

ESTUDO DA PENETRAÇÃO DO CORDÃO DE SOLDA POR FEIXE DE ELÉTRONS COM INSUMO DE CALOR CONSTANTE

Carlos Henrique Quagliato Galrão

Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo

Rov. Sorocaba-Iperó Km 12,5 CEP 18560-000 Iperó, SP, Brasil

e-mail: quagliato@horusnet.com.br

Roseana da Exaltação Trevisan

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica

Cx.P. 6122 - 13083-970 - Campinas, SP, Brasil

e-mail: roseana@fem.unicamp.br

Resumo. A soldagem por feixe de elétrons é uma técnica de soldagem especial. A qualidade da solda, obtida por esta técnica, está muito acima das técnicas convencionais de soldagem, principalmente nos processos que exigem uma penetração de solda muito profunda. Os parâmetros da Soldagem por Feixe de Elétrons são relativamente semelhantes aos parâmetros dos outros processos. Estes parâmetros são dependentes das propriedades físicas e da composição química do material, da espessura da peça a ser soldada e da distribuição de energia no feixe de elétrons. Neste trabalho é avaliada a alteração na penetração do cordão de solda, através de variações de tensão e de corrente do feixe, com velocidade constante, porém, mantendo-se o insumo de calor constante (VxI/v). Discutem-se as causas desta alteração, pelo estudo da influência do diâmetro do feixe de elétrons no processo de soldagem, concluindo-se que é de fundamental importância o conhecimento do comportamento deste diâmetro, sob diversos níveis de tensão e de corrente de feixe. Conclui-se também que a penetração é definida por parâmetros indiretos do equipamento utilizado, designados como: Densidade de Potência e Densidade de Energia.

Palavras Chave: Soldagem, Feixe de Elétrons, Parâmetros, Penetração, Aço Inoxidável

1. INTRODUÇÃO

A solda por feixe de elétrons (electron beam welding) é um processo de fusão com alta densidade energética que é conseguido pelo bombardeamento da junta a ser soldada com um intenso feixe (fortemente focado) de elétrons que foram acelerados a velocidades entre 0,3 a 0,7 vezes a velocidade da luz entre voltagem de 25 a 200 KV. A Figura 1 mostra esquematicamente um canhão de elétrons. A conversão da energia cinética destes elétrons em energia térmica é instantânea quando eles atingem e penetram na peça a ser soldada, produzindo a superfície fundida desejada.

Devido ao fato de que toda energia cinética dos elétrons pode ser concentrada em uma pequena área da peça, densidades de potência da ordem de 10^5 W/mm², (em soldas convencionais, cerca de 10^2 W/mm²) podem ser alcançadas. Este valor é maior que o possível com qualquer outro feixe contínuo, incluindo o feixe de laser. A alta densidade de potência mais a penetração intrínseca muito pequena dos elétrons em uma peça sólida, resulta em uma fusão e vaporização local quase que instantânea do material. Esta característica distingue a solda por feixe de elétrons dos outros métodos de soldagem, nos quais a taxa de fusão é limitada pela condução térmica.

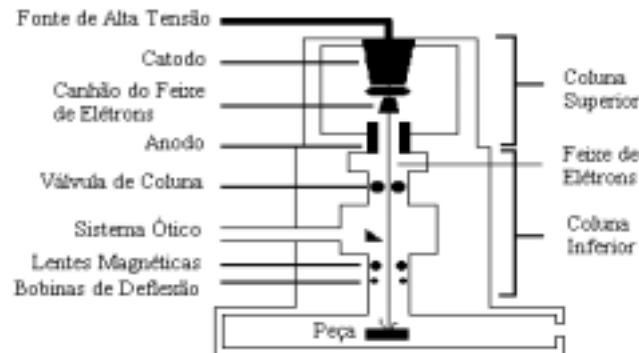


Figura 1- Esquema de uma máquina de solda por feixe de elétrons.

1.1 Parâmetros de Soldagem

Para se usar uma máquina de solda por feixe de elétrons, é necessário que certos parâmetros sejam ajustados para se obter a melhor performance da soldagem. Os parâmetros mais importantes a serem considerados são:

Voltagem de aceleração. É a voltagem entre o cátodo e o ânodo. É a responsável pela velocidade dos elétrons e determina o quanto os elétrons podem penetrar dentro da peça e o formato do cordão de solda. A voltagem de aceleração normal deste tipo de equipamento está entre 60 e 150 KV.

