



RESUMO

Na construção soldada, devido ao contínuo aumento dos custos envolvidos com a mão-de-obra e consumíveis, há cada vez mais necessidade, por parte das empresas e dos seus responsáveis, de se poder determinar, com o máximo rigor possível, qual a técnica mais adequada, com o menor custo associado. Ajustando convenientemente os parâmetros e consumíveis de soldadura ao trabalho a realizar, conseguem-se consideráveis reduções dos montantes envolvidos. A competitividade entre empresas é grande e, na maioria dos casos, a diminuição desses custos conduz a um maior sucesso comercial, traduzindo-se numa actualização e optimização dos recursos disponíveis.

Teve-se como objectivo, comparando dois processos de soldadura semi-automática MAG (GMAW) e soldadura por fios fluxados (FCAW), determinar qual o mais vantajoso do ponto de vista económico-productivo.

No caso do presente trabalho, efectuaram-se diversos ensaios de soldadura, utilizando materiais nas qualidades e espessuras características da média/pesada construção metalomecânica. Recorreu-se aos processos de soldadura GMAW e FCAW, ou seja, empregando fio consumível sólido e fio consumível fluxado, protecção por gás activo de uma mistura de árgon e dióxido de carbono e efectuando uma soldadura de canto na posição ao baixo nos diversos ensaios através da técnica passe simples e passes múltiplos.

Concluiu-se que quando se pretende utilizar técnicas de passe múltiplo onde uma elevada velocidade de soldadura é requerida, o processo FCAW é o mais indicado.





ABSTRACT

In the welding construction due to the continuous increasing of labour and consumables costs, for the companies and their directors is becoming necessary to determine the best welding technical at the minimum cost. If the welding parameters and consumables are conveniently adjusted to the intended job, significant reductions to the costs can be achieved. Competition between companies is enormous and in general the decreasing of that costs results in a better commercial relationship, and their resources are optimized and recycled.

Two well known semiautomatic welding processes MAG (GMAW) and flux cored wire (FCAW) were compared to determine which process is the most advantageous from the economic and productive point of view.

Several welding tests were made using raw materials and thicknesses normally used in the medium/heavy metalomechanic construction. The welds were performed using the GMAW and FCAW process, with solid wire and flux cored wire, respectively, with a mix of shielded active gas with argon and carbon dioxide to fulfil the fillet weld in a single/multiple layer on the flat position.

After all the tests was verified that the FCAW process is the best choice when it's necessary high welding travels using the multiple layer technique.





AGRADECIMENTOS

O assunto soldadura, muito antes de ingressar no ensino superior já me fascinava. Após concluir o curso e enveredar pela vida profissional, tive a sorte e possibilidade de aprofundar conhecimentos nessa matéria.

No início, o tema deste estudo parecia um caminho sem fim. A pouca bibliografia disponível sobre o assunto e, acima de tudo, ser um tema pouco explorado, tornavam a tarefa bastante difícil. Ainda assim, com todos os possíveis obstáculos, era pouco provável escolher outro tema.

Do outro lado dessas dificuldades, há quem nos ajude com os seus conhecimentos e disponibilidade, por um lado, e, por outro, quem nos incentive e dê força para continuarmos.

Quero aqui deixar um agradecimento à empresa que representei, Carmetal – Indústrias Metalúrgicas do Carregado, Lda., pela colocação à minha disposição de todos os meios humanos e materiais que me permitiram realizar este estudo.

Ao meu professor Correia da Cruz, pela orientação perspicaz no tema a desenvolver e pela disponibilidade demonstrada desde o primeiro minuto da decisão pelo tema e aceitação imediata como orientador.

À minha companheira e amiga de há alguns anos, pela força e apoio demonstrado em todas as situações.

A ti, mãe, que, onde quer que estejas, certamente ficarás contente por veres-me terminar mais esta etapa.





LISTA DE SIGLAS

AWS: American Welding Society

DC: Direct Current

EUA: Estados Unidos da América

FCAW: Flux Cored Arc Welding

GMAW: Gas Metal Arc Welding

GTAW: Gas Tungsten Arc Welding

MAG: Metal Active Gas

MIG: Metal Inert Gas

PWHT: Post Welding Heat Treatment

SAW: Submerged Arc Welding

SMAW: Shielded Metal Arc Welding

TIG: Tungsten Inert Gas





ÍNDICE

RESUMO	I
ABSTRACT	III
AGRADECIMENTOS	V
LISTA DE SIGLAS	VII
1. INTRODUÇÃO	1
Análise dos requisitos da junta de soldadura	1
Adequar a junta ao processo de soldadura	3
Lista de verificações	3
Esclarecimentos com fabricantes	3
1.1. Contexto económico e delimitações do estudo	4
2. METODOLOGIA	5
2.1. Técnicas e meios utilizados	5
Processo GMAW	5
Tipos de transferências	6
Fontes de potência	10
Gases de protecção	11
Eléctrodos	13
Vantagens e desvantagens	14
Processo FCAW	14
Metalurgia do processo de soldadura por fios fluxados	15
Classificação dos eléctrodos fluxados	15
Equipamento de soldadura	17
Variáveis do processo	17
Controlo do processo	18
Geometria da junta	20
Vantagens.....	23
Desvantagens.....	23
Técnicas operatórias de execução	23
Preparação da soldadura	24



Equipamento de soldadura	26
3. FUNDAMENTO TEÓRICO DA PESQUISA	27
3.1. Definição dos termos e indicadores	27
Intensidade de corrente e tensão	27
Tempo de execução da soldadura	27
Gás de protecção	28
Geometria da junta a soldar	29
Taxa de depósito	30
Eficiência do depósito	30
Tipo de consumível	30
Taxa horária	31
Factor do operador	31
4. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E SUA ANÁLISE	33
GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passe simples	33
FCAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,6 - passe simples	35
GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passes múltiplos	37
5. CONFRONTAÇÃO E ANÁLISE DOS VALORES TABELADOS FACE AOS ENSAIOS REALIZADOS	41
6. CUSTOS VERIFICADOS - INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS	43
GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passe simples	43
FCAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,6 - passe simples	45
GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passes múltiplos	46
7. CONCLUSÕES	51
8. ESTUDOS E PESQUISAS ANTERIORES	59
8.1. Morimoto, T. "Developments in Flux-Cored Wire for Gas-Shielded Arc Welding". <i>Kobelco Technology Review No. 26, Dec. 2005</i>	59



8.2.	The Lincoln Electric Co. “MIG vs. Flux-Cored: Which Welding Process Is Right for You?”.	65
8.3.	Ingalls Shipbuilding, Inc. <i>Evaluation of the Fillet Weld Shear Strength of Flux Cored Arc Welding Electrodes</i> . The National Shipbuilding Research Program, Sep. 1989.	71
8.4.	The Lincoln Electric Co., Lee, K. <i>Increasing Productivity with a FCAW Wire Optimized for Your Application</i> .	73
8.5.	<i>A Guide To Estimating the Consumption of Welding Consumables</i> .	76
9.	NOTAS FINAIS	79
10.	RECOMENDAÇÕES E/OU SUGESTÕES	83
	GLOSSÁRIO	85
	BIBLIOGRAFIA	89
	NETGRAFIA	93
	ÍNDICE DE FIGURAS	95
	ÍNDICE DE TABELAS	99
	ANEXOS	101





1. INTRODUÇÃO

Na indústria metalomecânica, sector sobre o qual assenta este trabalho, fruto da cada vez maior concorrência vinda de economias emergentes, torna-se imperioso reduzir os custos nas diversas fases envolvidas no fabrico dos seus produtos. Isto é, produzir com a maior qualidade, no menor tempo e com o menor custo possível. No entanto, a vertente da indústria metalomecânica sobre a qual se centra este estudo não está virada para um fabrico em série, onde as peças produzidas seguem uma matriz de laboração previamente definida e repetitiva. Contrariamente, no caso em questão cada fabrico é muito particular, apresentando uma variedade de espessuras de materiais, de tipos de juntas e de posições de soldadura. Assim, a automatização dos processos de soldadura a usar não será, no tempo presente, um bom ponto de partida. Apesar disso, canalizar esforços que conduzam a uma mecanização ou semi-automatização dos processos de soldadura e à utilização de consumíveis de soldadura mais eficientes, levam a significativas reduções dos custos envolvidos.

Desta forma, um bom começo será definir a qualidade dos materiais e a quantidade de peças a soldar, bem como o comprimento total de soldadura em jogo, tipos de juntas de soldadura mais adequadas e sua preparação, a qualidade requerida da junta soldada e os requisitos necessários para a execução da soldadura propriamente dita. No entanto, ao avaliarem-se os itens atrás descritos, estar-se-á, de alguma forma, a seleccionar um processo de soldadura, ou, pelo menos, a reduzir as hipóteses em causa. Assim, a selecção de um processo de soldadura envolve diversos passos.

ANÁLISE DOS REQUISITOS DA JUNTA DE SOLDADURA

Quando a economia é um objectivo primordial, é necessário determinar a junta de soldadura e encaixá-la num dos quatro campos (Figura 1): rápido enchimento (*fast-fill*), rápido arrefecimento (*fast-freeze*), rápida progressão (*fast-follow*) e penetração (*penetration*).

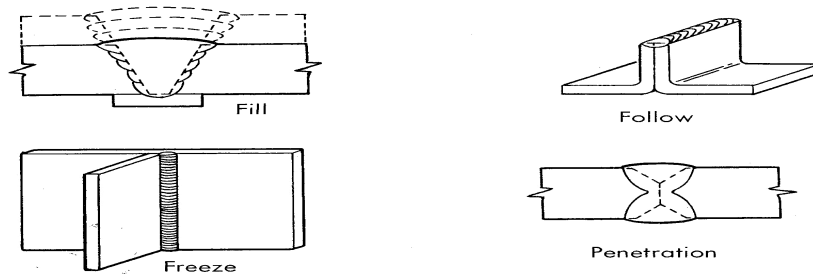


Fig. 1: Requisitos de uma junta de soldadura

Fonte: The Procedure Handbook of Arc Welding. The Lincoln Electric Company, 1994

No primeiro campo, é necessária uma alta taxa de depósito para permitir o enchimento rápido da junta. No segundo, a junta está numa posição de difícil execução, necessitando-se de uma rápida solidificação do banho de fusão. O terceiro impõe que o banho de fusão permita uma velocidade de soldadura elevada. Já no último, torna-se necessária uma boa penetração face à junta apresentada. Na Figura 2, pode-se avaliar quais os requisitos mais influentes em função do tipo de junta de soldadura.

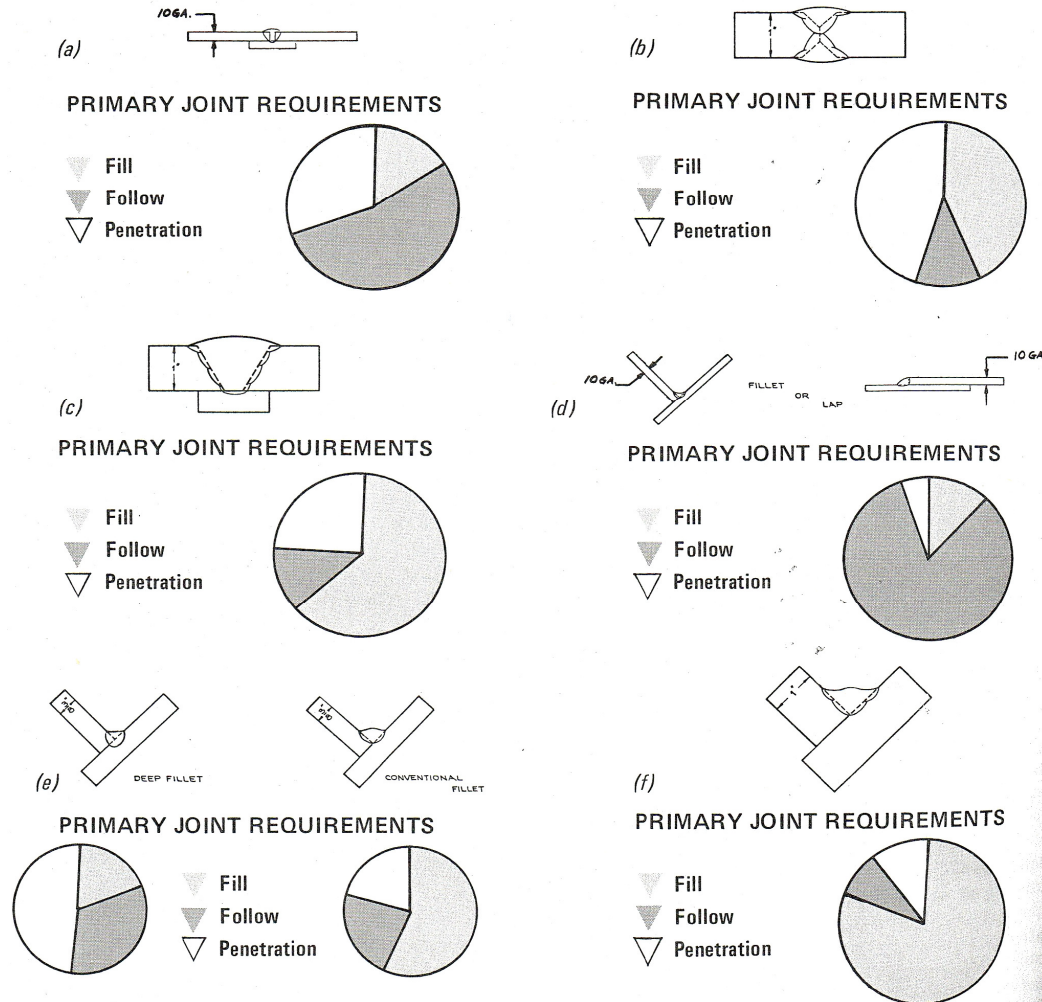


Fig. 2: Necessidades em função do tipo de junta de soldadura

Fonte: *The Procedure Handbook of Arc Welding. The Lincoln Electric Company, 1994*

Apesar disso, por vezes, não é fácil optar por um tipo de junta de soldadura em detrimento de outro. Nessas situações, o peso do material depositado deve ser tido em consideração e actuar como “desempate”. Exceptua-se o caso em que se necessita de um rápido arrefecimento, que é um factor prevalecte, sem discussões, sobre todos os outros.



ADEQUAR A JUNTA AO PROCESSO DE SOLDADURA

Normalmente, a documentação técnica dos fabricantes de equipamentos de soldadura dá-nos informação respeitante aos processos e juntas mais adequados. Apesar disso, a tarefa de escolha do processo mais viável não é nada fácil. Nesta fase, recorrer a alguém experiente poderá ser bastante útil. Mas não só; avaliar valências do equipamento e diversidade de opções, bem como as qualificações necessárias para os operadores de soldadura, não deverão ser esquecidos.

LISTA DE VERIFICAÇÕES

Os tópicos a seguir abordados podem ter menor ou maior importância em função do ramo de actividade em que se insere a empresa. Apesar disso, todos devem ser verificados:

- O volume da produção justificando o custo da implementação do processo de soldadura;
- Especificações e requisitos da soldadura necessários e adequados à empresa;
- Aquisição de conhecimentos por parte dos operadores de soldadura sobre técnicas operatórias;
- Necessidade, ou não, de equipamentos ou dispositivos auxiliares ao equipamento base (caso da potência eléctrica instalada na empresa);
- Condições usuais e/ou necessárias do metal base (presença de óleos, por exemplo);
- Visibilidade do arco eléctrico desejável/indesejável;
- Requisitos necessários de posicionamento e maneabilidade do equipamento;
- Entraves à produção, pois, equipamentos muito sofisticados, que necessitem de mão-de-obra muito especializada para efectuar reparações, transportam elevados custos e quebras no processo produtivo.

ESCLARECIMENTOS COM FABRICANTES

À primeira vista, poder-se-á considerar este tópico como redundante face aos anteriores. No entanto, apesar de o representante da empresa compradora ser quem melhor conhece as suas necessidades, recorrer aos aprofundados conhecimentos do fabricante do equipamento poderá ajudar a dissipar algumas dúvidas, ou até aclarar algumas ideias.

Assim, os pontos atrás sucintamente descritos auxiliam a decisão de implementação de qualquer processo de soldadura.



1.1 CONTEXTO ECONÓMICO E DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Numa empresa do ramo da metalomecânica, os custos envolvidos na soldadura são, basicamente, os montantes combinados do material e da laboração. Os primeiros apresentam uma fatia bastante pequena (cerca de 20% a 30%) do total. Aqui são englobados o consumível de soldadura, o gás de protecção, caso se utilize, e outros consumíveis, tais como discos de rebarbar. Por sua vez, os custos traduzidos pela laboração são a “fatia de leão” dos encargos relacionados com a soldadura. Constituem os custos envolvidos com a mão-de-obra, seja ela operacional ou de supervisão, amortização do equipamento de soldadura e suas reparações, manutenção das instalações, ou até mesmo iluminação e/ou aquecimento.

Sendo a soldadura numa empresa da área um tema bastante abrangente e de crucial importância, tornar-se-ia bastante moroso e de difícil conclusão e análise efectuar este trabalho sem balizar e centrar estudos a efectuar.

A indústria metalomecânica média/pesada utiliza, maioritariamente, aços ao carbono de construção de espessuras consideráveis (acima de 6 mm), recorrendo a processos de soldadura mecanizados ou semi-automáticos, utilizando posições de soldadura o mais estáveis possível, com facilidade de execução sem necessitar de movimentar as peças a soldar, geralmente, de grandes dimensões e peso. Partindo deste princípio, optou-se por realizar esta investigação focalizada em: provetes de espessura de 20 mm, na qualidade S 355 JR, formando uma junta de canto na posição ao baixo, de forma a executar-se uma soldadura com fio consumível contínuo recorrendo a uma máquina semi-automática, com as variantes de o consumível ser sólido ou fluxado.

Pretende-se, com este estudo, desenvolver com bons resultados um método, embora não linear, de selecção do melhor processo de soldadura sob o ponto de vista económico-productivo, utilizando consumível contínuo para efectuar determinado trabalho. No entanto, diversos parâmetros devem ser tidos simultaneamente em consideração.

Como atrás foi focado, a soldadura e os seus custos são parte importante nos gastos de uma empresa do ramo da metalomecânica. Embora esse montante possa ser reduzido usando-se técnicas e processos de fabrico actualizados, terá de haver sempre um compromisso estreito entre investimento e rentabilidade. No caso concreto do tema deste trabalho, sendo evidentes as diferenças de preço entre os consumíveis sólidos e os consumíveis fluxados, em que estes podem ser 2 a 3 vezes mais caros, numa primeira análise não se deverá decidir o uso deste ou daquele processo de soldadura apenas e só pelo **custo do consumível de soldadura**.



2. METODOLOGIA

Ao realizarem-se os ensaios recorrendo aos dois processos de soldadura já mencionados (GMAW e FCAW), a Tabela 1 sintetiza o estudo desenvolvido.

