

VÍTOR SILVA MEDEIROS

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE
SOLDAGEM MAIS ADEQUADOS PARA UNIÃO DE
TUBOS DE PAREDE FINA PELO PROCESSO DE
ELETRODO REVESTIDO**



UNIVERSIDADE FERERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2018

VÍTOR SILVA MEDEIROS

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM MAIS
ADEQUADOS PARA UNIÃO DE TUBOS DE PAREDE FINA PELO
PROCESSO DE ELETRODO REVESTIDO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado na graduação em Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de **BACHAREL EM
ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Soldagem.

Orientador: Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov

UBERLÂNDIA - MG

2018

VÍTOR SILVA MEDEIROS

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM MAIS
ADEQUADOS PARA UNIÃO DE TUBOS DE PAREDE FINA PELO
PROCESSO DE ELETRODO REVESTIDO**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Douglas Bezerra de Araújo
Universidade Federal de Uberlândia

M. Sc. Andrii Mishchenko
Universidade Federal de Uberlândia

UBERLÂNDIA - MG

2018

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de fazer o curso.

Aos meus pais, Nilson e Maria, pelo amor, incentivo e apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov pelo suporte, suas correções e incentivos.

A Equipe Cerrado Baja SAE e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

MEDEIROS, V. S., **Determinação dos Parâmetros de Soldagem mais Adequados para União de Tubos de Parede Fina pelo Processo de Eletrodo Revestido**. 2018. 29p. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RESUMO

Esse trabalho refere-se à determinação empírica dos melhores parâmetros de soldagem por eletrodo revestido de tubos, aço SAE-AISI 4130, com paredes finas (1,25 mm) e diâmetro de 19,05 mm usados pela equipe mini-baja da Universidade Federal de Uberlândia. Todos os testes de soldagem foram realizados manualmente com a intenção de demonstrar as vantagens e limitações para uma futura aplicação pelos alunos da equipe de mini-baja. Concluiu-se que o eletrodo mais adequado seria o eletrodo rutílico do tipo E308 (para soldagem de aços inoxidáveis), por apresentar maior facilidade da soldagem e melhor acabamento da solda. A corrente ajustada para o eletrodo de diâmetro de 2,5 mm deve ser por volta de 60 A. Além disso, ER é o processo mais recomendado para ser usado no local da competição, pelo fácil transporte da fonte e eletrodos e pelo fato de oferecer melhor proteção da zona ativa contraventos. Os testes realizados mostraram que um aluno treinado pode executar uma solda com a qualidade de cordão aceitável usando o eletrodo rutílico do tipo E308 de diâmetro de 2,5 mm. É recomendado usar uma fonte de energia do tipo inversora que fornece a corrente contínua e não um transformador de soldagem, pois a corrente alternada prejudica a estabilidade do processo.

Silva, V. S. M., **Determination of Welding Parameters for Shielded Metal Arc Welding of Thin Wall Pipes**. 2017. 29p. Completion of Course Work, Federal University of Uberlandia, Uberlandia.

ABSTRACT

This work refers to an empirical determination of best SMAW welding parameters for pipes made of SAE-AISI 4130 steel, with thin wall (1,25 mm) and 19,05 mm diameter to be used by the mini-baja team of Federal University of Uberlandia. All welding tests were made manually with the intention to demonstrate the advantages and limitations for a future application by students of the mini-baja team. It was concluded that the more suitable electrode would be the rutile electrode of the E308 type (for stainless steel), because it is easier to weld and it offers a better weld bead finishing. The welding current adjustment for the 2,5 mm electrode should be around 60 A. Thus, the more recommended process to be used during a competition would be the SMAW because the power source and electrodes are easy to be transported and due to the fact that it offers a better protection of the active zone against winds. The tests performed showed that a trained student can indeed perform a welding with acceptable quality by using rutile electrode of the E308 type of 2,5 mm diameter. It is recommended to use an inverter-type power source that provides direct current and not a welding transformer, since alternating current impairs process stability.

Keywords: Mini-Baja; Welding; Thin Wall Tubes; Shielded Metal Arc Welding.