Corrente do feixe de elétrons. Realiza o aquecimento do filamento, e é responsável pela produção dos elétrons. A voltagem de aceleração e a corrente do feixe determinam a performance do feixe.

Velocidade de soldagem. É controlada pelo sistema de movimentação da peça sob o feixe de elétrons. A velocidade influencia o processo de resfriamento da peça, podendo produzir um cordão muito estreito e reduzir os efeitos da condutividade térmica.

Foco do feixe. Feito pelo ajuste de lentes focais eletromagnéticas. Pode ser colocado tanto na superfície da peça, como acima ou abaixo da mesma. Permite alta performance.

Oscilação (Deflexão). Permite oscilar o feixe em várias frequências, funções (circular, oval, etc.) e amplitudes. Influencia a forma e aumenta o canal de vapor do cordão. Uma oscilação correta pode evitar a formação de bolhas.

1.2 Penetração do Cordão

Uma das principais características da solda por feixe de elétrons é que, no processo para se alcançar uma solda com uma penetração e largura do cordão desejados, são necessárias

várias tentativas até se chegar ao ponto desejado. Como o equipamento de solda por feixe de elétrons é um equipamento com um custo de aquisição alto, o processo chamado de “levantamento de parâmetros de soldagem” por tentativas torna-se também dispendioso. Com a finalidade de diminuir o número de tentativas e, conseqüentemente baratear o custo deste processo, diversos pesquisadores vem tentando ao longo do tempo desenvolver modelos matemáticos que representem com grande grau de precisão, o comportamento de uma solda por feixe de elétrons.

Um dos primeiros trabalhos encontrado foi o de HASHIMOTO & MATSUDA (1967). Esses autores consideraram em seu modelo que a região da poça fundida apresentava a forma de um cone, e levando-se em conta as propriedades do material e os parâmetros da máquina, propuseram a seguinte equação para prever a penetração do cordão:

$$\frac{VI}{v} = 2,1D\phi \left(C\rho T_m + H \right) \left(1 + 5k \left(\frac{1}{\phi} + \frac{v}{2\alpha} \right) \frac{T_m}{C\rho T_m + H} \frac{1}{v} \right) \quad (1)$$

Onde:

C = Calor Específico (Cal/g °C)

ρ = Densidade (g/cm³)

T_m = Temperatura média de fusão (°C)

H = Calor latente de fusão (Cal/cm³)

K = Condutividade térmica (Cal/cm °C s)

α = Difusividade térmica (mm²/s)

V = Tensão (Volts)

I = Corrente (A)

v = Velocidade de soldagem (mm/s)

ϕ = Diâmetro do feixe (mm).

D = Penetração (mm).

Ainda com o intuito de se prever a penetração da solda, LUBIN (1968) propos outras equações levando em conta dois fatores. O primeiro é que o volume de material soldado tem a forma cilíndrica, e o segundo é que existem duas formas de soldagem, a saber: soldagem onde ocorre apenas a fusão (Eq. 2a) e soldagem onde além da fusão, também ocorre a sublimação do material (Eq. 2b). O autor fez esta consideração por achar que para se obter uma penetração muito grande, a única forma de explicá-la, seria considerar que ocorreu sublimação de parte do material.

$$\frac{4kDT_s}{IV} \left(\frac{H_{sg}}{CT_s} \right) \left(\frac{v\phi}{4\alpha} \right) = 1,0 \quad (2 a)$$

$$\frac{4kDT_s}{IV} \left(\frac{H_{sg}}{CT_s} \right) \left(\frac{v\phi}{4\alpha} \right) \left[1 + \frac{\pi/2}{H_{sg}/CT_s} \frac{4\alpha/v\phi}{\ln(8\alpha/v\phi)} \right] = 1,0 \quad (2 b)$$

Onde:

C = Calor Específico

T_s = Temperatura de sublimação

H_{sg} = Calor latente de sublimação

k = Condutividade térmica

α = Difusividade térmica

V = Tensão

I = Corrente

v = Velocidade da solda

ϕ = Diâmetro do feixe

D = Penetração

O autor menciona ainda que a Eq. (2a) deve ser usada quando o parâmetro ($v\phi/4\alpha$) for maior que 1,0 (regime rápido), e que a Eq. 2b deve ser usada quando o parâmetro ($v\phi/4\alpha$) for menor que 0,05. No entanto, o autor não informa qual equação deve ser utilizada quando o mesmo parâmetro possuir um valor intermediário.