Passe Simples			Passe Múltiplo							
FCAW Ø1,6	FCAW Ø1,2	GMAW Ø1,2	FCAW Ø1,2				GMAW Ø1,2			
			1	2	3	4	1	2	3	4
Passes: 1 – passe de raiz 2, 3, 4 – passes de enchimento										

Tab. 1: Resumo dos testes realizados

No decorrer de cada soldadura, diversos parâmetros foram registados, tais como:

- Tensão (v);
- Intensidade de corrente (A);
- Tempo de execução da soldadura (min.seg.cent);
- Caudal de gás (l/min);
- Cateto do cordão efectuado (mm).

Em todos os ensaios efectuaram-se cordões com um comprimento de 1 m, para mais facilmente se estabelecerem comparações e retirarem conclusões através dos resultados apurados.

2.1 TÉCNICAS E MEIOS UTILIZADOS

Neste capítulo, abordar-se-á, de forma sucinta, os dois processos envolvidos no âmbito deste trabalho, bem como as técnicas operatórias de execução, preparação da soldadura e equipamento utilizado. Não se pretendendo efectuar um estudo exaustivo dos processos de soldadura, as suas principais características, vantagens e desvantagens e esquema elucidativo vão ser mencionados por meio de tópicos para uma mais fácil compreensão e comparação.

PROCESSO GMAW

Soldadura semi-automática, vulgarmente designada por soldadura MIG, recorrendo ao uso de gases inertes como o árgon, ou por soldadura MAG, utilizando gases activos como protecção, caso do

dióxido de carbono (Figura 3). Este processo de soldadura poderá também assumir uma designação à escala global de GMAW (*Gas Metal Arc Welding*).

Tem como principal característica o desenvolvimento do arco eléctrico através da energia eléctrica, sendo um processo por fusão com protecção por gás activo ou inerte.

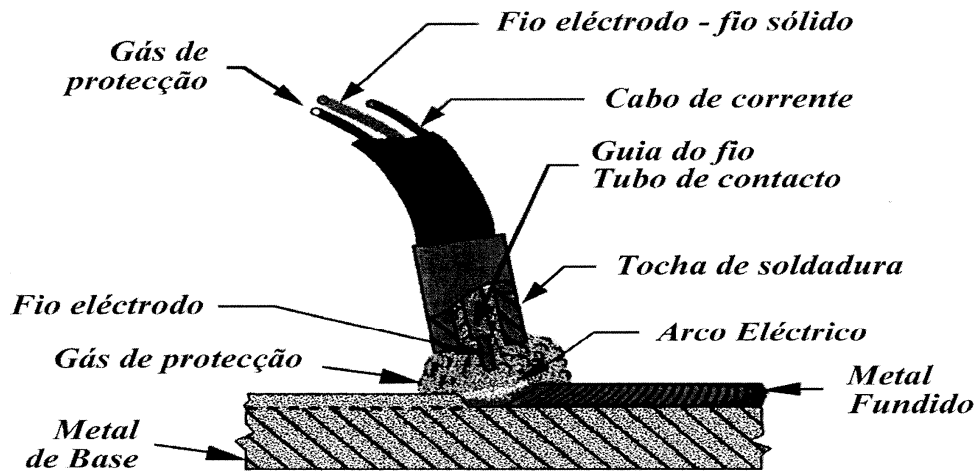


Fig. 3: Esquema de soldadura do processo GMAW

Adaptado de: “Welding Processes - Arc and Gas Welding, Cutting, and Brazing”,
Vol 2. In *Welding Handbook*, 7th Edition. American Welding Society

A protecção é inteiramente conseguida através de um gás, ou mistura de vários gases, protegendo o banho de fusão de eventuais oxidações e/ou contaminações pela atmosfera circundante.

No início do seu desenvolvimento, este processo de soldadura assentava fundamentalmente numa alta intensidade de corrente eléctrica e pequeno diâmetro do electrodo consumível (1-2 mm), sendo a protecção efectuada por um gás inerte. Desde então, pesquisas e avanços tecnológicos foram desenvolvidos e associados às necessidades em causa. Exemplo disso é a operação a baixa intensidade de corrente, ocorrendo transferência de metal apenas durante curto-circuitos ou recorrendo a impulsos directos de corrente.

Tipos de Transferências

O uso de gases inertes como protecção permite a utilização de uma alta intensidade de corrente e polaridade inversa, isto é, ligação ao terminal positivo, bem como a utilização de fio consumível de alumínio, conduzindo à estabilização do arco eléctrico. Ao mesmo tempo, a transferência de metal tende a ser como um *spray* de pequenas gotas de metal fundido e vapor (**transferência em chuva**) (Figura 4).

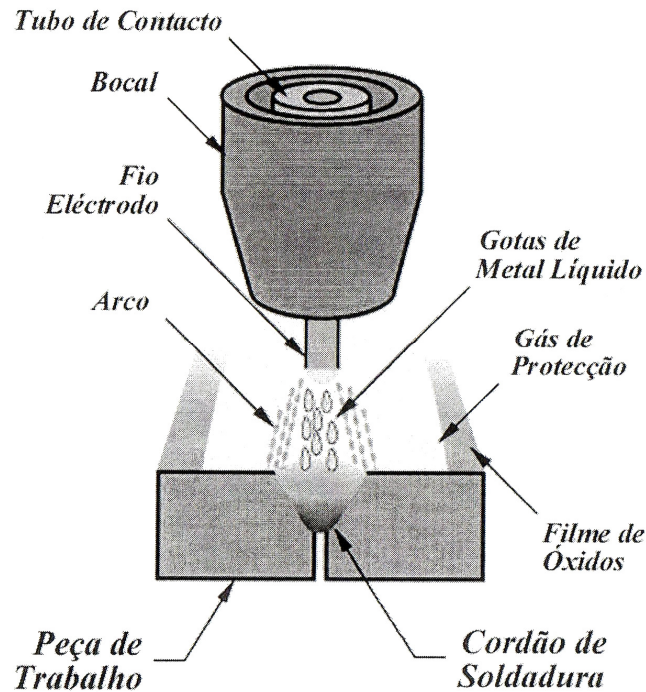


Fig. 4: Transferência em chuva

Adaptado de: “Welding Processes - Arc and Gas Welding, Cutting, and Brazing”,
Vol 2. In Welding Handbook, 7th Edition. American Welding Society

Este tipo de transferência é caracterizado por um arco abrangente e bem definido, incandescente e cónico. A transferência de metal é influenciada, principalmente, pelas forças electromagnéticas verificadas no fio eléctrodo fundido e no arco. As ocorridas neste último originam a vaporização do metal na extremidade do eléctrodo. Verifica-se um fenómeno de estrição por acção da alta intensidade de corrente em jogo, originando o “chuveiro” do metal fundido. É o tipo de transferência aconselhado para soldaduras que requeiram altas taxas de depósito, caso das soldaduras ao baixo.

Já no caso da **transferência globular**, associada a baixa intensidade de corrente, as gotas tendem a transformar-se em grandes glóbulos, movimentando-se desordenadamente e conduzindo a uma menor penetração (Figura 5).

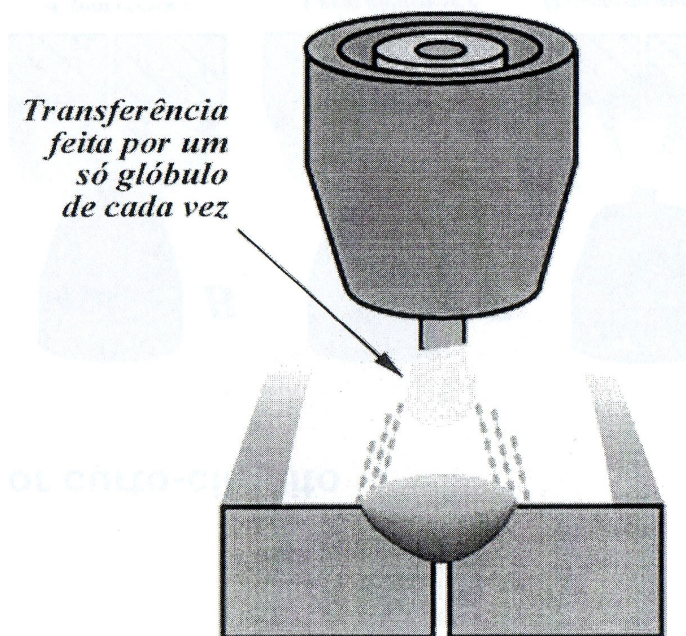


Fig. 5: Transferência globular

*Adaptado de: "Welding Processes - Arc and Gas Welding, Cutting, and Brazing",
Vol 2. In Welding Handbook, 7th Edition. American Welding Society*

Devido a fenómenos de tensões superficiais, o glóbulo mantém-se junto à extremidade do fio, aumentando gradualmente o seu tamanho devido à fusão do eléctrodo, caindo por acção da gravidade quando atinge determinado volume. Há instabilidade do arco quando a gota se destaca, originando salpicos apreciáveis. Conseguem-se menores taxas de depósito que no caso anterior, embora seja mais aconselhável o seu uso em soldaduras na posição vertical descendente.

A transferência em chuva está mais bem adaptada à soldadura de peças com alguma espessura, enquanto a **transferência por curto-circuito** é aconselhada na soldadura de peças de baixa espessura ou à posição (ao tecto). No entanto, a transferência em chuva com polaridade directa, aplicada a soldaduras semelhantes às anteriores, consegue resultados razoáveis.

Na transferência por curto-circuito (Figura 6) verifica-se uma diminuição do arco eléctrico, consequência do aumento da dimensão da gota. Com o aumento da gota, o contacto com o metal base ocorre, originando um aumento da intensidade de corrente e verificando-se a sua estricção e respectivo desprendimento.

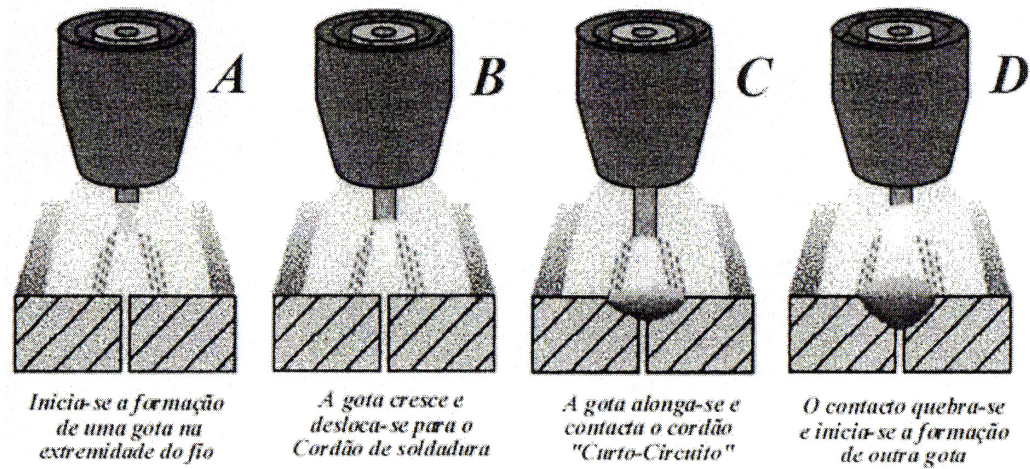


Fig. 6: Transferência por curto-circuito

Adaptado de: "Welding Processes - Arc and Gas Welding, Cutting, and Brazing",
Vol 2. In Welding Handbook, 7th Edition. American Welding Society

É um tipo de transferência que poderá originar colagens na junta soldada, fruto da diminuição de calor desenvolvido durante a interrupção do arco.

Já no caso da **transferência por arco pulsado** (Figura 7), através de impulsos na intensidade de corrente, dá-se a estricção destacando-se a gota. A intensidade média de corrente registada é mais baixa, conduzindo a menores rendimentos, mas, em contrapartida, consegue-se um melhor controlo da soldadura. Há uma maior estabilidade do arco, originando menor necessidade de limpeza e, consequentemente, havendo menor probabilidade de defeitos.

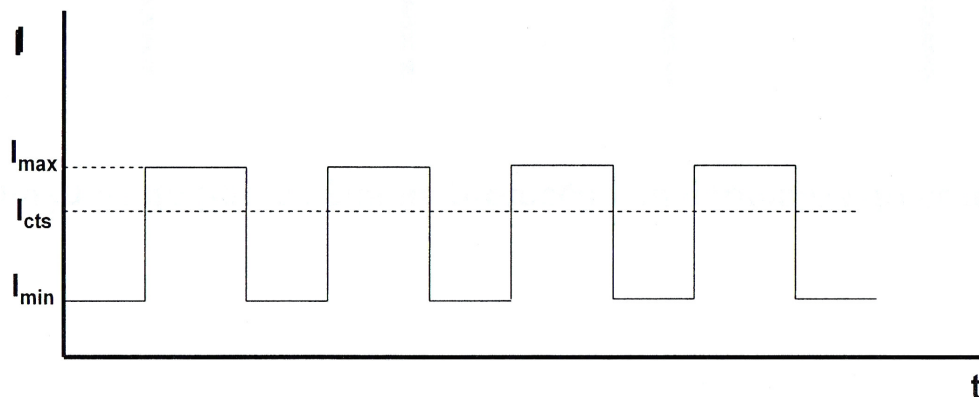


Fig. 7: Transferência por arco pulsado

Adaptado de: "Welding Processes - Arc and Gas Welding, Cutting, and Brazing",
Vol 2. In Welding Handbook, 7th Edition. American Welding Society



Em suma, o metal pode ser transferido do eléctrodo para o metal base de duas formas: na forma de gotas destacadas do fio através do arco eléctrico (transferência em chuva, globular e por arco pulsado), ou quando o eléctrodo toca o metal base (transferência por curto-circuito).

A forma, tamanho e movimento das gotas entre o eléctrodo e o metal base são determinados por diversos factores:

- Tipo de corrente eléctrica (contínua ou alternada);
- Intensidade da corrente eléctrica;
- Composição do eléctrodo;
- Comprimento do eléctrodo entre o contacto eléctrico e a descarga do arco;
- Presença de vários materiais na superfície do eléctrodo;
- Composição do gás de protecção.

Do mesmo modo, a transferência por curto-circuito é influenciada por diversos parâmetros, entre eles:

- Características do equipamento de soldadura, muito especialmente a sua capacidade de resposta a variações de intensidade de corrente;
- A intensidade de corrente;
- Comprimento, composição e diâmetro do eléctrodo;
- Composição do gás de protecção.

Fontes de Potência

Três tipos de fontes de potência podem ser usados na soldadura GMAW: tensão decrescente, tensão constante e tensão crescente. Distinguem-se entre si pela relação intensidade de corrente/tensão. No primeiro caso, **tensão decrescente**, como o próprio nome indica, a tensão decresce com o aumento da intensidade de corrente. O tipo **tensão constante** caracteriza-se pela manutenção/ligeiro decréscimo da tensão à medida que a intensidade aumenta. Por último, o tipo **tensão crescente** assenta no aumento da tensão à medida que a intensidade também aumenta.

No entanto, os dois primeiros tipos são os mais comuns, representados, respectivamente, por curvas tombantes e planas, características do equipamento de soldadura. As últimas são preferíveis, pois conduzem a uma auto-regulação da máquina, isto é, verifica-se uma tendência para a regulação do comprimento do arco pré-estabelecido, em função da variação da distância entre o eléctrodo e o metal base. O equipamento de soldadura cujo funcionamento é caracterizado por curva plana é aconselhado para processos de soldadura manual, conferindo maior liberdade ao operador de soldadura aquando do



posicionamento do eléctrodo. No entanto, a auto-regulação pode originar colagens quando o arco eléctrico não acompanha o banho de fusão, verificando-se um atraso ou avanço do mesmo.

Gases de Protecção

Além das funções atrás descritas, diversos outros factores afectam a escolha do gás de protecção:

- Características do arco e da transferência de metal durante a soldadura;
- Penetração, largura e forma do cordão de soldadura;
- Velocidade de soldadura.

Em geral, misturas de argón com dióxido de carbono em diferentes proporções são usadas na soldadura de aços ao carbono. Por outro lado, na soldadura de aços inoxidáveis, utiliza-se o argón juntamente com o oxigénio. Por sua vez, o hélio está associado à soldadura do alumínio e suas ligas, bem como ao cobre e suas ligas. Outros gases, como o nitrogénio, podem ser usados em diversos tipos de soldadura, mas os mais usuais são os anteriormente mencionados.

O argón, o hélio, ou misturas de ambos, sendo gases inertes, são usados geralmente na soldadura de materiais não ferrosos. No entanto, devido às suas propriedades, diversas variáveis de soldadura são afectadas com a sua utilização.

O hélio tem uma superior condutividade térmica comparativamente ao argón. Conforme ilustra a Figura 8, para o mesmo comprimento de arco e intensidade de corrente eléctrica, a tensão é superior com o uso do hélio em vez do argón como gás de protecção.

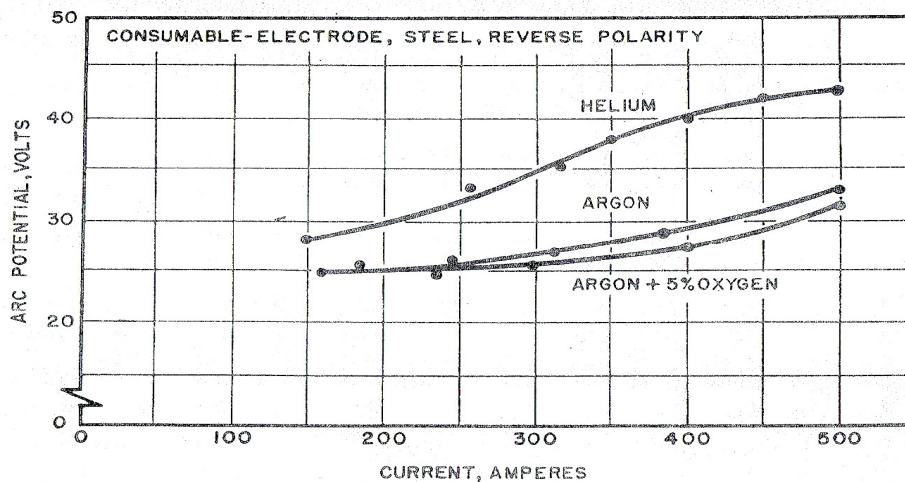


Fig. 8: Características do arco em função do gás de protecção

Fonte: Phillips, AL (Ed.). "Welding Processes: Gas, Arc and Resistance",
Section 2. In *Welding Handbook*, 6th Edition. American Welding Society



Consequentemente, maior calor é desenvolvido com a utilização de hélio em vez de argon. Assim, o primeiro é preferível aquando da realização de soldaduras de peças com espessura considerável, ou quando a sua condutividade térmica é elevada, caso do alumínio, cobre e suas ligas. Contrariamente, no caso de soldaduras de metais com baixa condutividade térmica, ou na posição ao baixo, o argon é mais vantajoso devido a uma menor concentração de calor.

