac{I_m \times (I_b + I_p) - I_p \times t_p}{t_b} \quad (6)$$

Neste trabalho, utilizou-se o processo de soldagem MIG Pulsado automático, soldando com três velocidades de soldagem, a saber: 20 cm/min, 35 cm/min e 50 cm/min. As soldagens realizaram-se na posição plana com a tocha levemente inclinada de vinte graus em relação à peça obra, caracterizando-se como puxando em direção ao sentido de soldagem. A distância bocal-peça foi de 15,0 mm. Com base no método descrito acima, seguinte pacote operacional de pulsção foi utilizado:

Tabela 1. Pacotes Operacionais

PACOTE I Im = 165 A V alimentação= 5 m/min	Ip	350 A
	Ib	60 A
	Tp	2,0 ms
	Tb	3,5 ms
PACOTE II Im = 176 A V alimentação= 7 m/min	Ip	400 A
	Ib	50 A
	Tp	1,8 ms
	Tb	3,2 ms
PACOTE III Im = 240 A V alimentação= 9 m/min	Ip	440 A
	Ib	140 A
	Tp	1,4 ms
	Tb	2,8 ms

2.3. Corpos de Prova

As soldas foram feitas em 9 corpos de prova de aço-carbono ABNT 1020, de dimensões 100 mm de largura, 200 mm de comprimento e 6 mm de espessura, sendo depositados 4 passes de soldagem em cada corpo de prova (com sobreposição de cerca de 30% entre eles).

Os corpos de provas 1, 2 e 3 foram soldados com os parâmetros de pulsação do pacote operacional I. Os corpos de provas 4, 5 e 6 utilizaram os dados do pacote operacional II para serem soldados. Já os corpos de prova 7, 8 e 9 foram soldados segundo o pacote operacional III. A Figura (1) mostra os corpos de prova com as soldas de revestimento.

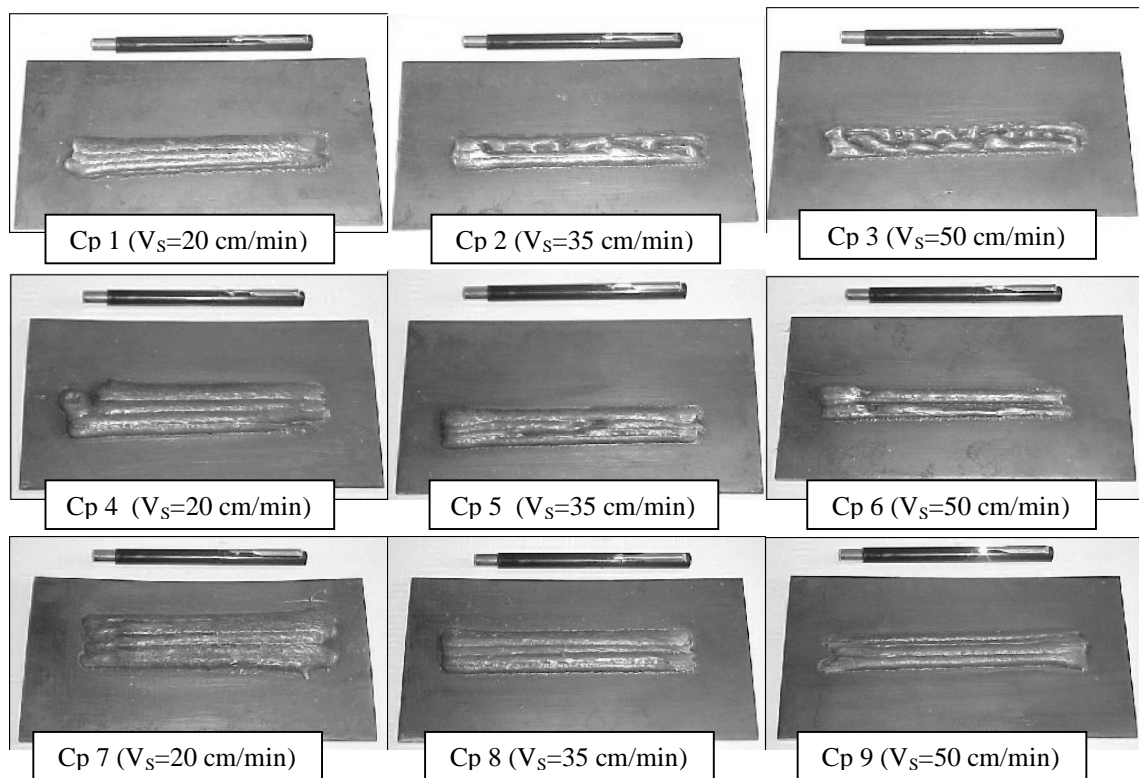


Figura 1. Corpos de prova.