Considerando também que ocorre a evaporação do metal, e que o volume do material evaporado tem a forma cilíndrica, TONG & GIEDT (1971) fizeram uma análise considerando outros aspectos do processo, incluindo a pressão de vapor, a tensão superficial e a força hidrostática que atuam neste volume durante o processo de soldagem. Como resultado desta análise, apresentaram a Eq. (3). Segundo esses autores os valores obtidos com este modelo estariam de acordo com dados experimentais dentro de $\pm 20\%$.

$$D = \frac{1}{2,1} \frac{VI}{v\phi} \left[\frac{1}{\rho C T_m + \rho H} \right] \left[\frac{1}{1 + 2,5 \frac{k}{\alpha} + 5 \frac{k}{v\phi}} \right] \quad (3)$$

Onde:

C = Calor Específico

V = Tensão

ρ = Densidade

I = Corrente

T_m = Temperatura média de fusão

v = Velocidade da solda

H = Calor latente de fusão

ϕ = Diâmetro do feixe

k = Condutividade térmica

D = Penetração

α = Difusividade térmica

Um dos trabalhos mais completos referentes a previsão da penetração de uma solda por feixe de elétrons foi feito por ELMER et al. (1990). Para que se possa representar qualquer material e prever qualquer penetração da solda, esses autores propuseram o equacionamento relativo a três fontes diferentes de introdução de calor na peça: fonte de calor distribuída (Eq. 4a), fonte de calor pontual (Eq. 4b) e fonte de calor linear (Eq. 4c). O parâmetro que norteia a escolha de qual tipo de fonte de calor deve ser usada é o da Densidade Média de Energia ($E_0 = VI/\phi v$). Para tanto, foi definido um valor de Densidade Média de Energia Crítica (E_0^*) para o aço inox SAE 304 como sendo 10 J/mm^2 , e de 6 J/mm^2 para a liga de alumínio AA 2024. Este valor de Densidade Média de Energia Crítica (E_0^*) representa a região de transição de um tipo de distribuição de calor para outra. Assim, para valores de Densidade de Energia menores que o valor crítico (E_0^*), as soldas podem ser tratadas como geradas por uma fonte de calor distribuída. Nessas condições o cordão de solda apresenta uma relação $D/(W/2) < 1$ (penetração dividida pela metade da largura do cordão), onde a penetração depende principalmente de E_0 , ou seja, soldas realizadas com esta Densidade Média de Energia comportam-se como soldas realizadas por outros processos. Para Densidades Médias de Energia acima do valor crítico (E_0^*), as soldas podem ser tratadas como 1) alta densidade de potência do feixe, onde a relação $D/(W/2) > 1$, ou 2) fonte de calor pontual, onde a relação $D/(W/2) \cong 1$. No regime de alta densidade de potência a profundidade de penetração depende de E_0 e de P_0 [$P_0 = (IxV)/(\pi\phi^2/4)$].

$$D = \left(\frac{1}{2,43} \right) \left(\frac{1}{\rho C (T_m - T_o) + H} \right) \left(\frac{IV}{\phi v} \right) \quad (4 a)$$

$$D = \left(\frac{1}{C1} \left(\frac{IV/\phi v}{\rho C(T_m - T_o) + H} \right) \right)^m \quad (4 b)$$

$$D = \left(\frac{1}{5,3} \left(\frac{\alpha^{0,625}}{k(T_m - T_o)} \right) \left(\frac{IV}{(v\phi)^{0,625}} \right) \right) \quad (4 c)$$

Onde:

C = Calor Específico (J/g K)

ρ = Densidade (g/mm³)

T_m = Temperatura média de fusão (K)

T_o = Temp. da peça antes da soldagem (K)

H = Calor latente de fusão (J/mm³)

K = Condutividade térmica (W/mm K)

α = Difusividade térmica (mm²/s)

V = Tensão (Volts)

I = Corrente (A)

v = Velocidade da solda (mm/s)

ϕ = Diâmetro do feixe (mm).

D = Penetração (mm).

W = Largura do cordão de solda (mm).

$C1$, m , $5,3$ e $0,625$ foram retirados através de ajuste de curva dos gráficos experimentais obtidos pelos autores.