Apesar disso, o uso de argon, hélio, ou misturas de ambos, como gases de protecção na soldadura de metais ferrosos, conduz a uma deficiente transferência de metal e os salpicos tornam-se mais evidentes. Assim, a adição de oxigénio ou dióxido de carbono estabiliza o arco, melhora a transferência de metal e reduz os salpicos, embora a percentagem de adição deva ser cuidada, pois os factores benéficos atrás mencionados podem perder-se, acentuando-se os seus efeitos negativos na soldadura. Em suma, o volume de cada um deve ser tido em conta em função da geometria da junta, posição de soldadura, composição do metal base ou da técnica de soldadura (ver Capítulo 3.1. – Gás de Protecção).

Ficou demonstrado que a escolha de um gás de protecção na soldadura com protecção gasosa (GMAW) depende do metal a ser soldado, sua espessura, requisitos de qualidade e metalúrgicos, e custo. Na Tabela 2 está sintetizada a selecção de um gás de protecção para o caso de uma transferência em chuveiro numa soldadura com protecção gasosa.

Metal	Shielding Gas	Advantages
Aluminum	Argon 35% Argon- 65% Helium 25% Argon- 75% Helium	0-1 in. thick: Best metal transfer and arc stability; least spatter. 1-3 in. thick: Higher heat input than straight argon. 3 in. + in thickness: Highest heat input; minimizes porosity.
Magnesium	Argon	Excellent cleaning action.
Carbon Steel	Argon-Oxygen (3-5%) Carbon Dioxide	Improves arc stability; produces a more fluid and controllable weld puddle; good coalescence and bead contour; minimizes undercutting; permits higher speeds, compared with argon. High-speed mechanized welding; low-cost manual welding.
Low-Alloy Steel	Argon-Oxygen (2%)	Eliminates undercutting; provides good toughness.
Stainless Steel	Argon-Oxygen (1%) Argon-Oxygen (2%)	Improves arc stability; produces a more fluid and controllable weld puddle, good coalescence and bead contour; minimizes undercutting on heavier stainless steels. Provides better arc stability, coalescence and welding speed than 1% oxygen mixture for thinner stainless steel materials.
Copper, Nickel and their Alloys	Argon Argon-Helium	Provides good wetting; decreases fluidity of weld metal (for thicknesses up to 1/8 in.). Higher heat inputs of 50 and 75% helium mixtures offset high heat conductivity of heavier gages.
Titanium	Argon	Good arc stability; minimum weld contamination. Inert gas backing is required to prevent air contamination on back of weld area.

Tab. 2: Selecção do gás de protecção no caso da transferência em chuveiro

Fonte: Phillips, AL (Ed.). "Welding Processes: Gas, Arc and Resistance",
Section 2. In *Welding Handbook*, 6th Edition. American Welding Society



Eléctrodos

Os eléctrodos usados na soldadura GMAW (Tabela 3) são de pequeno diâmetro, comparativamente aos usados noutros processos de soldadura. Fruto do seu pequeno diâmetro e das consideráveis intensidades de corrente em jogo neste processo de soldadura, a sua fusão dá-se com bastante rapidez. Assim, os eléctrodos usados neste processo de soldadura devem ser longos e contínuos e ter alguma rigidez, para permitir o seu fácil e rápido percurso através do equipamento de soldadura.

Base Metal Type	Specific Alloy to be Welded	Type of Electrode	Electrode Diameter* (In.)	Current Ranges* (Amperes)	Electrode Specifications		
					AWS	ASTM	Military
Aluminum and its Alloys	1100 3003, 3004 5052 5454 5083, 5084, 5456 6061	1100 or 4043 1100 or 5356 5554 or 5356 5554 or 5356 5183, 5556 or 5356 4043 or 5356	0.030 $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{8}$ $\frac{3}{16}$ $\frac{1}{2}$	50-175 90-250 160-350 225-400 350-475	A-5.10-61	B-285-61	MIL-E-16053*
Magnesium Alloys	AZ10A AZ31B, AZ61A, AZ80A ZE10A ZK21A AZ63A, AZ81A, AZ91C, AZ92A, AM100A HK31A HM21A HM31A LA141A	AZ61A, AZ92A AZ61A, AZ92A AZ61A, AZ92A AZ92A EZ33A EZ33A EZ33A LA141A; EZ33A	0.040 0.045 $\frac{1}{8}$ $\frac{1}{4}$	180-280 220-280 240-390 330-420	A-5.19-66	B-448-66	MIL-W-6944
Copper	Deoxidized copper	Deoxidized copper Silicon—0.25% Tin—0.75% Manganese—0.15%	$\frac{1}{8}$	300-470	A-5.7-66†	B-259-66†	MIL-R-19631†
Copper-Nickel Alloy	Cu-Ni alloy 70-30 90-10	Titanium: Deoxidized 70-30 Cu-Ni 70-30 or 90-10	$\frac{1}{8}$	250-300	A5.7-66†	B-259-66†	MIL-R-19631†

*Applicable only to gas metal-arc welding.
†Applicable only to gas tungsten-arc welding.

Base Metal Type	Specific Alloy to be Welded	Type of Electrode	Electrode Diameter (In.)	Current Ranges (Amperes)	Electrode Specifications		
					AWS	ASTM	Military
Bronzes	Manganese bronze Aluminum bronze Nickel-aluminum bronze Tin bronze	Aluminum bronze Aluminum bronze Aluminum bronze Phosphor bronze	$\frac{1}{8}$ $\frac{3}{16}$	225-300 275-350	A-5.7-66†	B-259-66†	MIL-R-19631†
Nickel and Nickel Alloys	Nickel Nickel-copper (Monel) Nickel-chromium iron (Inconel)	Similar to base metal, titanium deoxidized (see supplier)	0.035 0.045 $\frac{1}{8}$	100-150 150-260 100-400	A-5.14-64	B-304-64	MIL-E-21562
Carbon Steels	Hot- or cold-rolled sheet or plate. ASTM A7, A36 A285, A373 or equivalent	Deoxidized carbon manganese steel	0.030 0.035 0.045 $\frac{1}{8}$ $\frac{3}{16}$	50-160 75-250 100-350 300-450 350-500	A-5.18-65*	A-559-65*	MIL-E-23765/1
Low-alloy Steels	Hot- or cold-rolled sheet or plate of various grades	Deoxidized low-alloy steel	0.030 0.035 0.045 $\frac{1}{8}$	50-160 75-250 100-350 300-450			MIL-E-22765/2 MIL-E-19822*
Stainless Steels	302, 304 321, 347 309, 310 316, etc.	Electrode to match base alloy	0.030 0.035 0.045 $\frac{1}{8}$	75-160 100-160 140-310 280-350	A-5.9-62	A-371-62	MIL-E-19933

*Applicable only to gas metal-arc welding.
†Applicable only to gas tungsten-arc welding.

Tab. 3: Consumíveis recomendados para a soldadura GMAW

Fonte: Phillips, AL (Ed.). "Welding Processes: Gas, Arc and Resistance", Section 2. In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society



Devido ao seu pequeno diâmetro, o eléctrodo tem uma elevada relação superfície-volume. Desta forma, a mais pequena presença de sujidade ou impurezas na superfície do metal base será bastante superior ao diâmetro do próprio eléctrodo. A sua baixa resistência à contaminação condiciona, algumas vezes, a utilização deste processo de soldadura.

Hoje em dia, a sua produção já consegue, com resultados satisfatórios, diminuir os efeitos da contaminação. O uso de uma fina camada de cobre na cobertura exterior do eléctrodo melhora o contacto eléctrico e a resistência à corrosão.

Em conclusão, as características mecânicas e propriedades metalúrgicas dos eléctrodos devem ser, em geral, semelhantes às do metal base, podendo ser-lhes adicionado algum elemento para melhorar diversas características. No entanto, as características da junta de soldadura devem ser tidas em consideração após combinação do eléctrodo com o metal base. Devem ser sempre protegidos e mantidos limpos.

Vantagens e Desvantagens

O processo GMAW apresenta como vantagens o facto de ser um processo de soldadura semi-automático e de maior produtividade, quando comparado com o processo de soldadura por eléctrodos revestidos. Tem uma alimentação contínua de consumível, sendo facilmente automatizado.

No entanto, tem como desvantagens a limitada utilização quando se está na presença de vento, baixa tolerância à contaminação e necessita de equipamentos demasiado volumosos e de difícil mobilidade.

PROCESSO FCAW

Soldadura por fios fluxados, também designada por FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) (Figura 9).

Este processo foi desenvolvido para a soldadura de materiais ferrosos, sendo uma das suas principais características o desenvolvimento do arco eléctrico através da energia eléctrica, à semelhança do processo GMAW. É também um processo por fusão, com protecção por fluxo colocado no interior do arame consumível e/ou gás ou mistura de gases.

O fluxo origina uma cobertura de escória de protecção após fusão, à semelhança do processo de soldadura por eléctrodos revestidos (SMAW), desoxida e limpa o metal a soldar, melhorando, assim, o depósito e a estabilização do arco.

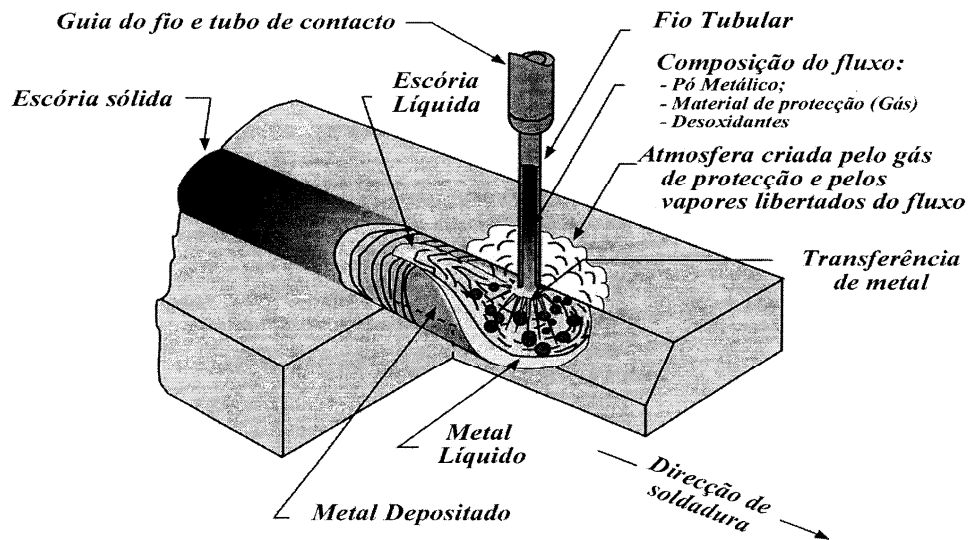


Fig. 9: Esquema de soldadura do processo FCAW

Adaptado de: "Welding, Cutting and Related Processes", Section 3B.

In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society

Metalurgia do processo de soldadura por fios fluxados

Uma parte do fluxo auxilia a desoxidação, pois os seus elementos combinados com o oxigénio existente na soldadura formam componentes que se vão alojar na superfície da soldadura, fazendo parte da escória. O uso de elementos desnitrificantes no fluxo conduz à remoção de nitrogénio e nitritos indesejáveis na soldadura.

A desoxidação e a associação de elementos têm uma grande influência na estrutura metalúrgica e nas propriedades mecânicas do metal soldado.

Classificação dos eléctrodos fluxados

O sistema de classificação dos eléctrodos fluxados (Tabela 4 e 5) segue, de uma forma geral, o método usado com qualquer outra classificação de consumíveis AWS (*American Welding Society*).

Como exemplo, uma designação típica e usual de um eléctrodo E70T-1, significa:

- E: o consumível é um eléctrodo;
- 70: a tensão de rotura da soldadura será de 70 psi (483 MPa);
- T: construção tubular do eléctrodo;
- 1: o metal depositado terá uma composição química determinada de acordo com o grupo 1.



AWS Classification	Chemical Composition, Percent									
	Carbon	Man-ganese	Silicon	Phos-phorus	Sulfur	Nickel	Chrom-ium	Molyb-denum	Vanad-ium	Alumi-num
E-60T-7	---	1.50	0.90	---	---	0.50	0.20(a)	0.30(a)	0.08(a)	1.8
E-60T-8	---	1.50	0.90	---	---	0.50	0.20(a)	0.30(a)	0.08(a)	1.0
E-70T-1	---	1.75	0.90	---	---	0.30(a)	0.20(a)	0.30(a)	0.08(a)	---
E-70T-2	}	No Chemical Requirements								
E-70T-3										
E-70T-4	---	1.50	0.90	---	---	0.50	0.20(a)	0.30(a)	0.08(a)	1.8
E-70T-5	---	1.50	0.90	---	---	0.30(a)	0.20(a)	0.30(a)	0.08(a)	---
E-70T-6	---	1.50	0.90	---	---	0.80	0.20(a)	0.30(a)	0.08(a)	---
E-70T-G	---	No Chemical Requirements								

(a) These elements may be present but are not intentionally added.

Tab. 4: Composição química dos consumíveis fluxados
Fonte: "Welding, Cutting and Related Processes", Section 3B.
In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society

AWS Classification	Radiographic Test	Type of Shield	Current & Polarity	Tensile Strength psi	Yield Strength psi	Elongation in 2 in	Tension Test	Longitudinal Guide Bend	Minimum V-Notch Impact
E60T-7	required	None	d-c, straight polarity	67,000	55,000	22	All Weld	---	---
E60T-8	required	None	d-c, reverse polarity	62,000	50,000	22	All Weld	---	20 ft-lb @ 0°F
E70T-1	required	CO ₂		72,000	60,000	22	All Weld	---	20 ft-lb @ 0°F
E70T-2	---	CO ₂		72,000	---	---	Transverse	required	---
E70T-3	---	None		72,000	---	---	Transverse	required	---
E70T-4	required	None		72,000	60,000	22	All Weld	---	---
E70T-5	required	CO ₂ None		72,000	60,000	22	All Weld	---	20 ft-lb @ -20°F
E70T-6	required	None		72,000	60,000	22	All Weld	---	20 ft-lb @ 0°F
E70T-G	---	not spec		not spec	72,000(s) 72,000(m)	60,000	22	Transverse All Weld	---

(s) Requirement for single pass only electrodes.

(m) Requirement for multiple pass electrodes.

Tab. 5: Propriedades mecânicas e testes aos consumíveis fluxados
Fonte: "Welding, Cutting and Related Processes", Section 3B.
In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society



As propriedades das soldaduras realizadas com eléctrodos fluxados irão variar consideravelmente, dependendo da dimensão e composição do eléctrodo, parâmetros de soldadura utilizados, espessura do material base, geometria da junta, pré-aquecimento e temperatura entre passes, estado da superfície do material base e sua composição, e o uso, ou não, de gás de protecção.

Equipamento de soldadura

O equipamento para operar com o processo de soldadura com fios fluxados com ou sem protecção gasosa é semelhante, apenas sendo necessário, no primeiro caso, o dispositivo para fornecer e dosear o gás de protecção.

A fonte de potência recomendada é de corrente contínua (DC) de tensão constante. No entanto, um equipamento usado na soldadura GMAW poderá ser usado na soldadura FCAW.

Variáveis do processo

A taxa de depósito, geralmente expressa em quilogramas de material depositado na soldadura por hora, depende essencialmente do diâmetro do eléctrodo, sua composição, intensidade da corrente eléctrica (Figura 10) e da distância entre a extremidade do bocal da tocha de soldadura e a extremidade do fio consumível (*stickout*).

Pela análise do gráfico seguinte, pode ser concluído que os eléctrodos de diâmetro superior a 3/32" (2,4 mm) estão limitados ao uso de posições ao baixo ou na horizontal. Por sua vez, eléctrodos de diâmetro inferior a 5/64" (2 mm) poderão operar com bons resultados a baixas intensidades de corrente e à posição.

A eficiência do depósito, definida como a taxa de metal depositado em função dos quilogramas de eléctrodo consumido, para o caso da soldadura com fios fluxados com protecção gasosa oscila entre 80% e 90%.

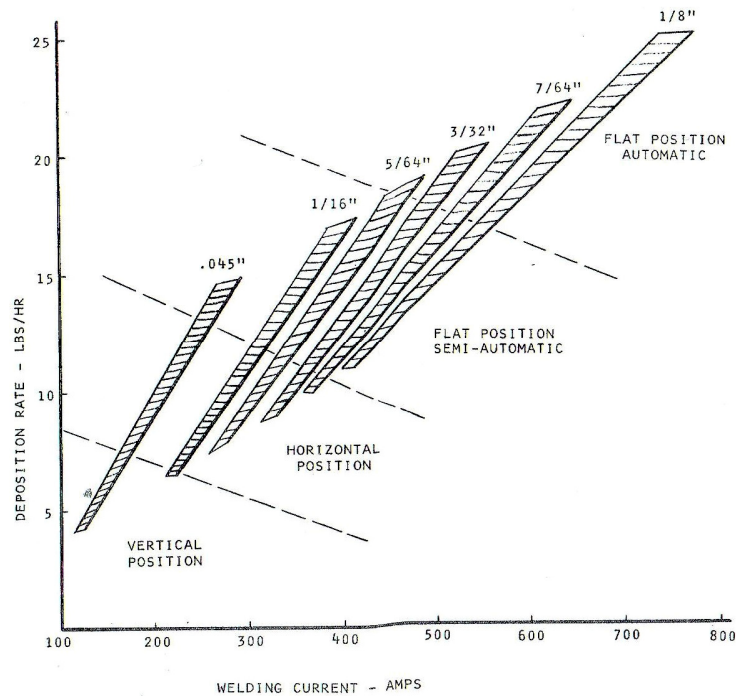


Fig. 10: Taxa de depósito vs. intensidade de corrente – eléctrodo fluxado E70T-1

Fonte: “Welding, Cutting and Related Processes”, Section 3B.

In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society

Controlo do processo

A aparência do cordão de soldadura efectuada com fios fluxados com protecção gasosa depende da tensão do arco. Uma alta tensão do arco, isto é, grande comprimento do arco, resulta num cordão de soldadura bastante esbatido, com excessivos salpicos e aparência irregular. Em oposição, uma baixa tensão do arco, ou seja, reduzido comprimento do arco, origina um cordão de soldadura estreito, excessivos salpicos mas também uma deficiente penetração.

A intensidade da corrente eléctrica é proporcional à alimentação do fio consumível, para um determinado diâmetro de eléctrodo, composição e *stickout*.

Uma fonte de potência de tensão constante fornece a intensidade de corrente necessária para fundir o eléctrodo à velocidade de alimentação requerida (Figura 11), mantendo a tensão e, conseqüentemente, o comprimento do arco.