LISTA DE ABREVIações

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEN	Corrente Contínua Eletrodo Negativo
CCEP	Corrente Contínua Eletrodo Positivo
ER	Processo de soldagem com Eletrodo Revestido
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
MMA	<i>Manual Metal Arc (Welding)</i>
SMAW	<i>Shielded Metal Arc Weld</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	9
INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO 2	11
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Soldagem a arco com Eletrodo Revestido	11
2.1.1. Fundamentos do processo	11
2.1.2. Característica estática da fonte	13
2.1.3. Eletrodos revestidos	13
2.1.4. Vantagens e limitações do processo de soldagem ER	17
2.1.5. Aplicações	18
CAPÍTULO 3	20
METODOLOGIA, EQUIPAMENTOS E CONSUMÍVEIS	20
3.1. Equipamentos Utilizados	20
3.1.1. Soldagem por Eletrodo Revestido	20
3.1.2. Material de base	22
CAPÍTULO 4	24
TESTES PRELIMINARES	24
4.1. Eletrodo E6013	24
4.2. Eletrodo E308	26
CAPÍTULO 5	27
TESTES FINAIS	27
5.2. Processo ER	27
CAPÍTULO 6	28
CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A soldagem é o processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição. (*American Welding Society – AWS*).

Embora o processo de soldagem pareça recém inventado, existem indícios de que a união de materiais já era realizada há cerca de quatro mil anos, nos vales dos rios Nilo e Tigre-Eufrates. Contudo, o processo praticado antigamente era a soldagem por forjamento. A soldagem, tal como praticada nos dias atuais (soldagem elétrica), somente se desenvolveu no final do século XIX e ganhou relevância nos últimos 60 anos. O primeiro método de soldagem por arco elétrico foi desenvolvido por Nikolay Benardos e apresentado na Exposição Internacional de Eletricidade, Paris em 1881. Posteriormente, em 1887 o método foi patenteado por Nikolay Benardos e Stanislaw Olszewski em 1887. Procurando melhorar a qualidade da solda, Oscar Kjelberg, em 1904, inventou o primeiro eletrodo revestido, onde o revestimento era constituído de material argiloso e facilitava a abertura do arco e aumentava sua estabilidade. Além do processo de soldagem por eletrodo revestido, foram desenvolvidos outros processos de soldagem a arco como a soldagem TIG, MIG/MAG, soldagem a plasma entre outros, que em alguns casos podem ser usados para a mesma junta a soldar.

A escolha do processo de soldagem deve levar em conta, principalmente, a posição de soldagem, velocidade, penetração e deposição de material. Além disso, a produtividade desejada, a disponibilidade de soldadores/operadores qualificados. O acabamento da solda requerido, os recursos disponíveis e o ambiente de trabalho também são fatores relevantes para escolha do processo.

O objetivo do presente Trabalho de Conclusão de Curso é a escolha dos parâmetros de soldagem pelo método de eletrodo revestido a ser aplicado na fabricação e em eventuais consertos de um protótipo de competição mini-baja da FEMEC da Universidade Federal de Uberlândia (Fig. 1.1), cujo sistema de suspensão é composto de bandejas duplo A com tubos de pequeno diâmetro (19,05 mm) e, o que é o desafio principal, de parede fina (1,25 mm). Os parâmetros a serem definidos, são:

- ✓ Tipo do eletrodo (para aço ao carbono ou aço inoxidável);
- ✓ Tipo do revestimento (rutílico ou básico);
- ✓ Diâmetro do eletrodo;
- ✓ Tipo da corrente de soldagem (contínua ou alternada);
- ✓ Valor de corrente (conforme o diâmetro do eletrodo).



Figura 1.1 – Carro da equipe de mini-baja da UFU em 2017.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O maior desafio deste trabalho é a união dos tubos de diâmetro reduzido (19,05 mm) e com as paredes finas (1,25 mm) buscando uma boa geometria, penetração e acabamento da solda. Para atingir esse objetivo é necessário ter conhecimento das variáveis que influenciam o desempenho da soldagem. A seguir serão apresentados e discutidos os conceitos básicos e aplicações da soldagem por eletrodo revestido.

2.1. Soldagem a arco com Eletrodo Revestido

2.1.1. Fundamentos do processo

No processo de soldagem a arco com Eletrodo Revestido também conhecido como *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) ou *Manual Metal Arc Welding* (MMA), o arco elétrico ocorre entre um eletrodo revestido consumível e a peça, sendo assim providenciada a fusão do eletrodo e do metal de base que se misturam na poça de fusão (Fig. 2.1).

O núcleo do eletrodo entrega o metal de adição, enquanto o revestimento composto de diversos minerais e produtos químicos, fornece a escória protetora do cordão de solda e o gás de proteção do arco.