2. OBJETIVOS

Pela análise do item anterior, observa-se que os autores procuraram obter equações que apresentassem uma relação entre penetração do cordão de solda, propriedades físicas do material utilizado e parâmetros de ajuste de uma máquina de solda por feixe de elétrons, visando obter uma previsão bastante precisa do comportamento deste tipo de solda. Baseado na literatura apresentada, este trabalho tem o objetivo de verificar o comportamento da penetração do cordão de solda realizado por uma máquina de solda por feixe de elétrons, mantendo-se o insumo de calor constante ($Vx I/v$), porém com variação dos valores de tensão e de corrente. A velocidade de soldagem, a distância da peça em relação ao canhão de elétrons e a deflexão do feixe (neste caso não utilizada) foram todas mantidas constantes nos ensaios.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização deste experimento foi utilizada uma máquina de solda por feixe de elétrons de 150 KV, fabricada pela MESSER GRIESHEIN e cedida pelo CTM-SP (Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo), com a faixa de tensão entre 90 e 150 KV, e com corrente de filamento entre 0 e 100 mA. O material utilizado foram chapas de aço inox SAE 304L, nas dimensões de: 100x85x15 mm de espessura, soldadas todas no mesmo sentido da laminação da chapa, além de um bloco cilíndrico de tungstênio de 20 mm de diâmetro por 100mm de comprimento para a medida do diâmetro do feixe.

Foram escolhidos para o estudo, um conjunto de parâmetros de soldagem para uma chapa de inox SAE 304L, em soldas já realizadas pelo CTM-SP. Manteve-se a velocidade de soldagem (6 mm/s) e a potência do feixe (VxI) constantes, não foi utilizada a deflexão, e o foco do feixe foi ajustado na superfície da peça.

3.1. Planejamento Experimental

Para a realização do ensaio foi utilizado o Planejamento Aleatorizado por Níveis, utilizando o Modelo de Efeito Aleatório, BUTTON (1998), método este que permite que os resultados obtidos possam ser interpolados. Seguindo esta metodologia definiu-se que seriam estudados 4 níveis com a mesma potência ($VxI= 2000 W$), e que seriam realizadas três réplicas para cada nível. O número de quatro níveis foi escolhido, porque com quatro pontos em um gráfico o ajuste de uma curva é mais simples. Já o número de três réplicas foi adotado porque como a máquina utilizada é uma máquina com CNC, os resultados obtidos possuem um alto grau de repetibilidade, com baixa dispersão. Os valores de tensões foram fixados entre 90 e 150 KV (valores limites de ajuste da máquina de soldagem). Os resultados obtidos foram:

Nível 1	92 KV (21,7 mA)	Corrente de foco 1,709 (mA)
Nível 2	126 KV (15,9 mA)	Corrente de foco 1,985 (mA)
Nível 3	130 KV (15,4 mA)	Corrente de foco 2,004 (mA)
Nível 4	141 KV (14,2 mA)	Corrente de foco 2,150 (mA)

Os valores em (mA) foram obtidos através do produto (VxI)= 2000 W
A sequência de ensaios, está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1: Sequência do Ensaio

Nível	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
1	6	7	11
2	2	3	4
3	1	8	9
4	5	10	12

Como visto anteriormente, ou seja, nas Eq. (1) até (4c), a penetração da solda esta relacionada com as propriedades do material utilizado, bem como com os parâmetros de soldagem: tensão, corrente, velocidade de soldagem e diâmetro do foco. Como o material utilizado foi o mesmo para todos os experimentos, e como a velocidade e a potência (VxI) foram mantidas constantes, as únicas variáveis que puderam sofrer alteração foram a penetração do cordão e o diâmetro do feixe. Para a realização das medidas de penetração e do diâmetro do feixe foi utilizado o programa computacional “Global Lab Image”. Os resultados obtidos estão listados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos

Nível	D Média (mm)	W Média (mm)	ϕ Médio (mm)
1	6,3	4,7	0,76
2	11,8	2,9	0,38
3	8,6	3,4	0,67
4	7,0	4,3	0,53

Onde:

- D Média: Penetração Média do Cordão
- W Média: Largura Média do Cordão
- ϕ Médio: Diâmetro médio do feixe

É importante observar que o feixe encontrado possui uma forma elíptica. Assim primeiramente foi calculada a área da elipse pela expressão $A = \pi ab/4$, onde a é o diâmetro menor e b é o diâmetro maior. Em seguida, calculou-se uma área média para cada nível. Com este valor, foi calculado o diâmetro equivalente através da expressão $A = \pi \phi^2/4$.