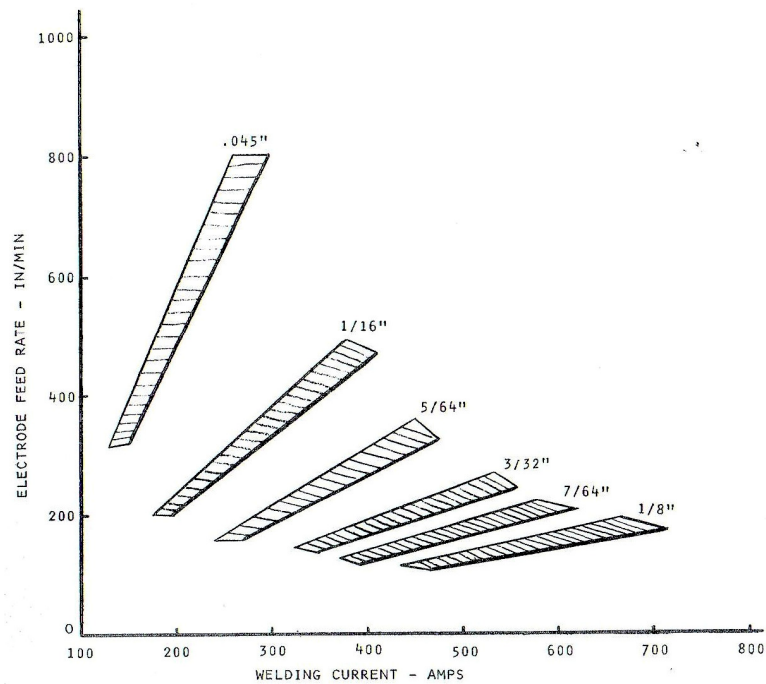


Fig. 11: Velocidade de alimentação do arame vs. intensidade de corrente – eléctrodo fluxado E70T-1

Fonte: “Welding, Cutting and Related Processes”, Section 3B.

In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society

A penetração varia com a intensidade de corrente para um determinado diâmetro do eléctrodo. Desta forma, a taxa de depósito é função da velocidade de alimentação do fio consumível.

Para uma dada velocidade de alimentação do fio consumível, a intensidade de corrente varia inversamente com a variação do *stickout*.

Um ângulo entre 2° e 15° a partir da vertical (Figura 12) e na direcção da soldadura é o mais aconselhado para um eléctrodo para a soldadura com fios fluxados com protecção gasosa. Isto torna-se excepção quando é desejável reduzir a penetração, para o caso de baixas espessuras do metal base.

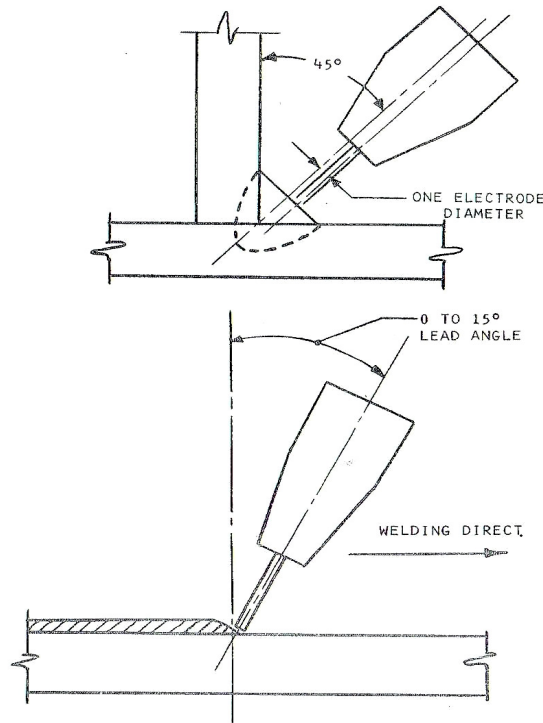


Fig. 12: Ângulo do eléctrodo

*Fonte: "Welding, Cutting and Related Processes", Section 3B.
In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society*

O débito de gás é também uma variável a ter em conta na qualidade da soldadura. Débito inadequado irá originar uma deficiente protecção do arco e do banho de fusão, facilitando o aparecimento de poros. Quando o débito de gás é demasiado elevado, poderá ocorrer turbulência no arco, porosidade e bordos irregulares.

Um débito de gás correcto depende, essencialmente, do diâmetro do bocal, da distância entre este e a peça a soldar, e da circulação de ar exterior à soldadura nas suas imediações.

Assim, o débito de gás aconselhado para uma soldadura com fios fluxados com protecção gasosa deve oscilar entre 10-21 l/min.

Geometria da junta

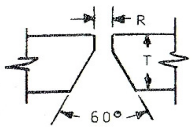
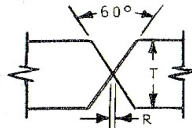
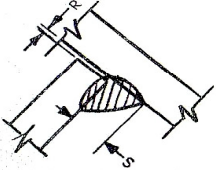
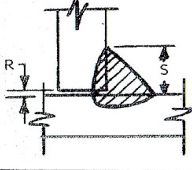
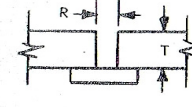
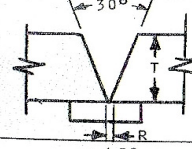
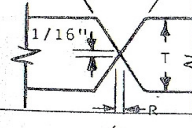
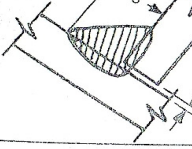
O uso de eléctrodos com diâmetros reduzidos, produzindo finas camadas de escória, conduz a uma selecção da geometria da junta de soldadura (Tabela 6) baseada nos conceitos de profundidade de penetração, ou alto depósito. No entanto, a junta deve assentar nos seguintes pressupostos:



- Um constante *stickout* deve ser mantido desde o primeiro ao último passes, no caso do uso de múltiplos passes;
- Deve permitir um fácil acesso do eléctrodo à raiz da junta.

Joint Design	Plate Thickness T (in)	Root Opening R (in)	Total Passes	Electrode Dia. (in)	Welding Power D.C.R.P.		Rate of Welding Ft. of Joint/Hr.
					Volts	Amps	
Groove welds—flat position (semi-automatic)							
	1/8	1/16	1	5/64	28	325	200
	1/2	1/4	2	3/32	32	450	30
	1/2	0	2	3/32	30	480	35
	1	0	6	7/64	32	525	9.2
	5/8	3/16	3	7/64	32	525	23.3
	1	3/16	6	7/64	32	525	11.7
	5/8	1/8	3	7/64	32	525	26.7
	1	1/8	6	7/64	32	525	11.7
	1	0	6	7/64	32	525	26
	2	0	20	7/64	32	525	6.5
	1	0	4	7/64	32	500	21.4
	2	0	12	7/64	32	500	5.3
Groove weld—horizontal position (semi-automatic)							
	1/2	1/8	6	5/64	28	350	16.7
	1	1/8	18	5/64	28	350	5.0
Groove welds—vertical position (semi-automatic)							
	3/8	0	2	.045	22	180	20
	1/2	0	3	.045	22	180	13.3



Joint Design	Plate Thickness T (in)	Root Opening R (in)	Total Passes	Electrode Dia. (in)	Welding Power D.C.R.P.		Rate of Welding Ft. of Joint/Hr.
					Volts	Amps	
	1/2	3/32	4	.045	22	180	10
	1	3/32	9	.045	22	180	2.8
	1	1/16	6	.045	22	180	6.7
	2	1/16	16	.045	22	180	1.6
	Fillet weld—vertical position (semi-automatic)						
	1/8	0	1	.045	21	180	180
	1/2	0	2	.045	21	180	12
	Fillet weld—horizontal position (semi-automatic)						
	3/16	0	1	5/64	28	350	180
	1/2	0	3	7/64	30	450	30
	Groove welds—flat position (automatic)						
	1/4	1/8	1	3/32	28	475	125
	1/2	1/8	1	7/64	28	550	80
	3/4	0	3	1/8	30	750	45
	1 1/2	1/8	9	1/8	30	750	11
	3/4	0	4	3/32	31	450	44
	2	0	10	1/8	30	750	8.6
	Fillet weld—flat position (automatic)						
	1/2	0	1	1/8	29	700	54
	1	0	5	1/8	30	750	14.2

Tab. 6: Propriedades da junta na soldadura FCAW – eléctrodo E70T-1

Fonte: “Welding, Cutting and Related Processes”, Section 3B.

In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society



Vantagens

- Alta taxa de depósito, alta eficiência do depósito e alto factor do operador;
- Visibilidade do arco;
- Instruções básicas do operador de soldadura e tempo de treino;
- Versatilidade do processo, adaptável a processos semi ou totalmente automáticos;
- Benefício de custos de laboração comparativamente ao processo de soldadura com eléctrodos revestidos (SMAW) ou ao processo de soldadura por arco submerso (SAW);
- Facilmente reproduzido através de radiografia;
- Alta ductilidade e alta tenacidade no caso de soldaduras de aços ligados ou de baixa liga;
- Baixo custo do dióxido de carbono usado como protecção;
- A sua capacidade de penetração pode ser usada com consideráveis reduções no tamanho das soldaduras;
- Boa estabilidade do arco e transferência de elementos de liga numa vasta gama de condições de soldadura;
- Relativa gama de variações da tensão sem perda da capacidade de evitar salpicos;
- Facilidade na remoção da escória, apresentando uma boa aparência do cordão;
- Eléctrodos de pequeno diâmetro aptos para soldaduras em todas as posições;
- Processo de soldadura semi-automático com alimentação contínua de consumível.

Desvantagens

As suas desvantagens são, essencialmente, a necessidade de equipamentos de exaustão de fumos mais complexos e caros, pois, durante a execução da soldadura, há grande libertação de fumos. O equipamento utilizado é bastante complexo, aliando a isso uma baixa mobilidade e maneabilidade.

TÉCNICAS OPERATÓRIAS DE EXECUÇÃO

Executaram-se soldaduras nos diversos ensaios na posição ao baixo, pretendendo-se a ligação de uma junta de canto sem penetração total (Figura 13).

Devido às espessuras e catetos envolvidos, optou-se por realizar cordões de soldadura através de passes múltiplos, mas também através de passe simples, para melhor comparação e análise de resultados.

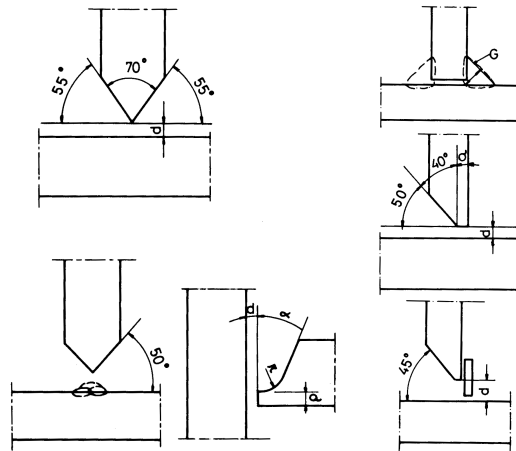


Fig. 13: Juntas de canto com e sem penetração

Fonte: Manual de Soldadura Eléctrica. Plátano – Edições Técnicas

PREPARAÇÃO DA SOLDADURA

Os provetes foram retirados da mesma chapa, apresentando as mesmas características mecânicas e de composição química. As peças em questão foram cortadas através de um processo de corte térmico designado por corte oxigás, recorrendo ao oxigénio e acetileno. Após o corte, procedeu-se à preparação da junta através da rebarbagem da superfície de corte, de forma a retirar alguma imperfeição, mas também a remover a fina película de material ligeiramente endurecido pelo processo de corte.

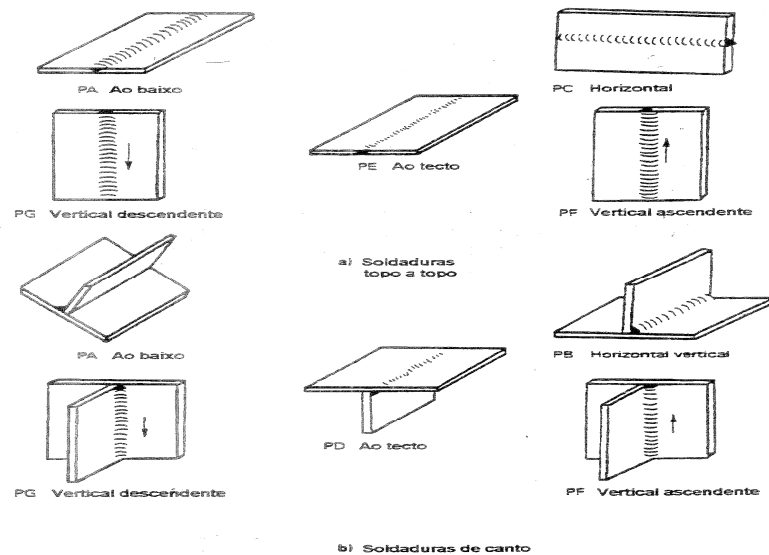


Fig. 14: Posições de soldadura

Fonte: Norma NP EN 287-1: 2004



Por sua vez, as peças foram “pingadas” entre si, formando a junta pretendida, sendo colocadas na bancada de trabalho na posição desejada (Figura 14), onde posteriormente se iriam desenvolver os ensaios.

- a:** 125 mm
- b:** 250 mm
- c:** 1000 mm
- t1, t2:** 20 mm

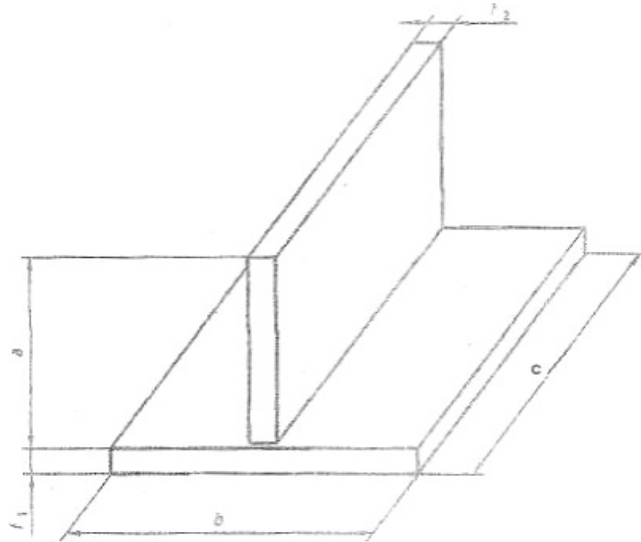


Fig. 15: Dimensões dos provetes

Fonte: Norma EN ISO 15614-1: 2004

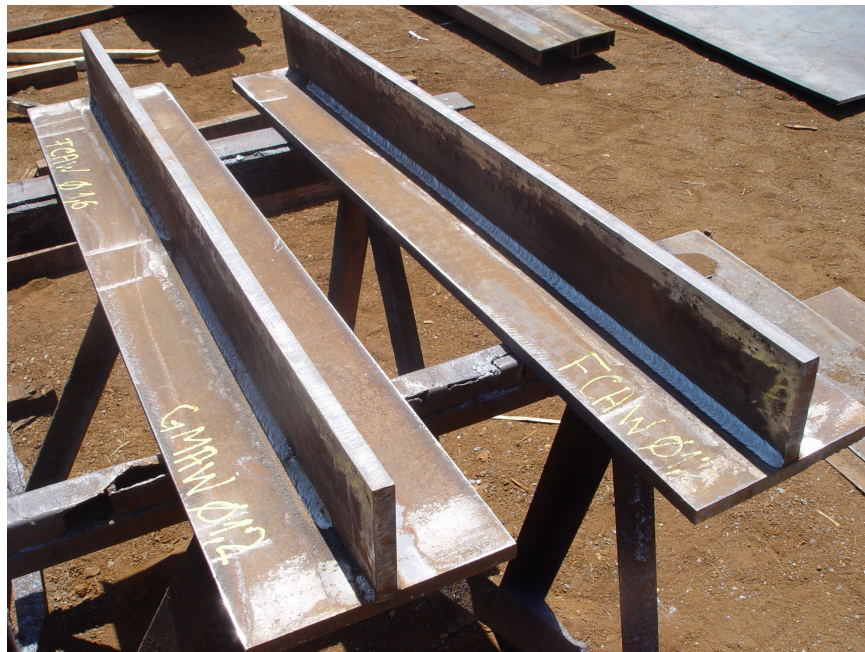


Fig. 16: Provetes dos ensaios



EQUIPAMENTO DE SOLDADURA

Uma vez que na empresa onde o estudo foi efectuado se dispõe de máquinas de 400 A de intensidade de corrente, optou-se por realizar todos os ensaios com a mesma máquina, por facilidade na recolha de valores e conseqüente comparação de resultados. Assim, utilizou-se uma fonte de potência de 400 A com unidade de refrigeração da fonte de potência e tocha, com porta-arame em separado (Figura 17). Como gás de protecção usou-se uma mistura de 80% de árgon e 20% de dióxido de carbono.



Fig. 17: Equipamento de soldadura usado nos ensaios

Fonte: Kemppi Product Catalogue 2006/2007



3. FUNDAMENTO TEÓRICO DA PESQUISA

À semelhança do já abordado neste trabalho, a realização de uma soldadura engloba diversos parâmetros a ter em linha de conta. Entre eles se destacam a intensidade de corrente e tensão à saída do equipamento de soldadura, o tempo de execução da soldadura, o caudal de gás de protecção e custo envolvido, a geometria da junta a soldar, o consumível a utilizar, diâmetro em causa, preço e taxa de depósito. Aliado a isso, não poderá ser esquecida a taxa horária da empresa, valor esse constituído pelos valores da mão-de-obra e os demais custos relacionados. Alguns dos parâmetros atrás mencionados podem ser facilmente retirados de tabelas, ábacos ou preçários, e outros devem ser mensurados durante a execução de cada ensaio. No entanto, haverá ainda outros que, apesar de estarem tabelados, assentará na experiência da pessoa que realiza o estudo assumir os valores mais correctos.

3.1 DEFINIÇÃO DOS TERMOS E INDICADORES

INTENSIDADE DE CORRENTE E TENSÃO

Em função do equipamento de soldadura a utilizar, conseguem-se variadas gamas de intensidade e tensão à saída. No entanto, existe um outro factor a considerar, que será o tempo/período durante o qual se pretende estar a soldar ininterruptamente, sem quebra das funcionalidades da máquina e da qualidade da soldadura efectuada. Isto é, se se pretende que a máquina opere, sem paragens, durante o seu período normal de laboração (8 horas diárias), neste caso, exigindo-se uma disponibilidade de 100%; ou se, alternativamente, satisfaz uma máquina com uma utilização de 60% do total das horas de laboração. O segundo caso é o mais consensual, pois o preço do equipamento é mais acessível, não pondo em causa a normal laboração associada aos inevitáveis períodos de paragem ou inactividade.

De um modo geral, baixa tensão associada a alta intensidade de corrente conduz a uma maior penetração do cordão de soldadura. Contrariamente, baixa intensidade aliada a uma elevada tensão levam a cordões mais abrangentes e esbatidos. Isto é, ambas as situações para iguais condições de soldadura.

