

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
CAIXA POSTAL 11049 - PINHEIROS
CEP 05422.970 - SÃO PAULO - BRASIL

RESUMO

Neste trabalho realiza-se um levantamento dos fatores que influenciam os custos na soldagem dos aços inoxidáveis. Analisaram-se apenas os métodos de soldagem a arco, os processos mais utilizados em uniões deste metal de base. Estimaram-se os custos totais sem considerar as etapas anteriores e posteriores à soldagem. A metodologia e a forma de cálculo para avaliar os custos foram descritos e detalhados. Finalmente, comparam-se em termos econômicos, os diversos processos de soldagem abordados no trabalho.

(1) Trabalho apresentado no Seminário de aço inoxidável - INOX 94

(2) Eng. metalurgista, M. Sc. em engenharia mecânica e administrador industrial

1. INTRODUÇÃO

Uma estimativa de custos é uma previsão dos gastos ocorridos na fabricação de um produto. Em diversas empresas, a soldagem é utilizada como um dos principais métodos de montagem e fabricação, sendo considerada parcela significativa do custo total. A realização de uma previsão de gastos relacionados à soldagem torna-se importante na elaboração de orçamentos visando a participação em concorrências e também na comparação econômica dos diversos processos de soldagem.

Os custos de soldagem basicamente são os mesmos de outros processos produtivos: materiais, equipamentos, mão de obra e despesas gerais. Cada um destes fatores apresentam diversas variáveis, que são inerentes da empresa e do processo de soldagem utilizado.

Diversos segmentos produtivos utilizam o aço inoxidável como material de base, especialmente as indústrias onde a resistência a corrosão é um fator significativo. A

tecnologia de soldagem destes materiais esta associada e condicionada a manutenção das características originais do material de base na estrutura soldada. Neste contexto vários processos podem ser utilizados nestas uniões, principalmente aqueles que garantam fácil aprendizado do operador, boa soldabilidade do material de base, ótimas condições em serviço e desempenho satisfatório, associado a custos moderados e competitivos.

Os processos a arco são os que melhor satisfazem os requisitos citados anteriormente, sendo os mais usados para soldar aços inoxidáveis⁽¹⁾. Destacam-se: os métodos que utilizam proteção do banho através da escória (eletrodo revestido, arco submerso e arame tubular) e com atmosfera protetora (MIG/MAG, TIG e plasma).

As condições de produtividade elevada e reprodutibilidade uniforme, com os menores custos possíveis são obtidas apenas, quando é estabelecido um procedimento de soldagem. A definição do processo e das variáveis de soldagem que são realizadas no procedimento, ainda fornecem os dados básicos para calcular os custos das soldas, sendo portanto, o ponto de partida para a realização de uma estimativa de custos^(2,3).

Este trabalho tem como objetivo fornecer um roteiro para engenheiros e/ou administradores, efetuarem uma previsão de custos na soldagem, quando forem utilizados os processos a arco: eletrodo revestido, arco submerso, TIG, e MIG/MAG. Analisaram-se os gastos ocasionados pela mão de obra e materiais consumíveis, que são os que exercem maior influência nos custos finais.

2. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS

Os custos totais são determinados pela somatória dos custos da mão de obra, materiais e despesas diversas⁽³⁾. O tempo necessário para a realização da soldagem e o tipo de processo utilizado são os principais fatores que influenciam os custos globais. Os custos totais podem ser estimados com uma certa confiabilidade, uma vez que a maioria das variáveis operacionais são conhecidas, através do procedimento de soldagem.

Inicialmente define-se um elemento denominado fator de operação, como sendo a porcentagem de tempo que o arco está efetivamente aberto, durante um período. O fator de operação varia em função de diversas condições operatórias, entre as principais destacam-se: método e processo utilizado, tamanho de eletrodo, posição e parâmetros de soldagem. A tabela 1⁽³⁾ apresenta os intervalos dos fatores de operação para diversas formas de soldagem.