Com os dados obtidos na tabela 2, podem ser calculados a Área Média (A_o), a Relação $D/(W/2)$, a Densidade de Potência (P_o), que é obtida por VI/A [KW/mm²], e o valor de Densidade Média de Energia (E_o), que é obtido por $VI/\phi v$ [J/ mm²]. Os resultados desses cálculos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Densidade de Potência e Densidade Média de Energia

Nível	Ao Média [mm ²]	D/(W/2)	Po [KW/mm ²],	Eo [J/ mm ²],
1	0,76	2,68	2,63	339
2	0,38	8,14	5,27	879
3	0,67	5,05	2,99	498
4	0,53	3,25	3,78	407

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados apresentados na Tabela 2, são também apresentados de forma gráfica na Fig. 2.

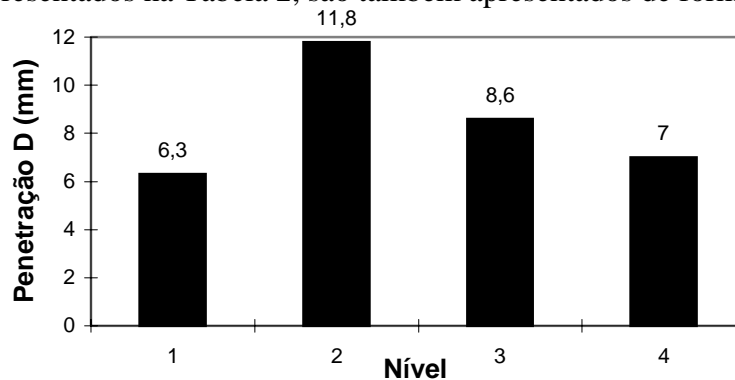


Figura 2 - Diagrama de barras mostrando a penetração média do cordão em função do nível.

Da Figura 2 pode-se ver que a definição do insumo de calor, ou da potência do feixe não são suficientes para se atingir uma mesma penetração, para vários pares (VxI). Em uma análise mais detalhada das Eq. (1), (2a), (2b), (3), (4a), (4b) e (4c), observa-se que o diâmetro do feixe tem um papel importante na penetração do cordão, já que todas as outras variáveis foram mantidas constantes.

Como visto na tabela 2, o diâmetro do feixe de elétrons varia conforme o nível, ou seja, para cada par (VxI), teremos um valor diferente de diâmetro do feixe. Estes resultados estão de acordo com SANDSTRON et al. (1970) que afirmam que mantendo-se a tensão constante, o diâmetro do feixe varia linearmente com o aumento da corrente, ao passo que,

mantendo-se a corrente constante e diminuindo-se a tensão, o diâmetro do feixe cresce exponencialmente, conforme mostra a Eq. (5):

$$\phi = Y(I/V^\theta) \quad (5)$$

onde: Y ($\approx 44 \pm 4$), e θ ($\approx 1,7$) são constantes extraídas de ajustes de curvas experimentais, válidas apenas para o equipamento utilizado.

Como o diâmetro do feixe não apresenta uma relação linear de dependência com a tensão (V) e com a corrente (I), podemos concluir que a definição do insumo de calor (VxI/v), não é suficiente para se definir a penetração de um cordão de solda. É necessário também, se conhecer o comportamento do diâmetro do feixe em relação a estes mesmos parâmetros.

A Figura 3 apresenta uma melhor visualização da influência do diâmetro do feixe de elétrons no cordão de solda através da comparação da penetração em relação a densidade de potência P_o .