TEMPO DE EXECUÇÃO DA SOLDADURA

O tempo envolvido na execução do cordão de soldadura, aferido através do uso de um cronómetro, é de crucial importância, pois traduz a maior percentagem dos custos relacionados com a

soldadura. A correcta, real e, acima de tudo, imparcial determinação do tempo envolvido é factor de capital decisão no uso de um ou outro processo de soldadura.

GÁS DE PROTECÇÃO

A sua composição e o seu débito traduzem-se num factor de grande influência na geometria do cordão, necessidade de limpeza após execução da soldadura, e até mesmo no seu custo. O árgon “puro” conduz a cordões de soldadura mais esbeltos e com menos penetração, com reduzida necessidade de limpeza devido aos salpicos provenientes da soldadura, mas com um custo bastante assinalável. Por sua vez, o dióxido de carbono, “puro” ou associado a outros gases, origina cordões com maior penetração (Figura 18), sendo o seu custo bastante mais razoável. No entanto, a necessidade de limpeza torna-se necessária, devido à presença considerável de salpicos.

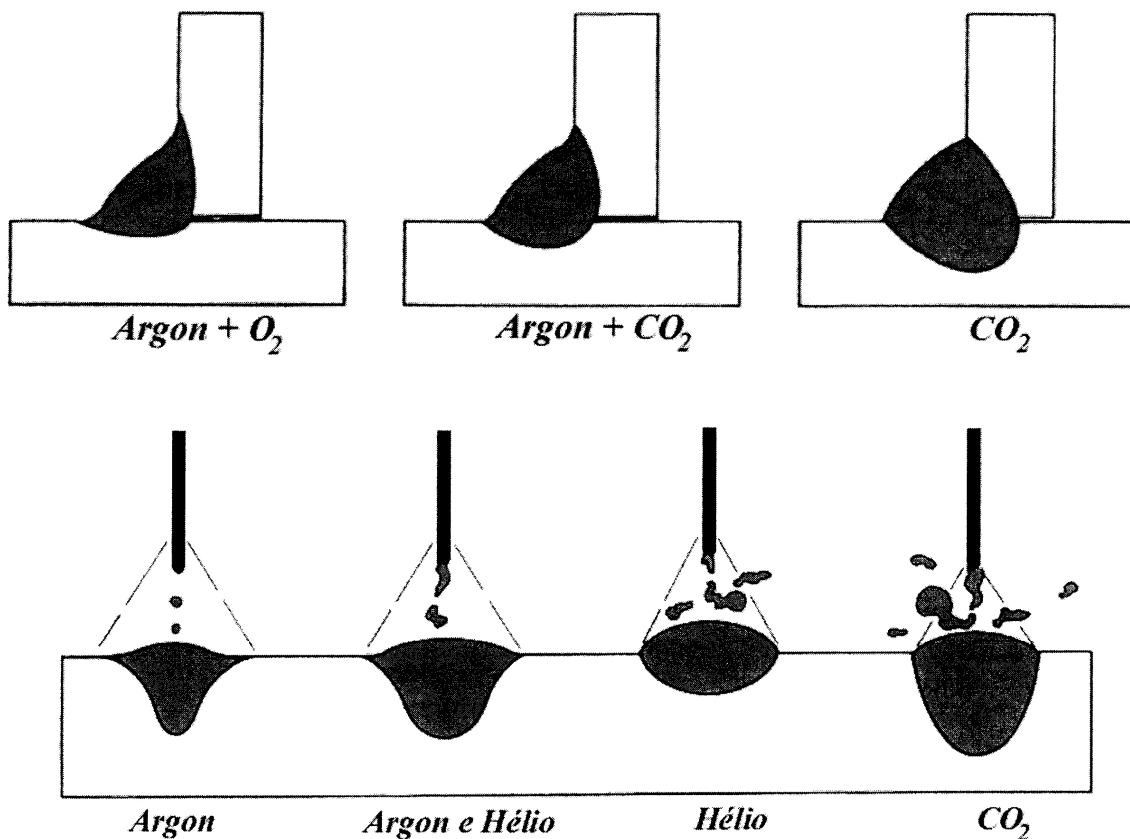


Fig. 18: Influência do gás de protecção na geometria do cordão
Adaptado de: Phillips, AL (Ed.). “Welding Processes: Gas, Arc and Resistance”,
Section 2. In Welding Handbook, 6th Edition. American Welding Society

GEOMETRIA DA JUNTA A SOLDAR

A forma e dimensão da junta de soldadura (Figura 19) englobam uma série de conceitos e pressupostos.

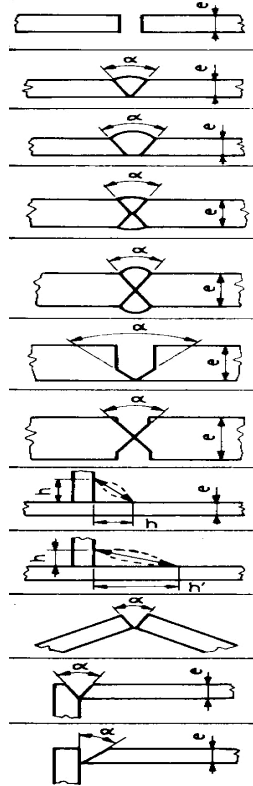


Fig. 19: Tipos de juntas de soldadura

Fonte: *Manual de Soldadura Eléctrica. Plátano – Edições Técnicas*

Como todas as ligações soldadas têm como objectivo primordial dar continuidade às características (mecânicas e composição química) do metal de base, este intuito tem de ser salvaguardado. Em função do tipo de material a soldar, sua soldabilidade, espessura e dimensão, assim se adequa a junta. Por sua vez, associado à geometria da junta estará também o equipamento de soldadura, pois a acessibilidade da mesma poderá condicionar o uso deste ou daquele processo. Não se poderia dissociar deste parâmetro um outro de grande importância e intimamente relacionado, a **taxa de depósito**.



TAXA DE DEPÓSITO

Totalmente condicionado pelo processo de soldadura em causa e pela geometria da junta a soldar, este parâmetro traduz-se, de uma forma sucinta, pelo volume de metal de adição depositado num determinado período de tempo.

EFICIÊNCIA DO DEPÓSITO

Um dos benefícios da robotização é a precisão com que o equipamento repete cada operação. A intensidade da corrente e tensão, bem como a velocidade de soldadura, podem ser reguladas, permitindo, assim, realizar um cordão de soldadura exactamente com a configuração definida *a priori*. Mesmo com a alternância entre processos de soldadura, a robotização conduz a significativas melhorias na eficiência do depósito.

Durante a execução de uma soldadura, excepto na soldadura por arco submerso, parte do consumível perder-se-á, não sendo depositado na sua totalidade. Através de salpicos, vaporização, consumo durante o arco eléctrico e até mesmo pela própria escória, uma parte do consumível de soldadura é consumido. Consequentemente, o peso de material consumível necessário à realização de determinada soldadura será substancialmente superior ao material efectivamente depositado. Daí o facto da existência de um parâmetro designado como **eficiência do depósito**. Expresso em percentagem, traduz a maior ou menor quantidade de material depositado face ao dispendido. É sempre um valor inferior à unidade, excepto no caso da soldadura por arco submerso, em que é igual à unidade.

Valores típicos para este factor em função do processo de soldadura:

- SMAW: 65%;
- GMAW: 92%;
- FCAW: 82%;
- SAW: 100%.

Mais à frente neste estudo poderá ser verificado que, para o caso do processo GMAW, a eficiência do depósito será ligeiramente superior à registada no FCAW, pois, neste último, regista-se uma maior libertação de fumos, logo, desperdiçando-se mais material consumível.

TIPO DE CONSUMÍVEL

O preço do consumível de soldadura, numa primeira abordagem, poderá ser factor decisivo para o uso deste em detrimento daquele. Mas não é isso que se pretende. Outros factores terão de ser tidos em consideração para permitir uma análise cuidada e daí retirar as conclusões mais acertadas.



Comparativamente, os consumíveis sólidos são mais baratos que os consumíveis fluxados, considerando diâmetros iguais. Mas como o tipo de consumível condiciona o uso desde ou daquele processo de soldadura, logo, diversos parâmetros serão automaticamente afectados.

TAXA HORÁRIA

Geralmente, as empresas estabelecem um custo a imputar a cada trabalho em função das horas dispendidas na sua execução, o qual é medido recorrendo a cálculos contabilísticos específicos. Uma ponderação dos diferentes constituintes é considerada, sendo, por sua vez, adicionada e/ou multiplicada por um ou outro factor previamente definidos. Terá de se ter em consideração, entre outros, a taxa horária do executante ou a média dos diversos executantes, bem como a taxa horária do pessoal de supervisão, chefia e todos os funcionários não produtivos da empresa. Por sua vez, os montantes envolvidos com a manutenção e conservação de todas as instalações, eventuais rendas ou outro tipo de despesas associadas, aquisição, amortização e reparação de equipamentos novos ou usados, devem ser igualmente tidos em conta. Os gastos relativos a iluminação e, eventualmente, aquecimento, bem como os custos relacionados com os gastos energéticos devem também ser contemplados. Em suma, a taxa horária é um valor quantitativo, bem definido e próprio de cada empresa, o qual é determinante numa análise de custos envolvidos na soldadura.

FACTOR DO OPERADOR

Melhorias significativas neste parâmetro podem ser conseguidas com a robotização (Figura 20).

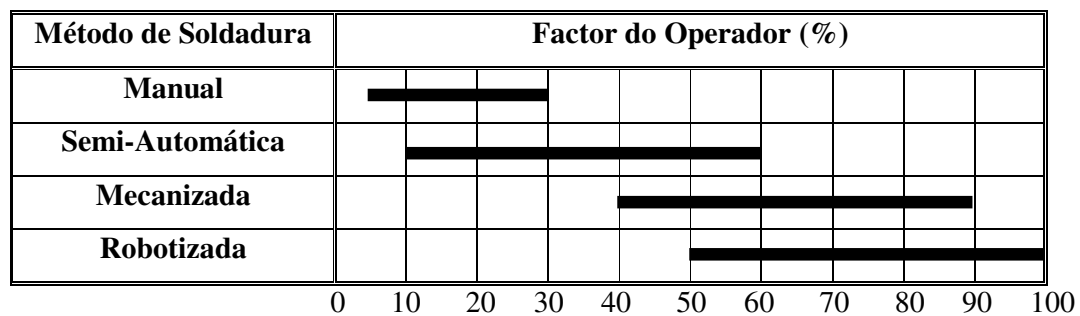


Fig. 20: Factor do operador

Adaptado de: The Procedure Handbook of Arc Welding. The Lincoln Electric Company, 1994

No entanto, os seus resultados dependem do volume de produção. Quando elevados depósitos de soldadura são requeridos num único elemento a soldar, significa que há necessidade de soldadura



contínua considerável. Por vezes, a utilização de equipamentos robotizados possuindo mais do que uma tocha de soldadura traduz-se em consideráveis aumentos de produtividade. Em resumo, este indicador elucida a relação entre o tempo dispendido efectivamente a soldar pelo operador de soldadura e o tempo total de laboração. Este último, engloba paragens para abastecer o equipamento com consumível, reposicionamento da peça a soldar e/ou do próprio operador de soldadura, eventuais inspecções necessárias no decorrer do trabalho, pausas determinadas durante o normal período de funcionamento e outras que não consideradas como trabalho efectivo. Desta forma, quanto maior(es) o(s) período(s) de produção efectiva, mais elevado será também o factor do operador, diminuindo-se substancialmente os custos totais envolvidos na soldadura.

Assim, uma automatização e robotização dos processos de soldadura conduzem a uma redução dos custos da soldadura para uma empresa. No entanto, terá de haver uma análise cuidada entre investimento e respectivo retorno de capital, não se tornando, assim, um estudo linear e objectivo.

No caso concreto deste estudo, o parâmetro factor do operador é igual em ambos os processos (GMAW e FCAW). Isto deve-se ao facto de utilizarem técnicas operatórias muito semelhantes: a alimentação do arame consumível faz-se da mesma forma, o equipamento poderá ser (será) o mesmo, são utilizados a mesma tocha e gás de protecção. Excepção é o caso dos roletes por onde se faz deslizar o arame, tendo de ser adaptados ao seu diâmetro, bem como o bico da tocha de soldadura.

4. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E SUA ANÁLISE

No ponto anterior definiram-se os principais indicadores envolvidos numa soldadura. No actual, pretende-se ilustrar os resultados dos ensaios realizados e efectuar um comentário, incluindo razões e principais diferenças verificadas.

GMAW VS. FCAW – PASSE SIMPLES (TABELA 7)

	Passe Simples	
	FCAW Ø1,2	GMAW Ø1,2
Tensão (v)	25,6	28,5
Intensidade (A)	250	240
Tempo de execução (min.seg.cent)	06.59.54	07.00.04
Caudal de gás (l/min)	12	12
Cateto do cordão de soldadura (mm)	10	10

Tab. 7: FCAW Ø1,2 vs. GMAW Ø1,2 - passe simples



Fig. 21: GMAW Ø1,2 - passe simples



Fig. 22: FCAW Ø1,2 - passe simples

Neste caso, pode-se verificar que todos os parâmetros registados estão bastante próximos uns dos outros, para ambas as situações, GMAW e FCAW, observando-se uma ligeira diferença na aparência do cordão realizado em cada um dos processos de soldadura (Figura 21 e 22). No entanto, poder-se-á reter o seguinte:

- Aspecto visual do cordão muito semelhante em ambos os processos, embora na soldadura FCAW se verifique uma “escama” mais uniforme. Isto deve-se, essencialmente, à melhor capacidade e adaptabilidade do arame fluxado de operar a elevadas intensidades, para o diâmetro em causa, impondo-se uma velocidade de progressão de soldadura bastante baixa, permitindo assim a execução do cordão num só passe;
- Verifica-se a presença de mais salpicos na soldadura GMAW, logo, impondo um cuidado mais atento à limpeza da peça após execução da soldadura. Como já foi mencionado, os ensaios foram realizados recorrendo ao uso de uma mistura de árgon com dióxido de carbono nas proporções de 20% e 80%, respectivamente. O uso de dióxido de carbono como gás de protecção conduz ao aparecimento de salpicos, os quais são directamente proporcionais à percentagem do gás, de um modo geral. No entanto, e não obstante este facto, verificando-se o uso de um arame com parâmetros de soldadura um pouco acima dos recomendados, observa-se também este aparecimento indesejado;

- Deve-se evitar o uso de arames com características pouco adaptadas a médias/altas intensidades de corrente, pretendendo-se efectuar um cordão num só passe ou com uma dimensão considerável. Nesse caso, será preferível o uso de arame de um diâmetro superior, ou, caso seja possível, efectuar o cordão mediante a técnica de passe múltiplo. Além disso, fruto da elevada entrega térmica verificada nestes ensaios, as próprias características do metal fundido, bem como do material base, podem ficar seriamente afectadas. Da mesma forma, alguns defeitos de soldadura podem manifestar-se, como é o caso de bordos queimados.

FCAW VS. FCAW-PASSE SIMPLES (TABELA 8)

	Passe Simples	
	FCAW Ø1,6	FCAW Ø1,2
Tensão (v)	30,9	25,6
Intensidade (A)	340	250
Tempo de execução (min.seg.cent)	04.40.78	06.59.54
Caudal de gás (l/min)	12	12
Cateto do cordão de soldadura (mm)	10	10

Tab. 8: FCAW Ø1,6 vs. FCAW Ø1,2 - passe simples



Fig. 22: FCAW Ø1,2 - passe simples



Fig. 23: FCAW Ø1,6 - passe simples

Aqui, os parâmetros registados já apresentam diferenças significativas, fruto, essencialmente, da desigualdade entre diâmetros do consumível utilizado.

Apesar disso, deve destacar-se que, devido ao rendimento do arame em causa (Ø1,6), verifica-se que o tempo dispendido na execução do cordão de soldadura é substancialmente inferior. No entanto, a máquina usada para realização de ambos os ensaios apresenta uma limitação ao nível da intensidade de corrente (400 A, no máximo). Aqui, essa intensidade apenas pode ser utilizada num curto período de tempo. Fora desse tempo, haverá sérios riscos quer para o equipamento quer para o operador, pois o aquecimento desenvolvido durante a operação é bastante elevado. Daí a disponibilidade requerida aquando da sua compra. Então, deve sempre adaptar-se o diâmetro do arame ao equipamento de soldadura e à intensidade de corrente a usar, para que este opere num regime de exercício estável, sensivelmente a meio da sua curva de funcionamento. Será aconselhável também o uso de tochas refrigeradas e bocais cerâmicos devido ao calor desenvolvido.



GMAW VS. FCAW-PASSES MÚLTIPLOS (TABELA 9)

	Passes Múltiplos							
	FCAW Ø1,2				GMAW Ø1,2			
Passes (1:raiz; 2, 3, 4:enchimento)	1	2	3	4	1	2	3	4
Tensão (v)	25,9	25,9	25,9	25,9	27,5	27,6	27,7	27,7
Intensidade (A)	255	250	270	285	235	245	250	250
Tempo de execução (min.seg.cent)	02.18.82	02.09.82	01.57.02	01.40.04	02.04.82	02.18.10	02.02.06	01.42.40
Caudal de gás (l/min)	12	12	12	12	12	12	12	12
Cateto do cordão de soldadura (mm)	10				10			

Tab. 9: FCAW Ø1,2 vs. GMAW Ø1,2 - passes múltiplos



Fig. 24: GMAW Ø1,2 - passes múltiplos



Fig. 25: FCAW Ø1,2 - passes múltiplos

Já nesta ocorrência, denota-se alguma diferença ao nível das intensidades registadas, mas também ao nível dos salpicos produzidos. É bem visível a diferença entre o tipo de cordão efectuado com passes múltiplos e os anteriores com passe simples (Figura 24 e 25). Poderá realçar-se:

- A diferença na quantidade de salpicos já foi anteriormente abordada;
- As intensidades registadas não são evidência de diferenças ao nível do processo de soldadura. No caso concreto deste ensaio, teve única e exclusivamente que ver com a regulação previamente dada e acertada pelo operador de soldadura. As intensidades de corrente poderiam ser sensivelmente iguais quer para o processo GMAW quer para o FCAW, sendo que os resultados não iriam sofrer alterações significativas;
- Quanto às diferenças significativas de tensão, na nossa opinião, devem-se, essencialmente, à maior distância entre a ponta do arame e a peça a soldar, verificando-se um maior comprimento do arco eléctrico. Daí também o resultado de se verificar, para o caso do processo GMAW, um cordão mais esbatido e abrangente. Convém não confundir com a menos conseguida intersecção entre os últimos passes, tornando-se bastante evidente nesse processo;
- Para as espessuras envolvidas (20 mm), pensamos que a técnica mais vantajosa será a de passe múltiplo, independentemente do processo a utilizar. A decisão de optar por um ou outro processo só poderá (tentará) ser feita após análise de todos os custos envolvidos, tema esse a ser debatido num capítulo mais à frente deste trabalho. Para diâmetros de arame até 1,2 mm,



será aquela que der mais garantias de qualidade da soldadura, com menos riscos de defeitos. No entanto, os respectivos cuidados de limpeza entre passes e adequação dos parâmetros de soldadura devem ser respeitados, isto é, utilizando o equipamento disponibilizado. Optando-se por técnicas de passe simples, ter-se-ia toda a vantagem em preferir diâmetros de arame superiores, embora o equipamento tivesse de ser adaptado para tal, razão dada atrás pelas limitações apontadas.