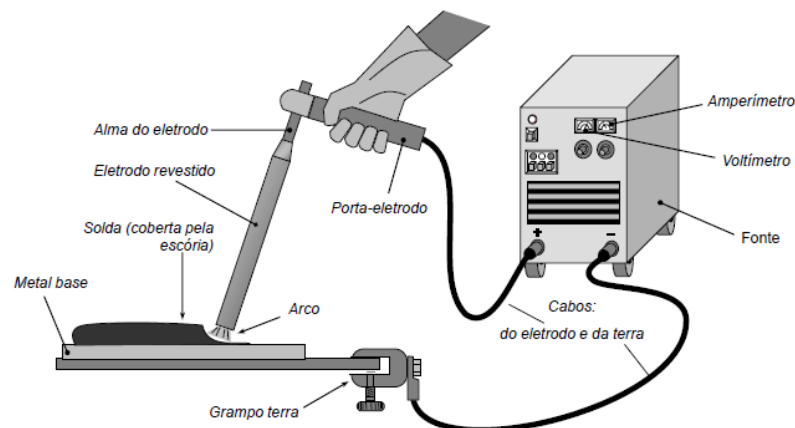


Figura 2.1 - Esquema do processo de soldagem a arco com eletrodo revestido (Fonte: Material Didático do Prof. Volodymyr Ponomarov).

O eletrodo é conectado a um polo da fonte de energia através do porta-eletrodo com o cabo. O outro polo da fonte é conectado à peça pelo grampo terra.

A tensão de circuito aberto varia entre 60 e 90 V, enquanto a tensão de trabalho se situa entre 20 e 40 V. Por outro lado, a corrente se encontra no intervalo de 30 a 500 A, dependendo do diâmetro do consumível, além da posição de soldagem. Os consumíveis, por sua vez, possuem diâmetro (medidos na “alma”) entre 1,5 e 8 mm, com comprimento de 300 a 450 mm, podendo atingir 700 mm, ou mais.

De acordo com o revestimento do eletrodo, o mesmo poderá operar em corrente contínua (CC), ou alternada (CA). A escolha entre o tipo de corrente (CA ou CC) dependerá de algumas considerações como:

- (a) Qualidade requerida da junta soldada (que é melhor no caso de CC);
- (b) Todos os eletrodos revestidos podem operar com CC, o mesmo não vale para CA;
- (c) eletrodos de pequeno diâmetro, operando com baixa intensidade de corrente apresentam arco mais estável em CC;
- (d) O fator de potência é, em geral, maior para um retificador do que para um transformador;
- (e) A deflexão eletromagnética do arco (sopro magnético) é menor (ou desprezível) com CA;
- (f) O transformador, em geral, exige menor investimento do que um retificador;
- (g) É mais fácil iniciar o arco e mantê-lo curto em CC do que em CA.

A abertura do arco é iniciada por um rápido curto-circuito entre o eletrodo e a peça. Para tanto, a peça deve ser “riscada” com a ponta do eletrodo, em um movimento ilustrado na Figura 2.2. Durante a soldagem, o comprimento do arco deve ser mantido curto e constante, pois este influencia diretamente no desempenho do processo (estabilidade do arco, respingos, geometria do cordão de solda, entre outros), além de alterar a composição química do metal de solda e modificar suas propriedades mecânico/metalúrgicas.

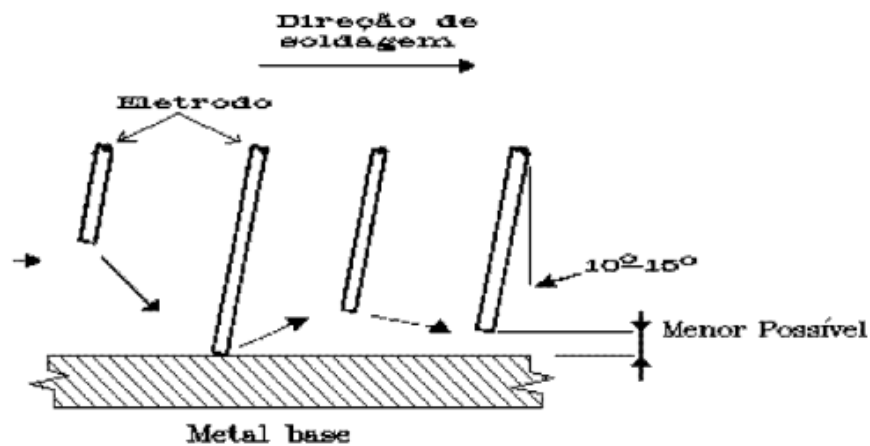


Figura 2.2 – Movimento a ser realizado pelo soldador com o eletrodo para iniciar a soldagem. (MACHADO, 1996).