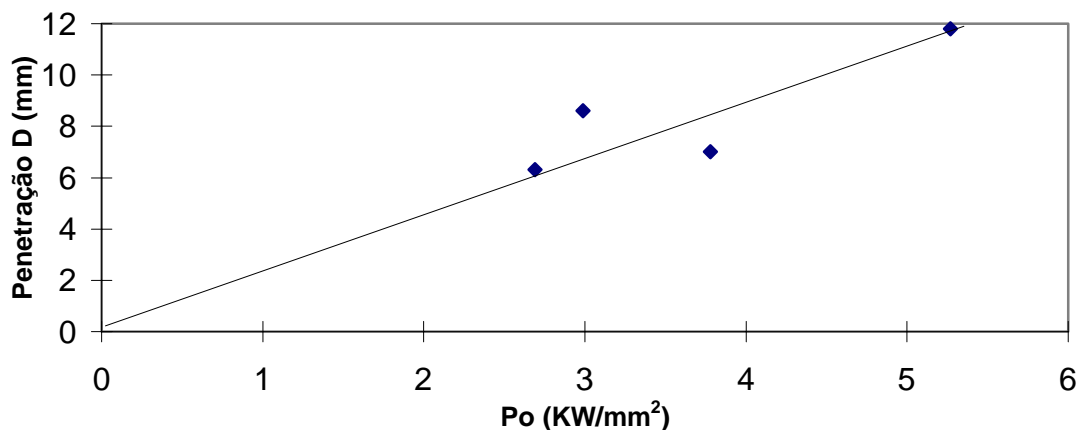


Figura 3: Penetração do cordão em função da Densidade de Potência P_o .

Levando-se em conta que com $P_o=0$ teremos penetração igual a 0, e traçando uma reta para unir a origem aos pontos de máxima penetração, podemos ver que a penetração do cordão é proporcional a densidade de potência. Os pontos apresentam dispersão, mas o seu comportamento está de acordo com o previsto pela teoria. Esta dispersão pode ser explicada por:

- como o diâmetro do feixe de elétrons é muito pequeno, as tensões possuem valores próximos e também pelo fato de que a medição é feita através do uso da visão, ou seja, a marcação do ponto inicial e ponto final do diâmetro depende da sensibilidade do operador, o erro de medida passa a ter uma influência grande no resultado final, mesmo utilizando um sistema de medição que apresenta uma precisão de até 0,004 mm. Nas medidas realizadas, utilizou-se apenas valores dentro da faixa de 0,02 mm..

- um pequeno desvio no ajuste da corrente de foco, da ordem de 5%, é capaz de gerar um desvio na penetração de 2 a 3 vezes do desvio causado por uma mesma variação (5%) nos ajustes dos valores da tensão (V) e da corrente (I), conforme mostrou GIEDT & TALLERICO (1988).

Pode-se analisar também a influência do diâmetro do feixe pela Figura 4, que apresenta os valores de penetração (D) em relação a densidade de energia do feixe (E_o).

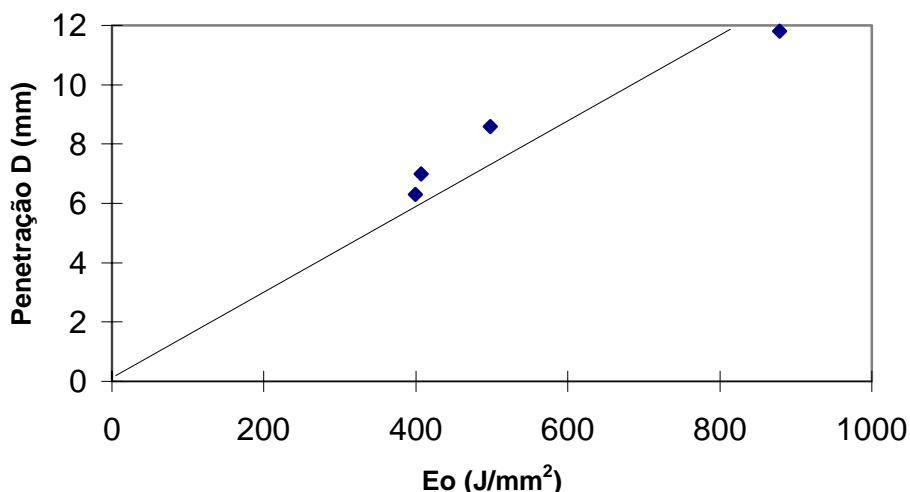


Figura 4: Penetração do cordão em função da Densidade Média de Energia (E_o).

Também neste caso, verifica-se que a penetração é dependente do diâmetro do feixe de elétrons. Verifica-se que tanto a Densidade de Potência P_o , quanto a Densidade de Energia E_o , estão de acordo com a teoria que preve a proporcionalidade entre penetração e diâmetro do feixe, ou seja, quanto menor o diâmetro do feixe, maior será a penetração do cordão, para uma mesma potência.