5. CONFRONTAÇÃO E ANÁLISE DOS VALORES TABELADOS FACE AOS ENSAIOS REALIZADOS

Com o intuito da utilização de valores o mais reais possível nos cálculos a efectuar, obtidos após testes próprios e tão precisos quanto possível, seguidamente, apresentar-se-ão os resultados dessas provas. Existem diversos valores tabelados, tais como a taxa de depósito (kg/h), eficiência do depósito (%) e depósito de soldadura (kg/m), indicados, de forma genérica, independentemente do diâmetro do arame consumível, intensidade de corrente ou tensão. Assim, através dos ensaios realizados definiu-se, com maior particularidade, todos esses parâmetros ilustrados na Tabela 10.

Processo Soldadura		Parâmetros de Soldadura				Peso Consumível (kg)			Peso Provete (kg)		
		Tabelados (anexo 1, 2, 5, 6)									
Tipo	Ø arame (mm)	I (A)	Tx. Dep. (kg/h)	Efic. Dep. (%)	Dep. Sold. (kg/m)	Antes Ensaio	Depois Ensaio	Gasto	Antes Ensaio	Depois Ensaio	Dep. Sold.
FCAW	1,2	250	5	80	0,28	3,553	3,246	0,307	3,654	3,930	0,276
FCAW	1,6	350	6,8	80	0,28	4,710	4,397	0,313	3,366	3,574	0,208
GMAW	1,2	250	3,8	90	0,28	4,780	4,460	0,320	3,352	3,654	0,302
FCAW	1,6	350	6,8	80	0,28	4,334	3,968	0,366	4,138	4,465	0,327

Parâmetros de Soldadura						Outras Informações						
Após Ensaio						Cateto (mm)	Cordão (m)	Tempo Soldadura				Caudal Gás (l/min)
I (A)	U (v)	Vel. Arame (m/min)	Tx. Dep. (kg/h)	Efic. Dep. (%)	Dep. Sold. (kg/m)			min.	seg.	cent.	horas	
263	27,9	9,6	4,7	0,90	0,251	8	1,1	3	53	17	0,0648	12
352	27,9	6,6	5,7	0,66	0,189	8	1,1	3	17	95	0,0550	12
246	27,7	9,6	4,8	0,94	0,275	8	1,1	4	0	89	0,0669	12
329	28	5,8	5,4	0,89	0,297	8	1,1	4	2	6	0,0672	12

Ensaio não válido

Valores de cálculo

Tab. 10: Comparação de valores tabelados vs. ensaiados



Os parâmetros atrás mencionados foram calculados da seguinte forma:

- Taxa de depósito (kg/h): Consumível gasto (kg) / Tempo de soldadura (h);
- Eficiência do depósito (%): Depósito de soldadura (kg) / Consumível gasto (kg) x 100;
- Depósito de soldadura (kg/m): Depósito de soldadura (kg) / Comprimento da soldadura (m).

Pela análise dos valores poder-se-á concluir que o depósito de soldadura tabelado é muito semelhante ao obtido após os ensaios. Verifica-se apenas alguma diferença para o caso do processo FCAW com arame diâmetro 1,2 mm, devendo-se isso à obtenção de um cordão com um cateto um pouco abaixo dos 8 mm. Apesar disso, os valores da taxa de depósito e da eficiência do depósito não serão falseados, pois, para um maior depósito de soldadura, mais consumível se teria gasto, consequentemente, num tempo superior, mas manter-se-iam as relações entre os diversos parâmetros.

As intensidades de corrente tabeladas são muito próximas dos valores aferidos durante os ensaios e as eficiências do depósito estão bastante mais melhoradas, em confrontação com os valores pré-estabelecidos. Quanto às taxas de depósito verificadas após os ensaios, para o caso do processo GMAW e FCAW com o mesmo diâmetro de arame, apresentam valores bastante próximos (Tabela 11), contrariamente ao indicado pelas tabelas consultadas. Pensamos que isso dever-se-á à utilização de intensidades de corrente muito próximas.

Assim, no capítulo seguinte irão utilizar-se os valores obtidos com a realização dos testes, isto é, para o caso da taxa de depósito e eficiência do depósito, independentemente da diferença de espessuras em causa. No caso dos restantes parâmetros, intensidade de corrente, tensão, depósito de soldadura e velocidade do arame, serão em função de cada soldadura em particular.

Processo de Soldadura	Ø Arame (mm)	Tx. Depósito (kg/h)		Eficiência do Depósito (%)	
		Seg. teste	Seg. tabela	Seg. teste	Seg. tabela
GMAW	1,2	4,8	3,8	94	90
FCAW	1,2	4,7	5	90	80
FCAW	1,6	5,4	6,8	89	80

Tab. 11: Resumo de valores tabelados vs. ensaiados

6. CUSTOS VERIFICADOS - INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo irão mostrar-se os diferentes custos envolvidos em cada operação de soldadura, considerando-se ambos os processos atrás comparados.

GMAW VS. FCAW- PASSE SIMPLES (TABELA 12)

<i>Dados</i>	<i>Unidades</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Cálculo</i>	Passe Simples	
				GMAW	FCAW
Ø Arame	mm	ø	Certificado	1,2	1,2
Taxa horária	€	TH	Empresa	18,00	18,00
Intensidade de corrente	A	I	Registos	240	250
Taxa de depósito	kg/h	TD	Ensaio	4,8	4,7
Factor do operador	%	FO	Anexo 3	60	60
Preço do consumível	€/kg	PC	Empresa	1,1	2,4
Eficiência do depósito	%	ED	Ensaio	94	90
Preço do gás	€/l	PG	Empresa	0,006	0,006
Débito do gás	l/min	DG	Registos	12	12
Consumo de gás	l/kg soldadura	CG	60xDG/TDxFO	250,00	255,32
Gastos com gás	€/kg soldadura	GG	PGxCG	1,50	1,53
Gastos com soldadura	€/kg soldadura	GS	PC/ED	1,17	2,67
Custos de produção	€/kg soldadura	CP	TH/TDxFO	6,25	6,38
Custos totais	€/kg soldadura	CT(kg)	GG+GS+CP	8,92	10,58
Depósito de soldadura	kg/m	DS	Anexo 1	0,40	0,40
Custos totais	€/m soldadura	CT(m)	CT(kg)xDS	3,57	4,23

Tab. 12: GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passe simples - custos

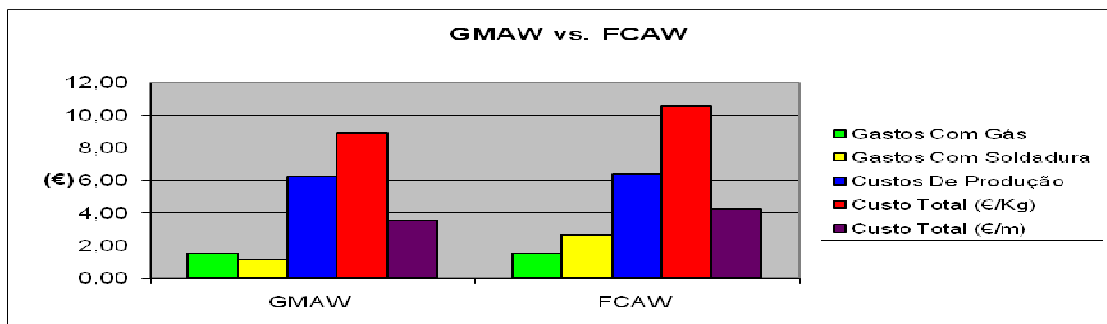


Fig. 26: GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passe simples - custos



A partir da análise deste ensaio, verifica-se que o processo GMAW é preferível face ao processo FCAW (Figura 26). No entanto, salienta-se que os valores da taxa de depósito e da eficiência do depósito usados são os aferidos em testes e não os tabelados. Para o mesmo ensaio, entrando nos cálculos com os valores tabelados, os custos totais para o processo GMAW seriam de **11,01 €/kg de soldadura** e de **4,40 €/m de soldadura**, sendo para o processo FCAW de **10,44 €/kg de soldadura** e de **4,18 €/m de soldadura**. Neste caso, o processo FCAW já seria preferível ao processo GMAW. Embora, com o uso de valores tabelados, as diferenças entre custos não sejam tão significativas. O parâmetro desequilibrador é a taxa de depósito. As despesas parcelares, respeitantes aos gastos com gás e custos de produção são fortemente afectadas pela variação da taxa de depósito. Daí a variação verificada nos custos finais. No entanto, a variação da eficiência do depósito apenas entra no cálculo dos gastos com soldadura, sendo sempre favorável ao processo GMAW, devido à grande diferença no preço do consumível. Em conclusão, a taxa de depósito deverá ser bem definida, para melhor decidir o processo de soldadura a utilizar. Se possível, é conveniente realizar ensaios que melhor possam quantificar esse parâmetro.



FCAW VS. FCAW-PASSE SIMPLES (TABELA 13)

<i>Dados</i>	<i>Unidades</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Cálculo</i>	Passé Simples	
				FCAW	FCAW
Ø Arame	mm	ø	Certificado	1,2	1,6
Taxa horária	€	TH	Empresa	18,00	18,00
Intensidade de corrente	A	I	Registos	250	340
Taxa de depósito	kg/h	TD	Ensaio	4,7	5,4
Factor do operador	%	FO	Anexo 3	60	60
Preço do consumível	€/kg	PC	Empresa	2,4	1,9
Eficiência do depósito	%	ED	Ensaio	90	89
Preço do gás	€/l	PG	Empresa	0,006	0,006
Débito do gás	l/min	DG	Registos	12	12
Consumo de gás	l/kg soldadura	CG	60xDG/TDxFO	255,32	222,22
Gastos com gás	€/kg soldadura	GG	PGxCG	1,53	1,33
Gastos com soldadura	€/kg soldadura	GS	PC/ED	2,67	2,13
Custos de produção	€/kg soldadura	CP	TH/TDxFO	6,38	5,56
Custos totais	€/kg soldadura	CT(Kg)	GG+GS+CP	10,58	9,02
Depósito de soldadura	kg/m	DS	Anexo 1	0,40	0,40
Custos totais	€/m soldadura	CT(m)	CT(kg)xDS	4,23	3,61

Tab. 13: FCAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,6 - passe simples – custos

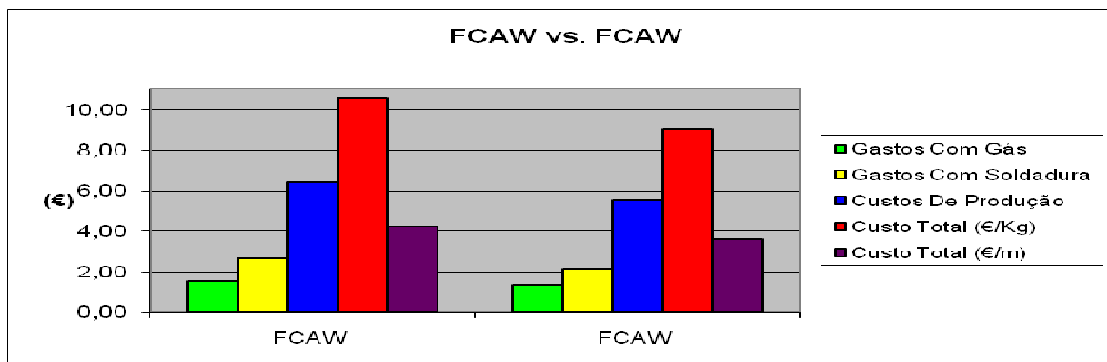


Fig. 27: FCAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,6 - passe simples – custos

Nesta situação, a diferença substancial entre as taxas de depósito utilizadas, independentemente dos valores tabelados ou de teste, traduz-se num ganho substancial nos custos, para o caso da



utilização de arame de diâmetro 1,6 mm (Figura 27). No entanto, devido às implicações e inconvenientes que o uso deste consumível acarreta, a diferença de valores não pode ser analisada sem mais paralelismos.

GMAW VS. FCAW-PASSES MÚLTIPLOS

<i>Dados</i>	<i>Unidades</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Cálculo</i>	Passes Múltiplos	
				GMAW	FCAW
Ø Arame	mm	ø	Certificado	1,2	1,2
Taxa horária	€	TH	Empresa	18,00	18,00
Intensidade de corrente	A	I	Registos	245,00	265,00
Taxa de depósito	kg/h	TD	Ensaio	4,8	4,7
Factor do operador	%	FO	Anexo 3	60	60
Preço do consumível	€/kg	PC	Empresa	1,1	2,4
Eficiência do depósito	%	ED	Ensaio	94	90
Preço do gás	€/l	PG	Empresa	0,006	0,006
Débito do gás	l/min	DG	Registos	12	12
Consumo de gás	l/kg soldadura	CG	60xDG/TDxFO	250,00	255,32
Gastos com gás	€/kg soldadura	GG	PGxCG	1,50	1,53
Gastos com soldadura	€/kg soldadura	GS	PC/ED	1,17	2,67
Custos de produção	€/kg soldadura	CP	TH/TDxFO	6,25	6,38
Custos totais	€/kg soldadura	CT(kg)	GG+GS+CP	8,92	10,58
Depósito de soldadura	kg/m	DS	Anexo 1	0,40	0,40
Custos totais	€/m soldadura	CT(m)	CT(kg)xDS	3,57	4,23

Tab. 14: GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passes múltiplos – custos, 1ª análise

O que já foi dito no primeiro exemplo poderá ser transposto para este (Tabela 14). Apesar disso, a tarefa de optar por este processo em substituição do outro está longe de estar terminada. Como atrás foi mencionado, a experiência e o testar dos equipamentos poderão fazer pender a decisão para um ou outro lado. Infelizmente, estes parâmetros são difíceis de quantificar em números ou valores concretos.

Seguidamente, será evidenciado que mesmo alterando algum(ns) dos parâmetros usados, embora dentro dos intervalos permitidos, os custos poucas oscilações sofrerão.

Iremos utilizar os valores tabelados para a taxa de depósito e para a eficiência de depósito para ambos os processos (Tabela 15).



<i>Dados</i>	<i>Unidades</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Cálculo</i>	Passes Múltiplos	
				GMAW	FCAW
Ø Arame	mm	ø	Certificado	1,2	1,2
Taxa horária	€	TH	Empresa	18,00	18,00
Intensidade de corrente	A	I	Registos	245,00	265,00
Taxa de depósito	kg/h	TD	Anexo 5 e 6	3,8	5
Factor do operador	%	FO	Anexo 3	60	60
Preço do consumível	€/kg	PC	Empresa	1,1	2,4
Eficiência do depósito	%	ED	Anexo 2	90	80
Preço do gás	€/l	PG	Empresa	0,006	0,006
Débito do gás	l/min	DG	Registos	12	12
Consumo de gás	l/kg soldadura	CG	60xDG/TDxFO	315,79	240,00
Gastos com gás	€/kg soldadura	GG	PGxCG	1,89	1,44
Gastos com soldadura	€/kg soldadura	GS	PC/ED	1,22	3,00
Custos de produção	€/kg soldadura	CP	TH/TDxFO	7,89	6,00
Custos totais	€/kg soldadura	CT(kg)	GG+GS+CP	11,01	10,44
Depósito de soldadura	kg/m	DS	Anexo 1	0,40	0,40
Custos totais	€/m soldadura	CT(m)	CT(kg)xDS	4,40	4,18

Tab. 15: GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passes múltiplos – custos, 2ª análise

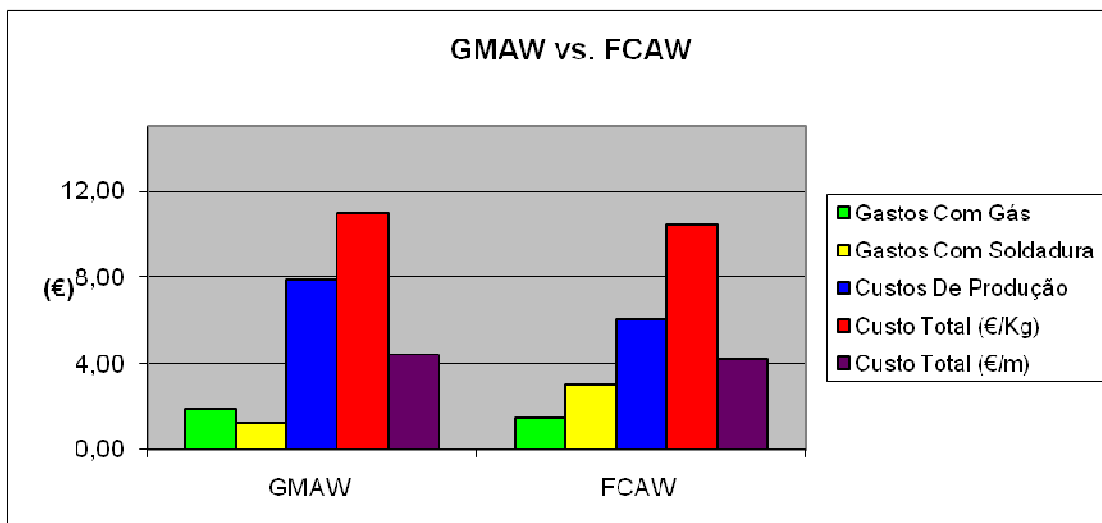


Fig. 28: GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 - passes múltiplos - custos



Pode-se verificar que o valor global dos custos para o processo FCAW teve pouca oscilação, ou seja, passaram de **4,23 euros por metro de soldadura** para **4,18 euros por metro de soldadura**. Isto deve-se ao facto de a eficiência do depósito e da taxa de depósito terem sofrido uma oscilação pequena. Já no caso do processo GMAW, a considerável diferença na taxa de depósito traduz-se em significativas diferenças nos custos totais (Figura 28).

Embora não fazendo parte do âmbito deste estudo, na Tabela 16 são comparados os processos de soldadura SMAW e GMAW. Assim, elucida-se melhor o efeito da taxa de depósito e do factor do operador no cálculo dos custos envolvidos com a soldadura.

Pretende-se unir, por meio de soldadura através de uma junta de canto com cerca 900 mm de comprimento total por peça, 100 conjuntos de peças metálicas de aço ao carbono com 8 mm de espessura.