2.1.2. Característica estática da fonte

Visto que a tensão é proporcional ao comprimento do arco e é impossível mantê-lo estável, nesse processo a característica da fonte é do tipo corrente constante (“tombante”), como visto na Figura 2.3:

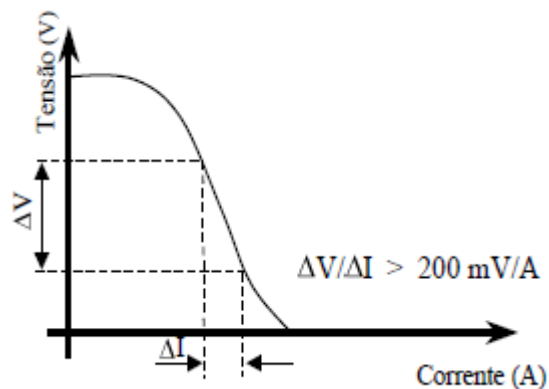


Figura 2.3 - Característica estática da fonte (Tensão x Corrente) do tipo Corrente Constante. (Fonte: Material Didático do Prof. Valtair Antonio Ferraresi).

2.1.3. Eletrodos revestidos

Dependendo dos compostos empregados e da proporção com que os mesmos se encontram no revestimento, os eletrodos podem ser classificados conforme principais tipos: básicos, rúflicos ou celulósicos.

Eletrodos Básicos

O metal de solda depositado por esse consumível pode apresentar as melhores propriedades mecânico/metalúrgicas entre todos os eletrodos (destacando-se a tenacidade) e, portanto, o mesmo deve ser preferido em juntas com altas solicitações. Carbonato de cálcio CaCO_3 e fluoreto de cálcio CaF_2 (fluorita) são os principais constituintes do revestimento. Esse tipo de eletrodo produz soldas com baixos teores de hidrogênio, altamente desoxidadas e com baixo nível de inclusões complexas de sulfetos e fosfetos. A escória é facilmente destacável com o cordão sendo de média penetração.

Eletrodos básicos podem ser considerados mais difíceis de soldar e necessitam de ressecagem com temperaturas de até 400°C .

Eletrodos Celulósicos

Nestes há a produção de grande volume de gás, sendo CO_2 , CO , H_2 , H_2O (vapor) e seus subprodutos os principais. O metal depositado apresenta alta penetração, sendo produzida pouca escória, a qual é facilmente destacável. Eletrodos celulósicos não são recomendados quando são exigidos altos níveis de resistência mecânica, pois o metal depositado por eletrodos celulósicos é suscetível a trincas. Além do risco de ocorrência de trincas por hidrogênio, proveniente da celulose, silicato e umidade contida em ambos, há alto volume de respingos e acabamento ruim.

Eletrodos Rutilícos

Consumível de uso geral, cujo revestimento apresenta até 50% de rutilo, com alguns tipos contendo até 15% de celulose. A penetração é baixa, com escória de rápida solidificação e facilmente destacável. O metal de solda pode apresentar um nível de hidrogênio alto pois após a extrusão o consumível deve ser seco em relativamente baixa temperatura. Caso a ressecagem seja realizada em alta temperatura, a ação redutora do hidrogênio é perdida e o metal de solda apresenta porosidades grosseiras, provocadas por nitrogênio e monóxido de carbono. Eletrodos rutilícos permitem soldagem em todas posições. As propriedades mecânicas do metal de solda são inferiores às obtidas com eletrodos básicos.

Os eletrodos para aços ao carbono são classificados pelos fabricantes de consumíveis (conforme a Norma de AWS A 5.1), com base nas propriedades mecânicas do metal de solda, no tipo de revestimento, na posição de soldagem, e no tipo de corrente (CA ou CC).

E XX (X) YZ

E - Eletrodo revestido;

XX – Indicam resistência à tração (em ksi = 1000 psi);

Y – Refere-se à posição de soldagem (1 = todas as posições, 2 = horizontal e plana, 3 = plana, 4 = plana, sobre cabeça, horizontal, vertical descendente);

Z – Indicam os tipos de corrente, revestimento e demais características operacionais dos eletrodos revestidos.

Os eletrodos revestidos para aço ao carbono mais usados são os E6013 (rutílicos) e E7018 (básicos). Tabela 2.1 mostra suas características típicas.

Tabela 2.1 – Características Operacionais dos Eletrodos Revestidos para Aços ao Carbono (MACHADO, 1996).

Classificação AWS	Tipo de Revestimento/ Aglomerante	Posições de Soldagem	Tipo de Corrente	Penetração Relativa	Taxa de Deposição Relativa
E6013	Alto rutilo/Silicato de potássio	T	CA, CC	Baixa	Baixa
E7018	Baixo hidrogênio, pó de ferro/Silicato de potássio	T	CA, CCEP	Média	Média

Onde: T – todas as posições;

CA – corrente alternada;

CC – corrente contínua, ambas as polaridades;

CCEP – corrente contínua, eletrodo positivo.