Tabela 1. Fatores de operação para diversos técnicas de soldagem

<i>Método de soldagem</i>	<i>Intervalo do fator de operação</i>
Manual (ER e TIG)	5-30
Semiautomático	10-60
Automático (AS e MIG)	50-95

Isoladamente, o fator de operação não é indicativo de custos na soldagem. Valores elevados geralmente demonstram eficiência do soldador, mas podem não refletir em soldas de baixo custo, como exemplo, pode-se mencionar a utilização de eletrodos de diâmetro menor ao especificado, nesta situação o soldador ficaria mais tempo como arco aceso. Observa-se que os índices maiores ocorrem quando o soldador não gasta seu tempo com regulagens, preparações ou montagens. A influência do fator de operação no custo da produção é observado na tabela 2, onde são considerados para um soldador: salários de R\$ 4,00/hora, com tempo de 100% de arco soldando 20m.

Tabela 2: Influência do fator de operação (F) no custo

<i>F (%)</i>	<i>Produção (m/h)</i>	<i>Custo / unidade de comprimento (R\$ m)</i>
20	4	1,00
40	8	0,50
60	12	0,33
80	16	0,25
100	20	0,20

CUSTOS DA MÃO DE OBRA

Os custos da mão de obra são proporcionais ao tempo necessário para executar uma solda, podendo ser dividido em tempo de arco, de manipulação e de atividades não rotineiras⁽⁴⁾.

O tempo de arco depende de fatores controlados pela fonte e equipamentos, tais como: tipo do eletrodo, velocidade de alimentação do arame, voltagem e corrente de arco, polaridade, velocidade e tipo de fonte utilizada na soldagem. Outras variáveis independentes afetam a taxa com que a soldagem é realizada, como por exemplo: geometria da junta, tamanho e tipo do eletrodo e extensão a ser soldada.

As atividades rotineiras estão incluídas no tempo de manipulação e englobam: fixação e posicionamento dos eletrodos e peças, troca dos consumíveis e movimentação do soldador. O tempo para executar atividades não repetitivas, não são facilmente medidos e incluem: ponteamentos, colocação e extração de mata-juntas e qualquer tempo não envolvendo as diretamente as soldas.

Os custos relacionados a mão de obra (\$MO) são determinados por unidade de comprimento pela relação 1, a partir do salário do soldador (S) em [R\$], massa de metal depositado (M) em [Kg/m], taxa de deposição (T)⁽⁵⁾ em [Kg/h] e pelo fator de operação (F).

$$\$MO = S \cdot M / T \cdot F \quad (1)$$

A massa de metal depositada (M) utilizada na equação 1 é determinada pela relação 2, sendo obtida a partir do produto da área se seção transversal da junta (A) pela densidade do metal depositado (D). O volume do reforço pode ser estimado assumindo uma área de 10% da seção transversal para chanfros simples e 20% para chanfros duplos. A taxa de deposição (T) é função do processo e dos eletrodos, sendo obtida a partir de dados padronizados e normalizados. O fator de operação (F) é extraído da tabela 1.

$$M = A \cdot D \cdot (2)$$

CUSTO DO MATERIAL

Os processos de soldagem analisados apresentam perdas, que podem ser na forma de vaporização do metal pela ação do arco, respingos, formação de escória e aproveitamento incompleto de eletrodos e varetas de material de adição. Portanto, deve-se calcular a quantidade efetiva de material a ser consumida (C), pela equação 3, através da razão entre a quantidade de metal na junta (M) em [Kg/m] e a eficiência do processo. A tabela 3 apresenta os intervalos de eficiência para os processos utilizados.

$$C = M / E \quad (3)$$

Tabela 3: Eficiência dos processo de soldagem ⁽³⁾

<i>Processo</i>	<i>Eficiência</i>
eletrodo revestido	55 - 75
arco submerso	95 - 99
TIG / plasma	99
MIG / MAG	90 - 95