Devido a esta importância, um ponto que deve ser salientado neste trabalho, se refere a medida do diâmetro do feixe de elétrons. Vários autores medem este valor em um bloco de tungstênio, no entanto não existe informações detalhadas de como realizar estas medidas. Não há informações de como marcar o tungstênio com o feixe, bem como de quais pontos devem ser considerados nas marcas deixadas pelo feixe no bloco, para se realizar as medidas. Assim, para se conseguir resultados mais precisos do diâmetro do feixe é necessário que haja um maior conhecimento das técnicas de medição do feixe.

Outro ponto levantado é o que se refere ao foco na superfície da peça. O ajuste do foco na superfície da peça é realizado visualmente pelo operador, o que pode gerar suposições errôneas, ou seja, considera-se que o foco está na superfície da peça, quando o mesmo pode estar tanto acima como abaixo. O fato do foco do feixe ser considerado como estando na superfície da peça, quando na verdade está em outra posição, não afeta a morfologia do cordão quando se está levantando os parâmetros para uma determinada junta, já que uma vez acertado um conjunto de parâmetros para atingi-la, este erro sempre se repitará, garantindo uma morfologia constante.

Como o ajuste é visual, torna-se importante verificar se o operador tem uma grande influência no ajuste do foco, e também verificar se essa possível diferença exerce uma influência significativa na penetração do cordão de solda como previsto por GIEDT & TALLERICO (1988).

5. CONCLUSÕES

Os resultados experimentais obtidos neste trabalho permitem concluir que:

1. A potência do feixe e o insumo de calor não são suficientes para se determinar a penetração do cordão de solda.
2. Quanto maior a Densidade de Potência e a Densidade de Energia, maior será a penetração.

3. O diâmetro do feixe de elétrons é de fundamental importância para a caracterização da penetração do cordão em uma solda por feixe de elétrons.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, pela cessão da máquina de solda por feixe de elétrons, além dos equipamentos necessários para a preparação dos corpos de prova para análise.

Gostariam de agradecer também aos Srs. Luiz Carlos Rezende Monteiro e Carlos Alberto Berton, pela realização das soldas nos corpos de prova.

7. REFERÊNCIA

- BUTTON, S. T.. Curso de Metodologia para Planejamento Experimental e Análise de Resultados. Campinas UNICAMP/FEM, 1998. (Apostila)
- ELMER, J. W. & GIEDT, W. H. & EAGAR, T.W. The Transition from Shallow to Deep Penetration during Electron Beam Welding, *Welding Journal, Supplement* , p. 167-s-176-s, May 1990.
- GIEDT, W.H. & TALLERICO, L.N. Prediction of Electron Beam Depth of Penetration, *Welding Journal, Supplement*, p. 299-s-305-s, December 1988.
- HASHIMOTO, T. & MATSUDA, F. An Equation for Calculating Optimum Welding Condition in Electron Beam Welding, *Transactions of National Research Institute for Metals (Japan)*, v. 9, n. 1, p. 48-53, 1967.
- LUBIN, B. T. Dimensionless Parameters for the Correlation of Electron Beam Welding Variables, *Welding Journal, Supplement*, p.140-s - 144-s, March 1968.
- SANDSTRON, D.J. et. al. On the Measurement and Interpretation and Application of Parameters Important to Electron Beam Welding, *Welding Journal, Supplement*, p. 293-s - 300-s, July 1970.
- TONG, H. & GIEDT, W. H. Depth of Penetration During Electron Beam Welding, *Journal of Heat Transfer*, p. 155-163, May 1971.

BEAD PENETRATION OF ELECTRON BEAM WELDS WITH CONSTANT HEAT INPUT

Abstract. *Electron beam welding is a special welding technique. The quality of the weld achieved by this technique is much higher than in any other common welding process. The electron beam welding parameters are relatively similar to the other processes. These parameters are dependent on the physical properties and chemical composition of the material being used, the thickness of the plate to be welded and on the energy distribution of the electron beam. This paper analyses the modification on the penetration by changing the tension and the beam current, with constant velocity, but keeping a constant heat input (VxI/v). The causes of this modifications are discussed by the study of the influence of the electron beam diameter in the welding process, and concluding that the knowledge of the behavior of the beam diameter is very important, under many levels of tension and beam current. It is also concluded that the penetration is defined by indirect parameters of the equipment being used and claimed as: Power Density and Energy Density*

Key Words: Welding, Electron Beam, Welding Parameters, Welding Penetration, Stainless Steel