A polaridade do eletrodo e da peça altera a forma e dimensões da poça de fusão, a estabilidade do arco e o modo de transferência do metal de adição. Em geral, a soldagem manual com polaridade inversa (CCEP) produz arcos mais estáveis e cordões mais regulares, assim como uma maior penetração enquanto que, com polaridade direta (CCEN), a penetração é menor, mas a taxa de fusão é maior (Fig. 2.4).

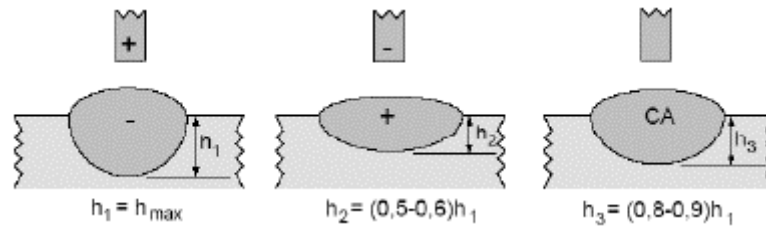


Figura 2.4 - Influência da polaridade e do tipo de corrente na penetração (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2007).

Com corrente alternada, a penetração e a taxa de fusão tendem a ser intermediárias, além disso, a estabilidade do processo pode ser inferior. Por outro lado, a soldagem com CA apresenta menos problemas de sopro magnético. O sopro magnético reduz o controle sobre o arco, dificultando o processo de soldagem e aumentando a probabilidade de imperfeições do cordão.

Comparando o eletrodo conectado ao polo negativo com o positivo, tem-se:

- CCEN produz geralmente menor penetração do que CCEP;
- A taxa de deposição é geralmente maior em CCEN do que em CCEP;
- Em CCEN há geralmente maior geração de calor no eletrodo do que na peça. Como consequência, ocorre menor distorção e a velocidade de soldagem é maior do que em CCEP;
- CCEN é indicada para chapas finas e juntas com folga (abertura) de raiz excessiva;
- CCEP produz geralmente a maior penetração entre todos os três casos. Dessa forma é interessante utilizar esta polaridade para passes de raiz ou fora de posição. A polaridade CCEP é, normalmente, recomendada pelo fabricante do eletrodo.

Comparações de soldagem em CC e CA;

- A estabilidade do arco em baixas correntes é melhor em CC do que em CA;
- O arco é mais facilmente iniciado em CC do que com CA;
- A manutenção de um arco extremamente curto é mais fácil em CC do que em CA;

- Há tendência de ocorrer "sopro magnético", principalmente em estruturas massivas e altas correntes em CC, sendo esse fenômeno praticamente inexistente em CA;
- É mais fácil soldar fora de posição em CC do que em CA;
- A soldagem de chapas finas é mais facilmente realizada em CC do que em CA;
- Em CA há, em geral, maior produção de salpico (respingos) que em CC.

É válido ressaltar que o tipo e o diâmetro do eletrodo, a polaridade a ser usada, o tipo de corrente, o valor de corrente são prescritos pela Especificação do Procedimento de Soldagem (EPS) e não podem ser alterados arbitrariamente pelo soldador.

Antes de serem usados, os eletrodos devem ser submetidos a uma ressecagem conforme as recomendações (acerca das temperaturas e tempo) do fabricante para retirar a umidade (Tab. 2.2).

Tabela 2.2 - Exemplo de especificação das condições de estocagem e ressecagem dos eletrodos revestidos (MACHADO, 1996).

Classificação (AWS)	Umidade Máxima (%)	Condições de Estocagem		Ressecagem
		Exposto à Atmosfera	Estufa de Manutenção	
E6012, E6013, E6019, E6020, E6022, E6027, E7014, E7024, E7027	Não se especifica	30+/-10°C com 50% de umidade relativa máxima	12 à 24°C acima da temperatura ambiente	1h na temperatura de 135 ±15 °C
E7015, E7016, E7018, E7028, E7048	0,6	Não recomendado	30 a 140°C acima da temperatura ambiente	1 a 2h na temperatura de 350 a 425°C

2.1.4. Vantagens e limitações do processo de soldagem ER

Algumas vantagens e limitações do processo ER se encontram na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Vantagens, limitações e aplicações típicas do processo a arco com ER.