2.4. Consumíveis

O arame utilizado foi o aço inoxidável com 1,2 mm de diâmetro do tipo AWS ER-316L, que apresenta 0,03 % de C, 1,00 % de Si, 2,00 % de Mn, 0,045% de P, 0,03% de S, 16,00-18,00% de Cr, 10,00-14,00% de Ni e 2,00-3,00% de Mo.

O gás de proteção foi o argônio puro, com vazão de 20 l/ min.

2.5.Características Econômicas

Neste trabalho, a avaliação das soldas de revestimento em relação a suas características econômicas foi definida pela taxa de deposição, taxa de fusão e o rendimento de deposição. A taxa de deposição é a massa do metal de adição depositado por unidade de tempo, numa dada intensidade de corrente, com fator de operação igual a 100%. A taxa de fusão é determinada pela massa de metal fundida por unidade de tempo. Já o rendimento de deposição é a razão entre a massa de metal de solda depositado e a massa consumida do consumível, ou seja, razão entre a taxa de fusão e a taxa de deposição. Essas características econômicas foram calculadas através das equações:

$$TF = 3,6 \frac{\rho \ell}{t_s} \quad (7)$$

Onde:

TF - Taxa de fusão (kg/h)

ℓ - Diâmetro do arame (mm);

ρ - Massa específica do arame (g/cm³);

t_s - Tempo de soldagem (s);

$$TD = 3,6 \frac{(M_f - M_i)}{t_s} \quad (8)$$

Onde:

TD – Taxa de deposição (kg/h)

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

M_i - Massa inicial da junta antes da soldagem (g);

$$R = \left(\frac{TD}{TF} \right) \times 100 \quad (9)$$

Onde:

R – Rendimento de deposição (%)

TD - taxa de deposição (kg/h);

TF - Taxa de fusão (kg/h);

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela (2) abaixo mostra os valores das variáveis econômicas, levando em consideração as velocidades de soldagem utilizadas em cada pacote operacional.

Tabela 2. Características econômicas.

Vs (cm/min)	CP	TF (kg/h)	TD (kg/h)	Rendimento (%)
20	1 (pacote I)	0,226	0,216	95,47
	4 (pacote II)	0,336	0,324	96,32
	7 (pacote III)	0,357	0,354	98,98
35	2 (pacote I)	0,221	0,210	95,32
	5 (pacote II)	0,299	0,285	95,28
	8 (pacote III)	0,403	0,396	98,25
50	3 (pacote I)	0,220	0,209	95,05
	6 (pacote II)	0,313	0,279	89,19
	9 (pacote III)	0,418	0,409	97,84

Podemos notar, através da Fig. (2) que a taxa de fusão aumentou com a mudança dos parâmetros de pulsação (considerando do pacote I até o III). O aumento da velocidade, no pacote I, não teve grande efeito sobre a taxa de fusão. Já no pacote II, o aumento da velocidade de soldagem representou em diminuição da taxa de fusão. No pacote não encontramos um comportamento linear.