Tendo como base os dados atrás descritos, pode-se acrescentar o seguinte:

- Chapas de espessura 8 mm → 0,7 x menor espessura = 6 mm de cateto;
- 0,9 m de soldadura /peça → 0,9 x 100 = 90 m de soldadura no total;
- Eléctrodos com revestimento básico E7018, Ø3,25 mm e uma intensidade de corrente de 200 A;
- Arame de Ø1,2 mm ER 70 S-6 e uma intensidade de corrente de 250 A.

HORAS DE TRABALHO REQUERIDAS

Dados	Unidades	SMAW	GMAW	Fonte	Cálculo
Dimensão do cordão	mm	6	6	Dados do problema	\
Comprimento do cordão	m	90	90	Dados do problema	\
Depósito de soldadura	kg	16,2	16,2	Anexo 1	a)
Taxa de depósito	kg/h	2,2	3,8	Anexo 5 e 7	\
Factor do operador	%	40	50	Anexo 3	b)
Débito de gás	m ³ /h	f)	0,72	Dados do problema	c)
Gás requerido	m ³	f)	3,07	\	d)
Horas de trabalho	h	18,4	8,5	\	d)

Tab. 16: SMAW vs. GMAW – passe simples - custos



- a) Segundo a tabela, a um cordão de canto com 6 mm corresponde um depósito de 0,18 kg/m.
 $0,18 \text{ kg/m} \times 90 \text{ m} = 16,2 \text{ kg}$ de soldadura depositada;
- b) Considera-se um factor do operador intermédio para o caso do processo SMAW;
- c) $12 \text{ l/min} = 0,72 \text{ m}^3/\text{h}$;
- d) Considerando um débito de gás de aproximadamente $0,72 \text{ m}^3/\text{h}$, tem-se:
tempo de soldadura (h) = depósito de soldadura/taxa de depósito = $16,2 \text{ kg} / 3,8 \text{ kg/h} = 4,26 \text{ h}$
gás requerido (m^3) = débito de gás x tempo de soldadura = $0,72 \text{ m}^3/\text{h} \times 4,26 \text{ h} = 3,07 \text{ m}^3$;
- e) Horas de trabalho requeridas = tempo de soldadura/factor do operador;
- f) Neste caso, o cálculo não é aplicável, pois o processo SMAW não utiliza gás de protecção.

Sendo os custos relativos à laboração parte importante nos gastos com a soldadura, torna-se bastante evidente que, de uma forma geral, o processo GMAW é preferível ao processo SMAW.





7. CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho, foram mencionados diversos parâmetros e considerações a ter em conta quando se deseja determinar os custos envolvidos numa determinada soldadura e respectivo processo. Por vezes, certas comparações pretendidas não necessitam de pesquisa cuidada (caso disso será o exemplo representado no final do ponto anterior), sendo satisfatória a análise das horas de trabalho requeridas para o trabalho e os gastos com consumíveis.

Sendo necessário um estudo mais cuidado, entrando por áreas que, por vezes, não são do domínio dos responsáveis pela soldadura numa empresa, haverá outros dados a analisar de forma mais cuidada. Entre eles se destacam: preço do equipamento e acessórios, a sua vida útil e os encargos mensais com o equipamento. Todos estes factores são próprios do equipamento de soldadura, mas sem os quais não se poderá decidir conscientemente por um determinado investimento.

Seguidamente, tentar-se-á mostrar de que forma eles podem influenciar uma decisão, dando como exemplo um caso real e previamente observado.

Pretende-se efectuar a soldadura de 30 peças em aço carbono de 30 mm de espessura, realizando um cordão de canto sem penetração total.

DADOS

- Parte-se da mesma comparação entre o processo GMAW e o processo FCAW, utilizando diâmetros de 1,2 mm;
- Técnica de passe múltiplo em função das espessuras envolvidas para a soldadura do exterior, e técnica de passe simples para a soldadura de selagem pelo interior da peça;
- Intensidade de corrente, tensão e velocidade do arame em tudo semelhantes aos valores utilizados nos ensaios;
- Cada peça engloba 4 m + 4 m de soldadura, ou seja, cada 4 m pelo interior e exterior de cada peça. Assim, às 30 peças correspondem 120 m + 120 m de soldadura;
- Dado que, pelo exterior, as espessuras a ligar terão de ser totalmente cobertas pelo cordão de soldadura, encontrando-se a junta de canto a unir as extremidades das espessuras, teremos um cateto com 30 mm. Pelo interior será apenas um cordão de 8 mm para selagem do cordão exterior;



- Após cálculo, determina-se o depósito de soldadura como sendo de 3,5 kg/m para o tipo de soldadura exterior em causa, ou seja, a área de um triângulo rectângulo com 30 mm em ambos os lados. Para o interior é tomado o valor de 0,28 kg/m de acordo com tabelas;
- Valores para equipamentos e acessórios em tudo semelhantes aos utilizados na realização deste relatório;
- Vida útil do equipamento de acordo com informações do fabricante;
- As horas anuais de laboração pressupõem 8 h/dia, 22 dias/mês e 11 meses/ano, totalizando 1936 horas;
- Valores de manutenção e peças de substituição tendo como base o histórico de equipamentos semelhantes;
- Efectuou-se um pré-ensaio para verificação de diversos dados, de acordo com o seguinte:
 - Soldadura de duas peças, uma através do processo GMAW e outra através do processo FCAW;
 - Verificação dos gastos com consumíveis, traduzindo-se em 15,5 kg de arame sólido e 20,5 kg de arame fluxado;
 - Verificação dos tempos dispendidos com a soldadura utilizando ambos os processos, 7,5 h e 6 h, respectivamente, com o processo GMAW e FCAW;
 - Factor do operador aconselhado de 60% para o processo GMAW e de 70% para o processo FCAW, fruto da maior necessidade de limpeza entre passes utilizando o primeiro processo de soldadura, considerando iguais paragens para mudança de bobine de consumível;
 - Taxa de depósito calculada da seguinte forma: gastos com consumível (Kg) / [tempo de soldadura (h) x factor do operador];
 - Devido à grande dimensão e peso unitário das peças, sendo uma tarefa bastante difícil a pesagem das peças antes e após soldadura, aferindo assim o depósito real de soldadura e consequentemente determinando a eficiência do depósito, utilizar-se-ão os valores para as eficiências do depósito avaliadas nos testes e tabelados.
- Restantes dados e cálculos de acordo com a Tabela 17.



ANÁLISE DO CORDÃO DE SOLDADURA DO EXTERIOR

Dados diversos	Unidades	Simbolo	Cálculo/informação	GMAW	FCAW
Preço do equipamento	€	PE	Fabricante	2751,24	2751,24
Preço dos acessórios	€	PA	Fabricante	2768,31	2768,31
Investimento total	€	IT	PE+PA	5519,55	5519,55
Vida útil	Anos	VU	Fabricante	8	8
Horas anuais de funcionamento	h	HAF	Empresa	1936	1936
Factor do operador	%	FO	Anexo 3	60	70
Horas efectivas de funcionamento	h	HEF	HAFxFO	1161,6	1355,2
Taxa horária	€/h	TH	Empresa	18,00	18,00
Encargos mensais com aquisição	€	EMA	Empresa	460	460
Despesas anuais com investimento	€	DAI	EMAx12	5520	5520
Manutenção e peças de substituição	€	MPS	Empresa	400	400
Custos da máquina por hora	€/h	CMH	(DAI+MPS)/HEF	5,10	4,37
Taxa de depósito	kg/h	TD	Cálculos	3,44	4,88
Eficiência do depósito	%	ED	Anexo 2	90	80
Depósito de soldadura	kg/m	DS	Anexo 1	3,50	3,50
ml soldadura	m	MS	Dados	4,0	4,0
Peso gasto de consumível	kg	PGC	(DSxMS)/ED	15,6	17,5
Tempo gasto com a soldadura	h	TS	(DSxMS)/TD	4,1	2,9
Custos de produção	€	CP	(THxTS)+(CMHxTS)	94,00	64,17
Preço do consumível	€/kg	PC	Empresa	1,10	2,40
Custos com consumíveis	€	CC	PGCxPC	17,11	42,00
Débito de gás	l/min	DG	Registos	12	12
Consumo de gás	l/kg soldadura	CG	(60xDG)/(TDxFO)	348,84	210,77
Preço do gás	€/l	PG	Empresa	0,006	0,006
Gastos com gás	€	GG	(CGxPG)x(PGCxED)	29,30	17,70
Custo global	€	CG	CP+CC+GG	140,41	123,88

Tab. 17: Soldadura pelo exterior da peça - custos



ANÁLISE DO CORDÃO DE SOLDADURA DO INTERIOR

Dados diversos	Unidades	Simbolo	Cálculo/informação	GMAW	FCAW
Preço do equipamento	€	PE	Fabricante	2751,24	2751,24
Preço dos acessórios	€	PA	Fabricante	2768,31	2768,31
Investimento total	€	IT	PE+PA	5519,55	5519,55
Vida útil	Anos	VU	Fabricante	8	8
Horas anuais de funcionamento	h	HAF	Empresa	1936	1936
Factor do operador	%	FO	Anexo 3	60	70
Horas efectivas de funcionamento	h	HEF	HAFxFO	1161,6	1355,2
Taxa horária	€/h	TH	Empresa	18,00	18,00
Encargos mensais com aquisição	€	EMA	Empresa	460	460
Despesas anuais com investimento	€	DAI	EMAx12	5520	5520
Manutenção e peças de substituição	€	MPS	Empresa	400	400
Custos da máquina por hora	€/h	CMH	(DAI+MPS)/HEF	5,10	4,37
Taxa de depósito	kg/h	TD	Cálculos	3,44	4,88
Eficiência do depósito	%	ED	Anexo 2	90	80
Depósito de soldadura	kg/m	DS	Anexo 1	0,28	0,28
ml soldadura	m	MS	Dados	4,0	4,0
Peso gasto de consumível	kg	PGC	(DSxMS)/ED	1,2	1,4
Tempo gasto com a soldadura	h	TS	(DSxMS)/TD	0,3	0,2
Custos de produção	€	CP	(THxTS)+(CMHxTS)	7,52	5,13
Preço do consumível	€/kg	PC	Empresa	1,10	2,40
Custos com consumíveis	€	CC	PGCxPC	1,37	3,36
Débito de gás	l/min	DG	Registos	12	12
Consumo de gás	l/kg soldadura	CG	(60xDG)/(TDxFO)	348,84	210,77
Preço do gás	€/l	PG	Empresa	0,006	0,006
Gastos com gás	€	GG	(CGxPG)x(PGCxED)	2,34	1,42
Custo global	€	CG	CP+CC+GG	11,23	9,91

Tab. 18: Soldadura pelo interior da peça - custos



Pela análise dos valores, poder-se-á concluir que, utilizando o mesmo equipamento de soldadura, os valores de custo global utilizando o processo GMAW serão de **151,64 €/peça**. Já para o caso de se recorrer ao processo FCAW, os valores de custo global serão da ordem dos **133,79 €/peça**, verificando-se uma redução de custos/peça de cerca de 12%. Apesar disso, verificam-se algumas discrepâncias entre os valores calculados e os registados durante os trabalhos. Assim, enquanto no caso do processo GMAW (cálculo) tínhamos 4,4 h e 16,8 kg, respectivamente para tempo de soldadura e peso gasto de consumível, já os valores de registo são de 4,5 h (7,5 h x factor do operador) para tempo de soldadura e 15,5 kg de consumível gasto. No processo FCAW acontece que os valores de cálculo são de 3,1 h e 18,9 kg, respectivamente para tempo de soldadura e peso gasto de consumível. Os valores registados são de 4,2 h (6 h x factor do operador) para tempo de soldadura e 20,5 kg de consumível gasto. Isto deve-se, essencialmente, aos valores assumidos para eficiência do depósito afectando os valores do peso gasto em consumível, por um lado, e, por outro, aos valores seguidos para o factor do operador, afectando a taxa de depósito e, conseqüentemente, o tempo de soldadura.

Como já foi abordado diversas vezes, um dos parâmetros de análise com maior peso numa soldadura é o caso da taxa horária da empresa onde se pretende desenrolar o trabalho. Assim, anteriormente, assumiu-se o valor de 18 €/h, traduzindo-se num benefício do processo FCAW face ao GMAW. No entanto, após diversos cálculos experimentais, mantendo inalterados todos os valores à excepção da taxa horária, conclui-se que, para uma taxa horária de 4,2 €/h, o processo GMAW é favorável em termos de custos, enquanto com uma taxa horária de 4,3 €/h, o processo FCAW é mais vantajoso. Esses valores são aqueles que invertem a tendência para usar um ou outro processo de soldadura observado.

No entanto, também se verificou a influência do preço do consumível na decisão final. Então, para valores de arame fluxado da ordem dos 3,4 €/kg, mantendo todos os outros parâmetros de acordo com os cálculos iniciais, o processo GMAW passa a ser mais benéfico em termos de custos globais. Da mesma forma, este processo apenas se torna mais vantajoso para valores de arame sólido de cerca de 0,03 €/kg.

Fizeram-se ainda mais cálculos empíricos alterando apenas o valor da taxa de depósito. Desta forma, mantendo esse valor para o caso do processo FCAW e assumindo um valor de 4 kg/h para o processo GMAW, este último torna-se mais generoso em termos de custos. Invertendo as alterações, isto é, usando o valor de 4 kg/h para o processo FCAW e mantendo o valor da taxa de depósito (3,44 kg/h) para o processo GMAW, este último também se torna mais lucrativo em termos de custos globais.



Parâmetro	Valores Utilizados no Estudo	Comparativo – Valores de Inversão de Tendência			
		Valor	Processo Mais Lucrativo	Valor	Processo Mais Lucrativo
Taxa Horária	18 €/h	4,3 €/h	FCAW	4,2 €/h	GMAW
Arame Consumível	2,40 €/kg (FCAW) 1,10 €/kg (GMAW)	3,4 €/kg (FCAW)	GMAW	0,03 €/kg (GMAW)	GMAW
Taxa de Depósito	4,88 kg/h (FCAW) 3,44 kg/h (GMAW)	4 kg/h (GMAW)	GMAW	4 kg/h (FCAW)	GMAW

Tab. 19: Valores de inversão de tendência

Muitas empresas desenvolveram procedimentos próprios, que serviram de base às muitas soldaduras necessárias aos seus normais fabricos. Assim, previamente determinaram os vários custos envolvidos na execução dessas soldaduras, podendo servir como suporte ao desempenho da produção.

No tipo de construção objecto deste estudo, onde a diversidade de tipo, dimensão e configuração de juntas soldadas é grande, muitas delas a terem de ser efectuadas fora de posição devido à grande dimensão das peças, sendo desaconselhável a sua constante movimentação no decurso do fabrico, deverá optar-se por um processo de soldadura com alguma mobilidade e flexibilidade, como é o caso do SMAW, GMAW ou FCAW. Agora, a escolha entre eles, como atrás se tentou demonstrar, terá de ser um compromisso entre velocidade de soldadura, factor associado ao parâmetro taxa de depósito; versatilidade, ou seja, existir a possibilidade de operar em todas as posições de soldadura; e portabilidade, entrando-se aqui em linha de conta com o factor do operador.

Há, no entanto, um outro factor quase determinante na escolha de um ou outro processo de soldadura: o local onde se vai desenrolar a execução da soldadura. Caso se pretendam efectuar operações de soldadura no exterior – exemplo disso são as diversas obras que se desenvolvem nas indústrias petroquímica e cimenteira, sujeitas às condições meteorológicas –, o processo SMAW e, eventualmente, o processo FCAW, são preferidos em relação a todos os outros, devido à sua tolerância quanto à presença de vento. Mas, efectuar trabalhos em estaleiro, onde os factores do operador são



bastante baixos, não podem servir como base a um estudo como este. Pretende-se, sim, estabelecer comparações e quais as melhores opções em função dos trabalhos pretendidos.

Como remate final poderá dizer-se que dispondo do equipamento, possibilitando o uso de ambos os processos (GMAW e FCAW), na maioria dos casos é preferível o uso do processo com arames fluxados. Haverá só um parêntesis a fazer: a responsabilidade do fabrico requerido que, por sua vez, condicionará a exigência ao nível de qualidade das soldaduras. Isto é, efectuar a soldadura de um componente de menor importância numa estrutura industrial é totalmente diferente da qualidade requerida numa soldadura num equipamento de grande responsabilidade, podendo estar em causa a segurança de pessoas, equipamentos e instalações. Outro pormenor a ter em conta será a dimensão de cada cordão de soldadura individualmente. Em cordões com maior comprimento, tirar-se-á maior proveito da diferença entre as taxas de depósito do processo FCAW face ao processo GMAW. Havendo a necessidade de uma quase constante situação de pára-arranca, aliada à regular mudança de posição de soldadura, conduzindo a um baixo factor do operador, o processo GMAW é preferível, não se conseguindo retirar o verdadeiro proveito do processo FCAW.





8. ESTUDOS E PESQUISAS ANTERIORES

8.1. MORIMOTO, T. “DEVELOPMENTS IN FLUX-CORED WIRE FOR GAS-SHIELDED ARC WELDING”. *KOBELCO TECHNOLOGY REVIEW NO. 26*, DEC. 2005.

O uso de consumíveis fluxados para a soldadura por arco eléctrico com protecção gasosa cresceu incrivelmente nos últimos 25 anos no Japão. O arame fluxado representa mais de 30% do total de consumíveis de soldadura gastos. São principalmente usados na construção naval e, devido à sua relação custo-eficiência, expandiram-se também a outras indústrias. O presente estudo assenta no desenvolvimento, produção e aplicação dos consumíveis fluxados para aços ao carbono de construção, aços com alta tensão de rotura (490 MPa) e aços inoxidáveis.

INTRODUÇÃO

No Japão, desde o aparecimento da soldadura por eléctrodos revestidos (SMAW), há cerca de 90 anos, a tecnologia de soldadura por arco eléctrico teve um desenvolvimento considerável. A busca por altas eficiências e velocidades de soldadura, o aparecimento da soldadura por arco submerso (SAW), a protecção gasosa na soldadura e a automatização e robotização da soldadura, foram avanços importantes a salientar.

Os consumíveis de soldadura por arco eléctrico com protecção gasosa são, basicamente, classificados em arames sólidos e arames fluxados. O uso destes últimos aumentou incrivelmente devido à sua operabilidade e eficiência.

Na Figura 30 é mostrado o resultado de diversos estudos da taxa de aplicabilidade dos diferentes processos de soldadura às várias indústrias de construção.