Vantagens	Limitações
☺ O equipamento é relativamente simples, barato e portátil;	☹ Aplicação do eletrodo não é contínua;

Vantagens	Limitações
☞ O metal de adição (alma) e os meios de proteção durante a soldagem são fornecidos pelo próprio eletrodo revestido; ☞ É o processo a arco que possui a maior flexibilidade de aplicação; ☞ A soldagem pode ser realizada em todas as posições (o que é muito importante caso a execução da solda não pode ser na posição plana); ☞ É menos sensível a corrente de ar (por exemplo, a ventos) que processos que utilizam proteção gasosa; ☞ Ocupa pouco espaço físico (versatilidade de manuseio); ☞ É adequado para materiais de espessura acima de 1,5 mm; ☞ A variedade de eletrodos existentes no mercado é imensa e são facilmente encontrados; ☞ Facilidade de ajustar a composição do depósito (versatilidade de mercado); ☞ É apropriado para a maioria dos metais e ligas metálicas comumente encontradas no mercado (aço carbono, aços de baixa, média e alta liga, aço inoxidável, ferro fundido, cobre, níquel e suas ligas e algumas ligas de alumínio); ☞ É possível realizar a soldagem de materiais dissimilares; ☞ É um dos processos de soldagem mais utilizados, particularmente na produção de cordões curtos, em trabalhos de manutenção e reparo e em trabalhos em campo.	☞ Apresenta baixas taxas de deposição quando comparado com o processo GMAW e um fator de operação baixo; ☞ Ligas de baixo ponto de fusão, tais como chumbo, estanho e zinco e suas ligas não são soldados pelo este processo, devido à intensidade do calor do arco ser muito alta para estes materiais; ☞ Não é adequado para metais reativos como titânio e zircônio, pois a proteção proveniente da queima do revestimento não é suficiente para evitar a contaminação da solda pelo oxigênio; ☞ A corrente a ser utilizada no processo é limitada. Uma amperagem excessiva superaquece o eletrodo, danificando o revestimento, provocando mudança nas características do arco e da própria proteção; ☞ Produz escória, exigindo uma limpeza profunda após soldagem; ☞ Essencialmente manual e de baixa produtividade (baixa produção + baixo ciclo de trabalho, nada mais de que 25%); ☞ Mal-uso dos eletrodos: perdas até 30 – 35% = 10 – 15% (toco junto com a parte descascada do eletrodo + 10 – 15% (tocos longos, de 10 – 15 cm, descartados pelo soldador) + 5% (mau manuseio podendo danificar o revestimento) + 5% (outras causas).

2.1.5. Aplicações

Recomenda-se uma espessura da peça a soldar no processo a arco com Eletrodo Revestido maior que 1,5 mm (Fig. 2.5), desta forma, na soldagem de chapas muito finas o metal de base pode estar suscetível a furar.

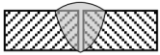
Tipo de solda		Espessura de metal de base (mm)							
		1.5	3	6	12	24	...	100	200
	Solda de topo com passe único (sem preparação)								
	Solda de topo com passe único (com preparação)								
	Solda de topo multipasse								
	Solda de filete com passe único								

Figura 2.5 – Tipo de solda e sua respectiva espessura para soldagem a arco com Eletrodo Revestido (Fonte: Material Didático Prof. Volodymyr Ponomarov).

A soldagem por eletrodo revestido apresenta baixo custo e apesar de não conseguir soldar chapas muito finas é muito versátil, podendo ser usado em situações de emergência em ambientes externos, manutenção de estruturas submersas, em soldagem subaquática e em ambientes molhados ou secos. O nível de qualidade das soldas feitas com Eletrodos Revestidos depende da habilidade do soldador, exigindo do profissional uma certa destreza e concentração, com isso a formação de mão-de-obra qualificada é demorada e onerosa.

Finalmente, pode-se concluir que o processo ER é adequado para a finalidade deste trabalho graças a:

- Portabilidade do equipamento;
- Flexibilidade de aplicação;
- Possibilidade de soldar em todas as posições;
- Sua característica a não ser sensível a corrente de ar (por exemplo, a ventos);
- O fato de ocupar pouco espaço físico (versatilidade de manuseio);
- O fato de possibilitar a soldagem de chapas finas em torno de 1,5 mm (valor próximo a parede de 1,25 mm dos tubos a serem soldados)

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA, EQUIPAMENTOS E CONSUMÍVEIS

O presente trabalho se embasou na comparação da geometria, penetração e acabamento da solda do processo de soldagem por Eletrodo Revestido. Os testes foram realizados mudando o tipo e diâmetro do eletrodo e o tipo de corrente.