O custo do metal de adição (\$MA) é calculado por unidade de comprimento da solda, a partir do produto entre o preço do metal de adição (P) em quilos pelo consumo do metal de adição (C) em [Kg/m]. Este custo (\$MA) é estimado pela relação 4 e incorporado aos custos totais

$$\$MA = P \cdot C \quad (4)$$

Outro método é utilizado para o cálculo do custo do arame dos eletrodos, em processos de alimentação continua, tais como: arco submerso, MIG/MAG ou TIG com alimentação automatizada do metal de adição. Inicialmente determina-se a massa de metal (Q) em [Kg/s] usada por unidade de tempo, através da razão entre a velocidade de

alimentação do arame (V_a) em [m/s] e o comprimento por unidade de peso (Co) em [m/Kg].

$$Q = V_a / Co \quad (5)$$

O comprimento do fio (Co) é estimado pela relação 6, $Co = 1 / (A \cdot D)$, onde (A) é a área de seção transversal em [m²] e (D) é a densidade em [Kg/m³].

Determina-se a massa do eletrodo por unidade de comprimento, denominada neste trabalho de consumo (C), pelo quociente entre a massa de metal utilizada para preencher a junta (Q) e a velocidade de soldagem (V) estabelecida no procedimento.

$$C = Q / V \quad (7)$$

O custo de metal de adição ($\$MA$) é estimado por unidade de comprimento pela relação 8.

$$\$MA = C \cdot P \quad (8)$$

Os processos Tig, plasma e Mig/Mag utilizam gases de proteção para a poça de fusão. A quantidade necessária do gás está relacionada a velocidade de soldagem ou ao tempo para realizar a solda. O gasto com o gás por unidade de comprimento ($\$G$) é calculada a partir do preço do gás (P_g) em [R\$/m³], vazão (Q) em [m³/s] e velocidade de soldagem (V) em [m/s], conforme observado na equação 9. O custo do gás por soldas ($\$Gu$) pode ser estimado através da relação 10, onde (t) é o tempo de arco em [s] para a realização da solda.

$$\$G = (P_g \cdot Q) / V \quad (9)$$

$$\$Gu = P_g \cdot Q \cdot t \quad (10)$$

No processo a arco submerso um custo importante é o fluxo, e sua quantidade é proporcional a massa de metal depositada. Normalmente utiliza-se para a relação fluxo/metall o intervalo de valores de 1,0 a 1,3. O custo do fluxo por unidade de comprimento ($\$F$) é avaliado pela relação 11, que considera o preço do fluxo por Kg ($\$Pf$), consumo do metal de adição (C) em [Kg/m] e a razão (R) entre o fluxo e metal depositado.

$$\$F = \$Pf \cdot C \cdot R \quad (11)$$

A energia elétrica também é um custo (\$EE) considerável na soldagem, sendo possível estimar o seu valor, através do produto da potência elétrica (corrente . voltagem . tempo de arco) pelo custo do Kwh (\$Kwh), conforme a equação 12.

$$\text{\$EE} = (I . V . t) . \text{\$Kwh} \quad (12)$$

CUSTOS DAS DESPESAS DIVERSAS

Estes gastos não podem ser diretamente estimados de cada tarefa específica. As despesas gerais englobam: gerência administrativa, depreciação e manutenção de equipamentos, ferramentas de fixação e de uso geral, materiais consumíveis (bicos e bocais) e equipamentos de proteção individual.

As despesas gerais podem ser rateadas pelos custos, possibilitando a obtenção dos custos totais por atividades realizadas. Outra alternativa é utilizar um fator de correção, através de sua multiplicação pela soma dos custos da mão de obra e dos consumíveis, obtendo-se assim, o custo aproximado das despesas diversas. A tabela 4 apresenta os fatores de correção para os processos utilizados.

Tabela 4: Fator de correção para os processos utilizados ⁽⁶⁾

<i>Processo</i>	<i>Fator de correção</i>
eletrodo revestido	1,02
arco submerso	1,05
TIG/plasma	1,09
MIG/MAG	1,09

3. CÁLCULO DOS CUSTOS

O objetivo principal é a comparação econômica dos processos utilizados, portanto, utilizaram-se juntas com características geométricas similares. O material de base apresentava 12,7 mm de espessura, foram preparados chanfros em Y para realização de soldas de topo, com ângulo de abertura de 60°, sendo a folga e o nariz de dimensões iguais a 3 mm.