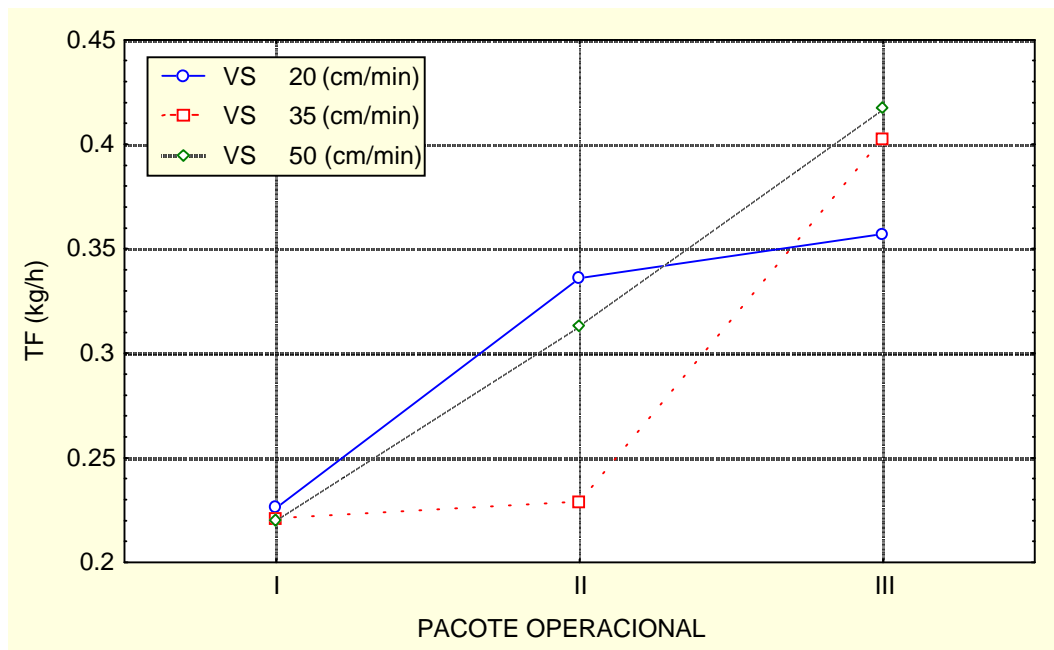


Figura 2. Taxa de Fusão versus Pacotes Operacionais

A Figura (3) mostra o comportamento da taxa de deposição de acordo os pacotes operacionais de pulsação, levando em consideração a velocidade de soldagem. O comportamento da taxa de deposição em todos os pacotes, nas velocidades de 35 e 50 cm/min foi praticamente o mesmo. A diferença entre as curvas pode ser devido a instabilidades durante a operação de soldagem.

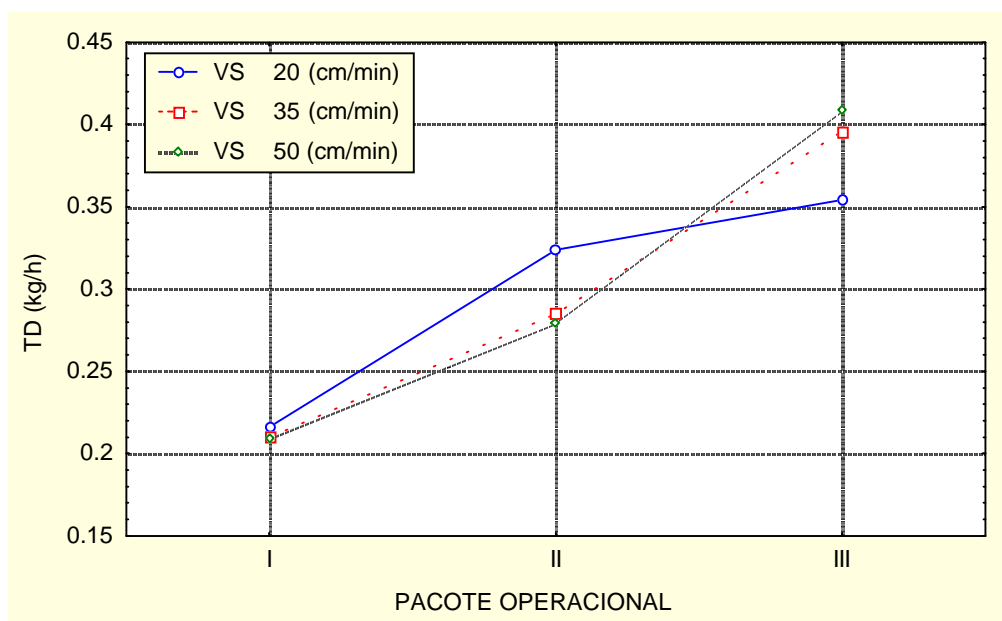


Figura 3. Taxa de Deposição versus Pacotes Operacionais

De acordo com Fig. (4), nota-se que em todos os pacotes operacionais o rendimento decresceu com o aumento da velocidade de soldagem, pois quando se aumentou a velocidade de soldagem os níveis de instabilidade também aumentaram, devido um incremento da intensidade de salpicos, fazendo com que o rendimento diminuísse.

Nos pacotes I e II, houve bastante instabilidade com extinção do arco voltaico a partir do segundo cordão depositado e no maior valor de velocidade de soldagem, principalmente no pacote I. Essa extinção poderia ser dada por forças eletromagnéticas provocadas pelo reforço do cordão de solda

anterior ou pelo fato de que o gás de proteção utilizado (Ar) não fosse o mais indicado para esse consumível.