Em todas as amostras foram aplicados os mesmos tipos de junta em “T” (Fig. 3.1). Para cada combinação de tipo de eletrodo e tipo de corrente foram procurados os melhores parâmetros e melhores posições para soldar os tubos de parede fina.

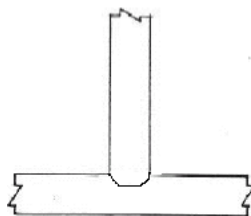


Figura 3.1 – Tipo de junta em “T”.

3.1. Equipamentos Utilizados

3.1.1. Soldagem por Eletrodo Revestido

Utilizou-se na soldagem ER a fonte do tipo inversora Larry TE 160 da empresa IMC (Fig. 3.2). A fonte oferece um ajuste contínuo de corrente de 7 a 140 A e tensão em vazio de 83 V, para eletrodo revestido, e tensão de alimentação de 220V. Além disso, também foi utilizado o transformador NM250 Turbo da empresa BAMBOZZI (Fig. 3.3). Este oferece um ajuste contínuo de corrente de 70 a 250, tensão em vazio de 45 V e tensão de alimentação de 110 ou 220V.



Figura 3.2 – Fonte usada para soldagem ER.



Figura 3.3 – Transformador usado para soldagem ER.

Foram usados eletrodos do tipo E6013 e E308 (rutílicos) da marca OK 46.00 e OK 61.30 da empresa ESAB (Fig. 3.4) com diâmetros de 2,0 e 2,5 mm. Optou-se por eletrodos rutílicos pois estes apresentam baixa penetração no processo de soldagem, desta forma são mais adequados para utilização em materiais com espessura reduzida. Segundo o catálogo de Eletrodos ESAB, o eletrodo E6013 solda bem em todas as posições e todos os tipos de juntas de aço carbono. Enquanto isso, o eletrodo E308 é indicado para aços inoxidáveis com baixíssimo teor de carbono, também pode ser usado em aços endurecidos ao ar, aços ferríticos e martensíticos.



Figura 3.4 – Eletrodos rutílicos do mesmo tipo usado na soldagem ER (Fonte: Catálogo ESAB).

Também foram utilizados nos testes equipamentos de proteção, luvas, blusão e máscara (Fig. 3.5), além de ferramentas para remoção de escória (Fig. 3.6).



Figura 3.5 – Equipamento de proteção (Luvas, Blusão e Máscara de Solda).



Figura 3.6 – Ferramentas para remoção de escórias (Escova de aço e Martelo Picador de Solda).

3.1.2. Material de base

Tubos de parede fina de 1,25 mm com diâmetro de 19,05 mm e material SAE 4130, este é um aço cromo molibdênio com composição química, C: 0,28% – 0,33% / Mn: 0,40% – 0,60% / P máx: 0,03% / S máx: 0,04% / Si: 0,15% – 0,35% / Mo: 0,15% – 0,25% / Cr: 0,80% – 1,10%. O limite de escoamento para o aço 4130 é de 460 Mpa. Os tubos de teste foram cortados com comprimento de aproximadamente 50 mm (Fig. 3.7). Com o objetivo de testar as juntas em "T", a metade dos tubos foram desbastados em um moto esmeril de modo a formar uma "boca de lobo" (Fig. 3.8). Antes de realizar a solda todos os tubos foram lixados para retirar o óleo e camadas de óxidos que poderiam prejudicar o resultado da soldagem.



Figura 3.7 – Tubos de parede fina utilizados nas soldagens.



Figura 3.8 – Tubos com junta em “T” com “boca de lobo” e lixados, prontos para soldagem.

CAPÍTULO 4

TESTES PRELIMINARES

4.1. Eletrodo E6013

Inicialmente foram testados eletrodos rútilicos (E6013) de 2,0 e 2,5mm com o transformador NM250 Turbo. Para os eletrodos de 2,5 mm, foi utilizada a faixa recomendada pelo fabricante do eletrodo de 60 – 100 A de corrente.

Devido à falta de experiência e destreza do soldador, os testes iniciais apresentaram furos e excesso de material depositado (Fig. 3.9).



Figura 3.9 – Amostras soldadas com eletrodo do tipo E6013 com Ø 2,5 mm com defeitos sinalizados.

Após certa prática do soldador, foi possível notar melhora do acabamento do cordão de solda evitando furos na junta (Fig. 3.10), embora ainda sejam visíveis imperfeições como respingos e descontinuidade do cordão de solda. Vale ressaltar que a escória formada apresentou alguma dificuldade para remoção, necessitando da utilização do picador de solda várias vezes. Além disso, a parede fina do tubo inviabilizava a manutenção do arco aceso por muito tempo, pois o calor gerado funde o material de base, rapidamente.