Estimaram-se os custos para cada um dos processos, por unidade de comprimento da junta soldada. A tabela 5 apresenta os custos relacionados com a mão de obra, enquanto a tabela 6 exibe as despesas com os consumíveis.

Tabela 5: Custos estimados com a mão de obra

	<i>F</i> [%]	<i>S</i> [RS/h]	<i>M</i> [Kg/m]	<i>T</i> [Kg/h]	<i>SMO</i> [RS/m]
el. revestido	0,2	4,00	0,75	1,45	10,34
arco submerso	0,9	4,00	0,75	10,00	0,33
TIG	0,3	4,00	0,75	0,95	10,53
MIG	0,6	4,00	0,75	2,20	2,27

Tabela 6: Custos estimados com os consumíveis

	<i>E</i> [%]	<i>C</i> [Kg/m]	<i>P</i> [RS/Kg]	<i>SMA</i> [RS/m]	<i>SG</i> [RS/m]	<i>SF</i> [RS/m]	<i>Sub.tot</i> [RS]
el. reves.	0,60	1,25	20,86	26,07	-	-	26,07
arco sub.	0,97	0,77	27,00	20,79	-	2,18	22,97
TIG	0,99	0,76	21,20	16,11	0,39	-	16,50
MIG	0,92	0,81	28,00	22,68	0,40	-	23,08

Observam-se que os custos com a mão de obra são sensivelmente menores em processos com elevada taxa de deposição, como no arco submerso. As características de automatização dos processos MIG e arco submerso propiciam a diminuição de interrupções no processo, que estão associadas a maior taxa de utilização do equipamento, gerando maior produtividade do soldador e conduzindo à redução de despesas com a mão de obra.

Os custos com os consumíveis não apresentam uma dispersão tão acentuada de valores, como ocorria na mão de obra, mas verifica-se uma maior economia quando se utiliza o processo TIG. As reduzidas perdas inerentes ao processo TIG geram maior aproveitamento do metal de adição, possibilitando a diminuição dos custos. A menor eficiência do processo eletrodo revestido ocasionada em função de perdas de pontas, formação de escória e acentuada quantidade de respingos acarretam um custo mais elevado, do que nos outros processos.

Determinaram-se os custos totais (mão de obra + consumíveis), e aplicou-se o fator de correção, apresentado na tabela 4. A tabela 7 mostra os custos totais para cada processo utilizado.

Tabela 7: Custos totais

<i>Processo</i>	<i>Custo total</i> [RS/m]
eletrodo revestido	37,14
arco submerso	24,46
TIG	29,46
MIG	27,63

4. CONCLUSÕES

Os custos parciais da mão de obra e dos consumíveis dependem fundamentalmente da quantidade de material de adição depositado. Já o tempo necessário para esta deposição influencia apenas no custo da mão de obra.

Algumas providências podem ser tomadas no sentido de diminuir os custos, como por exemplo:

- desenvolver um projeto de junta adequado, portanto, garantir as condições de serviço com a mínima quantidade de metal depositado em menor tempo possível.
- estabelecer um procedimento de soldagem preciso, através da cuidadosa especificação de todos os parâmetros de soldagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Metals Handbook - 9. Edição, vol. Welding & Brazing
2. Hines G. W.; Selecting the most economical welding process, Metal Progress - November (1972) p.40-44
3. Welding Handbook - AWS, vol.5, 7 edição
4. Necastro P. N.; How much time to weld that assembly?, Welding, Design & Fabricat February (1983) p.50-53
5. Welding Institute - Standard Data for Arc Welding - UK, (1975)
6. Soldagem: Processos e Metalurgia, Wainer E.; Brandi S.D.; Mello F.D H.; Editora Blucher Ltda (1992)