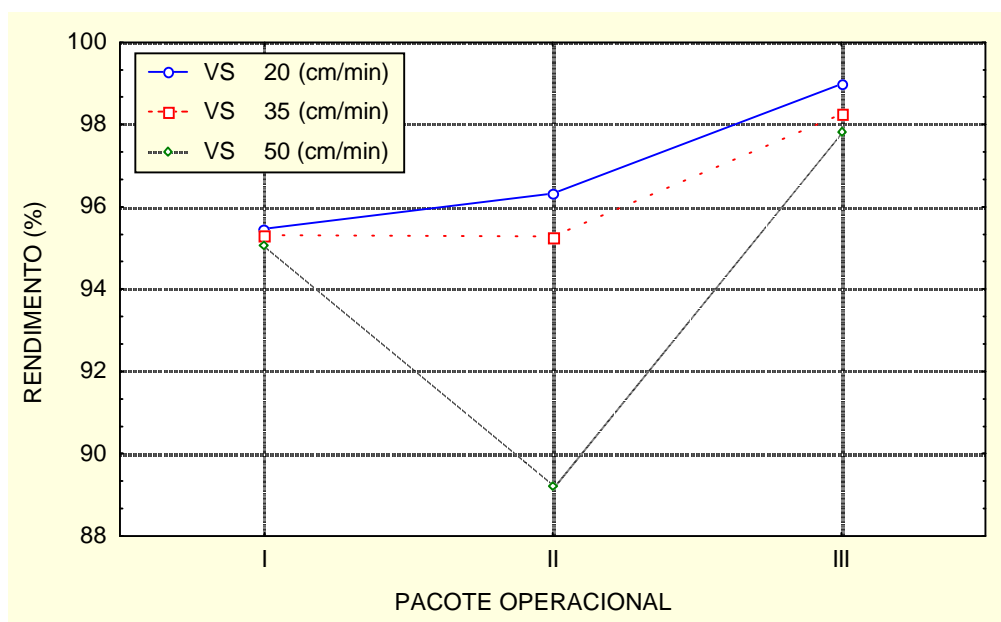


Figura 4. Rendimento versus Pacotes Operacionais

4. CONCLUSÃO

Podemos concluir que é economicamente viável realizar soldas de aço inoxidável 306L em chapas de aço carbono, quando consideramos soldas realizadas segundo os parâmetros do pacote operacional III, as quais tiveram rendimentos de deposição bastante altos, evidenciados pela boa estabilidade durante as soldagens e pelo bom aspecto superficial das soldas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao FINEP e a CAPES pelo auxílio financeiro recebido.

6. REFERÊNCIAS

- American Society for Metals, 1983, Metals Handbook: "Weld Overlays", v 6, 9ª Ed., Metal Park, Ohio, ASM, pp. 526-534.
- AMIM, M; "Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding"; Metal construction; May, 1983.
- Corrêa, C.A., 1998, "Aço inoxidável martensítico aplicado em revestimento pelo processo Mig pulsado e convencional", Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 91p., Dissertação de Mestrado.
- Braga, E. M., 2002, "Efeito do Nitrogênio nas Trincas de Solidificação em Soldas de Aços Austenítico". Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Tese de Doutorado.
- Brantis, F.C.A., Trevisan, R.E., 1993, "Efeito dos parâmetros do processo de soldagem nas propriedades do revestimento", ENTS, 1993, Águas de São Pedro-SP, Anais Associação Brasileira de Soldagem, pp. 245-263.
- Gentil, Vicente. "Corrosão". 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- Mondenesi, P. J., 2001 "Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis". Coleção Tecnologia da Soldagem-Senai. Osasco.

Nascimento, A. S.; Dias, A. C. D.; Filho, B. B. M.; Mota, C. A. M.; 2003 “Procedimento Experimental para Seleção de Parâmetros de Pulso para Soldagem com Arame Tubular em Corrente Pulsada”; 2º COBEF.

Quites, A; Dutra, J. C., 1979, “Tecnologia de Soldagem a Arco Voltaico”. Florianópolis, EDEME.

Quites, A., 2002, “Introdução à Soldagem a Arco Voltaico”. Florianópolis: Soldasoft.

WELDING VELOCITY AND PULSE PARAMETERS ANALISES ABOVE WELD OVERLAY ECONOMIC CHARACTERISTICS

Dineusa Jesus dos Santos

Universidade Federal do Pará, dina@ufpa.br

Frank Leslie Pérez Quintana

Universidade Federal do Pará, lesliepq@ufpa.br

Abstract. *The welding overlay its a important application to the corrective and preventive maintence of pieces and equipments, intending to increase the corrosion and erosion resistance. This paper study the operational and economic viability of welding overlay of plates AISI-SAE 1020 with E 316 L wire. The influence variable was the welding velocity, and the answer variables were efficiency, production and consumption. The welds were carried out using, a multiprocess welding electronic power source adjusted to the pulsed GMAW process, 1G position, argon protection. We have a process efficiency increase when were using high values of welding energy.*

Keywords: *Welding overlay, stainless steel, pulsed GMAW, welding velocity*