Figura 3.10 – Amostras soldadas com eletrodo do tipo E6013 com Ø 2,5 mm, CA 90 A, com respingos e descontinuidades.

Utilizando o eletrodo do tipo E6013 com Ø 2,0 mm, observou-se que havia maior consumo do eletrodo e deposição insuficiente, necessitando maior movimentação do eletrodo e piorando o acabamento da solda (Fig. 3.11). Desta forma, foi descartado o uso desse como a melhor opção.



Figura 3.11 – Amostra soldada com eletrodo do tipo E6013 com Ø 2,0 mm CA 70 A.

4.2. Eletrodo E308

Posteriormente, adquiriu-se eletrodos do tipo E308 com $\varnothing$ 2,0 mm e 2,5mm. Realizando a solda com esse eletrodo e CA, notou-se grande instabilidade do arco e impossibilidade de realizar deposição de material com o eletrodo de 2,0 mm.

Embora a instabilidade do arco, foram soldadas amostras com o eletrodo do tipo E308 e $\varnothing$ 2,5mm. Na Figura 3.12 nota-se uma maior descontinuidade da solda. Por outro lado, observou-se poucos respingos e uma facilidade maior na remoção de escórias se comparado ao eletrodo E6013.



Figura 3.12 – Amostra soldada com eletrodo do tipo E308 com $\varnothing$ 2,5 mm CA 90 A.

Por fim, manteve-se a utilização do eletrodo E308, para aço inox, de $\varnothing$ 2,5mm e foi utilizada a fonte inversora Larry TE 160. Como a fonte fornece corrente contínua o arco manteve-se mais estável se comparado a CA, e foi possível a utilização de correntes mais baixas dentro da faixa recomendada pelo fabricante, pois o aço inox possui maior condutividade elétrica se comparado ao aço ao carbono.

Os testes resultaram em amostras com melhor geometria e acabamento da solda, além de apresentarem facilidade na remoção de escórias (Fig. 3.13).



Figura 3.13 – Amostra soldada com eletrodo do tipo E308 com $\varnothing$ 2,5 mm CC+ 60 A.

CAPÍTULO 5

TESTES FINAIS

5.2. Processo ER

Após os testes preliminares para encontrar os melhores parâmetros e consumíveis, foi feita a repetição de amostras com qualidade semelhante a desejada (Fig. 3.14).

A execução da soldagem foi realizada em 4 trechos distintos, sendo um de frente, um de costas e dois de lado. Conclui-se que o direcionamento do arco deve ser para o tubo inteiro e não para o tubo com extremidade, com “boca de lobo, pois o tubo inteiro dispõe de mais área para dissipar calor e evitar fundição.

Apesar de todas as dificuldades, a solda resultante apresentou qualidade aceitável, mas que ainda pode ser melhorada após o treinamento do soldador



Figura 3.14 – Frente e costas das amostras de solda com eletrodo do tipo E308 com Ø 2,5 mm CC+ 60 A com qualidade semelhante.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

O trabalho apresentado mostrou quais equipamentos e consumíveis são viáveis para soldagem da aplicação em questão e como devem ser ajustados seus parâmetros. O autor analisou e certificou pela própria experiência (realizando amostras) acerca de particularidades, vantagens e limitações de cada parâmetro utilizado (E308, E6013, CC, CA).

Sabendo que o trabalho teve o intuito de mostrar à equipe de Baja da UFU quais os parâmetros seriam mais adequados tanto na oficina/laboratório quanto no ambiente de competição, foi concluído o seguinte. O eletrodo mais adequado seria o eletrodo rutilico do tipo E308, por apresentar maior facilidade da soldagem e melhor acabamento da solda. O tipo de corrente com melhor desempenho no processo de soldagem foi a CC com ajuste de cerca de 60 A para o eletrodo de diâmetro de 2,5mm. Além disso, ER é o processo mais recomendado para ser usado no local da competição, pelo fácil transporte da fonte e eletrodos e pelo fato de oferecer melhor proteção da zona ativa contraventos. Os testes realizados mostraram que um aluno treinado pode executar uma solda com a qualidade de cordão aceitável usando o eletrodo rutilico do tipo E308 de diâmetro de 2,5 mm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MACHADO, I. G. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: editado pelo autor, 1996. 477p.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 362p.

ESAB, **Catálogo de Consumíveis**. Disponível em:

<<http://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/catalogo-consumiveis-esab.pdf>> Acesso em: 24/01/2018.