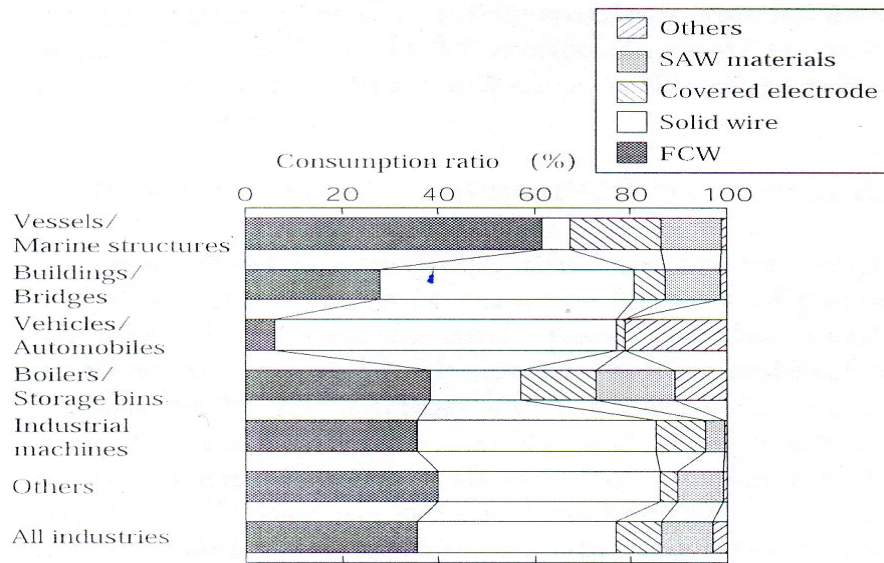


Fig. 29: Processos de soldadura vs. tipo de indústria

Fonte: Morimoto, T. "Developments in Flux-Cored Wire for Gas-Shielded Arc Welding".

Kobelco Technology Review No. 26, Dec. 2005

Pela análise da figura, pode-se concluir que o uso do processo FCAW é mais evidente na construção de depósitos e estruturas marítimas, mas, em geral, excede em cerca de 30% todos os outros processos usados nas restantes indústrias, exceptuando-se o caso da indústria automóvel.

Torna-se assim evidente a necessidade do desenvolvimento do processo FCAW, estando bem presente em (quase) todas as indústrias da construção.

HISTÓRIA DOS CONSUMÍVEIS FLUXADOS PARA AÇOS AO CARBONO

A história dos consumíveis fluxados divide-se em 3 períodos. O primeiro era caracterizado pelo uso de arames de grande diâmetro, 3,2 mm, sendo, no entanto, limitada a sua aplicação, devido à sua soldabilidade e adaptabilidade.

No início do segundo período, em 1979, a aplicação destes consumíveis expandiu-se consideravelmente, tendo sido desenvolvidos arames de menores diâmetros, 1,2 mm, bem como consumíveis com escória, tipo eléctrodo revestido, adaptáveis a todas as posições de soldadura.

O terceiro período, o qual começou por volta de 1985, foi caracterizado pelo aparecimento do consumível fluxado tipo *metal cored*, sem produção de escória. O progresso da automatização e robotização dos processos de soldadura, juntamente com o início do consumível tipo *metal cored*, tornou possível não só a expansão da construção naval, mas também outras indústrias onde era

necessária uma alta velocidade de soldadura aliada a poucos ou nenhuns salpicos gerados pela soldadura, sem escória, semelhante ao processo MAG com arames sólidos.

Em 1989, o uso de aços ao carbono de construção e aços com alta tensão de rotura 490 MPa impulsionou também o desenvolvimento do consumível fluxado tipo *metal cored* nos primeiros passes da soldadura. Estes causam menos porosidade nos cordões de canto usados na construção naval e de pontes.

Iguais estudos foram desenvolvidos para a utilização com aços com elevada tensão de rotura (590 MPa), aços para operarem a baixas temperaturas e aços inoxidáveis.

A Figura 30 mostra as várias classificações dos consumíveis fluxados para a soldadura de aços ao carbono.

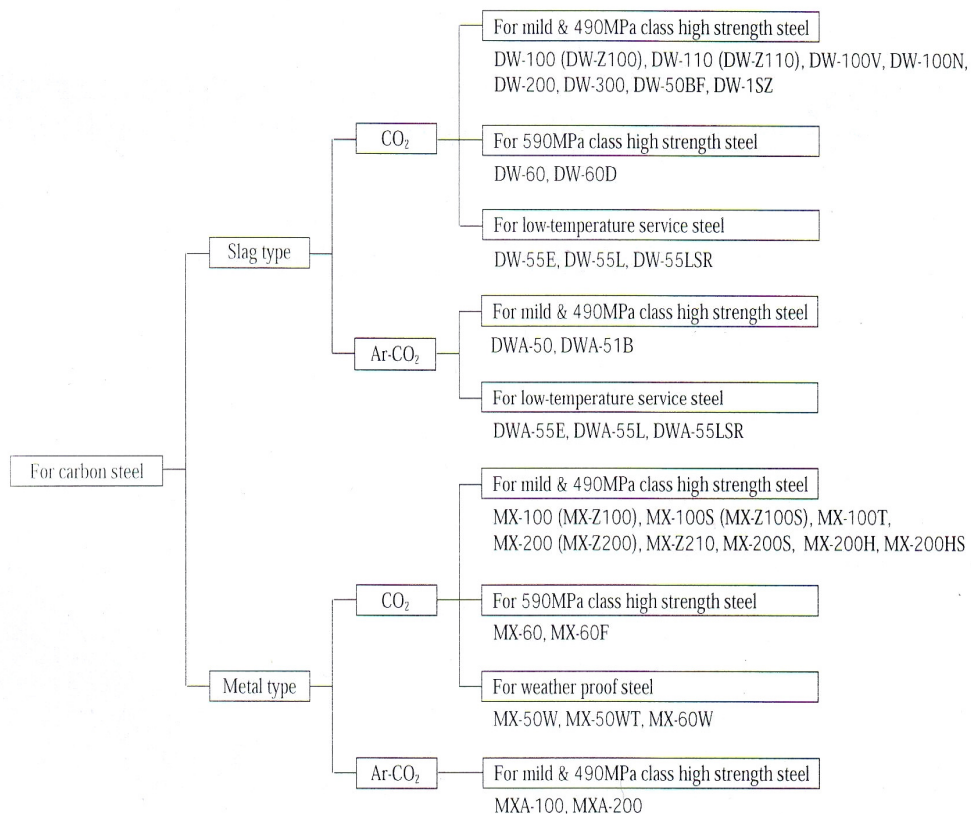


Fig. 30: Classificação dos consumíveis fluxados para aço ao carbono

Fonte: Morimoto, T. "Developments in Flux-Cored Wire for Gas-Shielded Arc Welding".

Kobelco Technology Review No. 26, Dec. 2005

PROPRIEDADES REQUERIDAS PARA UM CONSUMÍVEL FLUXADO PARA AÇOS AO CARBONO

Genericamente, a história dos processos de soldadura assentou sempre no desejo de maior eficiência e velocidade de soldadura. O uso de consumíveis fluxados para a soldadura de aços ao carbono tem como objectivos base o alcançar de altas taxas de depósito, altas velocidades de soldadura e robotização.

No entanto, a Figura 31 indica os requisitos-chave que um consumível fluxado deve possuir: necessidade da diminuição de salpicos, menos geração de fumos durante a soldadura, menor porosidade do cordão de soldadura, fácil alimentação do arame e maior rapidez na execução da soldadura. Apenas o factor menor geração de fumos durante a soldadura tem requisitos de carácter ambiental, sendo os restantes resultantes de uma necessidade de obter maior eficiência e maior velocidade de soldadura.

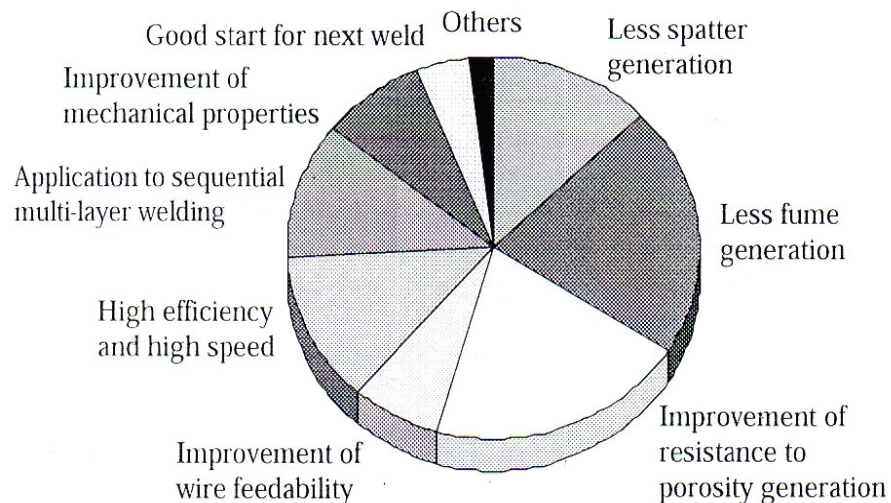


Fig. 31: Requisitos-chave de um consumível fluxado

Fonte: Morimoto, T. "Developments in Flux-Cored Wire for Gas-Shielded Arc Welding".

Kobelco Technology Review No. 26, Dec. 2005

O desenvolvimento de consumíveis fluxados conduz também ao avanço de novos processos de soldadura, novas aplicações desses consumíveis, onde os convencionais não são utilizáveis.

Mais especificamente, devem ser desenvolvidas pesquisas no campo dos processos de soldadura com consumíveis fluxados para eléctrodos múltiplos e para o tratamento térmico após soldadura (PWHT), o qual não é possível com consumíveis fluxados tradicionais.



TENDÊNCIAS DOS DESENVOLVIMENTOS DOS CONSUMÍVEIS FLUXADOS PARA AÇOS AO CARBONO – OBJECTIVO DE ALTA EFICIÊNCIA E ELEVADA VELOCIDADE

Os consumíveis fluxados com produção de escória são amplamente usados na construção naval devido à sua boa operabilidade em todas as posições, requerendo-se um grande número de soldaduras verticais e fora de posição. Um novo arame fluxado foi desenvolvido para a soldadura robotizada, o qual, devido à boa resistência à queda de gotas do banho, é bastante utilizado em soldaduras verticais. O banho de fusão e a escória apresentam uma viscosidade mais elevada, bem como o ponto de fusão da própria escória é mais alto. Estes factores melhoram bastante a eficiência das soldaduras robotizadas verticais ascendentes.

É comum, nas soldaduras usadas na construção naval, utilizar-se uma protecção gasosa no lado do chanfro, sendo que, no lado oposto, aplicam-se placas de cerâmica, facilitando consideravelmente o processo. Contudo, os arames fluxados têm elevada susceptibilidade ao aparecimento de fissuração a quente, quando comparados com os fios sólidos. Como resultado, deve ser limitada a intensidade de corrente eléctrica durante o processo, diminuindo, assim, a eficiência e qualidade. De forma a solucionar este problema, um novo consumível foi desenvolvido, com uma maior resistência à fissuração a quente. Optimizou-se a composição química do arame para o primeiro passe de soldadura. Com este tipo de consumível, no caso de juntas de penetração com ângulos da ordem dos 40°, é possível soldar com elevada intensidade de corrente (260 A) para arames de 1,2 mm de diâmetro, incrementando a eficiência do primeiro passe de soldadura.

Na construção de pontes, quanto menos vigas principais se usar melhor, com o propósito da redução de custos. Em consequência, os seus constituintes têm tendência para ser maiores, chapas de maior espessura e cordões de soldadura de canto com maior cateto. Assim, foi desenvolvido um arame fluxado para soldaduras de canto com maior cateto. Nos consumíveis fluxados convencionais, o maior cateto não ia além de 8 mm, prevenindo-se, assim, a fissuração interna. O arame desenvolvido permite soldaduras de passe simples com cordões com cateto acima de 10 mm, devido à maior viscosidade e maior quantidade de escória.

MELHORIAS PARA O MEIO AMBIENTE

Em resposta aos recentes requisitos ambientais para as indústrias, apareceram novos consumíveis fluxados com menor geração de fumos e salpicos. Em comparação com os arames tradicionais, verifica-se uma redução de cerca de 30%. Isto deve-se à pouca quantidade de carbono presente no arame, bem como à adição de metais alcalinos, estabilizando o arco eléctrico e a transferência de metal.



PESQUISA DE CONSUMÍVEIS FLUXADOS PARA AÇOS INOXIDÁVEIS

Os aços inoxidáveis são amplamente utilizados em diversas indústrias, devido à sua elevada resistência à corrosão, sendo o seu uso incrementado anos após ano. À semelhança dos aços ao carbono, os aços inoxidáveis também utilizam o processo SMAW com eléctrodos revestidos, a soldadura TIG, SAW e a soldadura com protecção gasosa. A utilização de arames fluxados na soldadura de aços inoxidáveis cobre cerca de 50% dos consumíveis. Há 3 tipos de arames fluxados para aço inox: para soldaduras ao baixo ou horizontal em cordões de canto, os quais geram menos fumo e salpicos; para qualquer posição de soldadura; e os de pequeno diâmetro (0,9 mm).

Paralelamente, outros tipos de consumíveis fluxados foram desenvolvidos, em função da vasta gama de aplicações industriais, tais como os vocacionados para chapas de pequena espessura, para utilizações a alta temperatura ou para alta tenacidade.

A soldadura tradicional de chapas de inox de pequena espessura utiliza arames fluxados de diâmetro super fino (0,9 mm). Estes novos consumíveis permitem o uso de arames de diâmetro 1,2 mm, gerando menos salpicos e uma boa aparência do cordão, mesmo abaixo de 130 A, valores esses comuns para diâmetros de 0,9 mm. Isto torna-se possível devido a uma taxa de fluxo mais alta e a uma composição mais optimizada da escória. Este arame de 1,2 mm de diâmetro pode ser mais facilmente utilizado do que um de 0,9 mm, cobrindo a maior parte das aplicações deste último.

CONCLUSÕES

Relacionadas com os presentes avanços, diversas técnicas de soldadura com arames fluxados foram revistas. As ideias base para desenvolvimento dos consumíveis fluxados foram as de alta eficiência, elevada velocidade de soldadura, redução de salpicos e fumos, e resistência à ocorrência de poros.



8.2. THE LINCOLN ELECTRIC CO. “MIG VS. FLUX-CORED: WHICH WELDING PROCESS IS RIGHT FOR YOU?”.

Quando se dá os primeiros passos no mundo da soldadura, várias questões se levantam. Uma delas é: qual o processo de soldadura a usar? GMAW (MIG) ou FCAW? A melhor resposta depende de três factores: o que se está a soldar; onde se está a soldar; e o acabamento da superfície que se está a soldar.

A decisão entre os dois processos de soldadura depende da análise das suas vantagens e desvantagens.

GMAW

Conforme designação da *American Welding Society* (AWS), é também vulgarmente chamada de MIG (*Metal Inert Gas*). Usa um fio consumível sólido contínuo e uma fonte externa de gás (geralmente de um cilindro sob pressão) para protecção do banho de fusão. O arame é, normalmente, aço macio, com uma fina cobertura de cobre, o que protege contra impurezas e melhora a condutividade eléctrica, aumentando a duração do contacto eléctrico e, geralmente, melhorando o desempenho do arco eléctrico.

O soldador deve operar em corrente contínua (DC), polaridade positiva. O gás de protecção, o qual é, normalmente, dióxido de carbono ou misturas deste com árgon, protege o banho de fusão de reacções com a atmosfera circundante. O gás de protecção flui através da mangueira e da tocha de soldadura até ao bocal, juntamente com o arame. Este reage muito com o oxigénio, nitrogénio e hidrogénio da atmosfera, se a eles exposto. O gás, geralmente, continua a fluir algum tempo após a soldadura, protegendo o metal e arrefecendo-o. Uma pequena brisa pode desviar o gás de protecção do banho, causando porosidades, razão pela qual a soldadura no exterior é, normalmente, evitada, a menos que painéis especiais anti-vento possam ser montados.

Contudo, se a soldadura for realizada convenientemente, a aparência do cordão pode ser excelente com a soldadura MIG, sendo o processo preferido pelos soldadores. Uma boa técnica irá promover excelentes resultados. Uma soldadura convenientemente efectuada não terá descontinuidades nem salpicos. Um determinado ângulo da tocha de soldadura é, normalmente, utilizado para melhorar a cobertura do gás e obter melhores resultados. Se o material que se está a soldar estiver sujo, com impurezas ou pintado, deve ser limpo por rebarbagem até estar livre dessas impurezas. A soldadura MIG pode ser usada com quase todos os metais comerciais, incluindo aços de



baixo carbono, aços de baixa liga, aços inoxidáveis e alumínio, com potencial para excelentes resultados mesmo quando executada por principiantes.

SOLDADURA MIG NO ALUMINIO

Soldar alumínio requer algo mais do que trocar o arame consumível por alumínio.

O alumínio é muito macio, requer rolos de deslizamento com calha em “U” e ausência de estrias ou dentados que impeçam o deslocamento do arame. A limpeza do arame e do metal base é essencial, devendo usar-se acetona e escovas de arame em aço inoxidável que só tenham sido usadas com alumínio. A tensão nos rolos de deslizamento do arame e o comprimento do cabo da tocha devem ser mínimos. Tochas com cabos com interior em *teflon* ou *nylon* devem ser usadas para minimizar a fricção com a alimentação de arame.

Como gás de protecção deve ser usado argon 100% puro. Os contactos eléctricos devem ser específicos e os movimentos da tocha devem ser evitados. É um desafio, mas pode ser alcançado.

PROCESSO DE SOLDADURA COM FIOS FLUXADOS AUTO-PROTEGIDOS

A FCAW (designação da AWS), ou, em linguagem corrente, fios fluxados, é diferente da GMAW, pois utiliza um arame cujo interior contém componentes que, quando queimados pelo calor desenvolvido pelo arco eléctrico, produzem gases de protecção e agentes de fluxo que auxiliam a soldadura, sem a necessidade de gás de protecção de fonte externa. Esta protecção é bastante eficaz, diminuindo os efeitos mesmo de uma forte brisa externa. O arco é fortalecido mas tem salpicos. Quando concluída, a soldadura está coberta por uma escória que, geralmente, necessita de ser removida.

De forma a facilitar a visibilidade do operador, é indicado um determinado ângulo da tocha de soldadura. O acerto dos parâmetros de soldadura no equipamento de soldadura é, aqui, mais criterioso. Este tipo de soldadura foi primeiramente utilizado no exterior, em soldaduras de aço macio. O *innershield 0,035” NR-211-MP* é regularmente utilizado nas máquinas de 115 V e o *innershield 0,045” NR-211-MP* nas máquinas de 230 V.

Os agricultores descobriram que este tipo de processo de soldadura podia salvar plantações e colheitas, dado que era possível reparar uma máquina danificada no meio do campo em tempo recorde.



REGRAS GERAIS DE UTILIZAÇÃO

MIG

Como princípio a seguir, é recomendado o uso de uma máquina MIG compacta de 115 V para soldaduras em espaços interiores, para aços de 1/16" a 1/8" (1,5-3 mm) de espessura. O arame mais fino, 0,025" (0,6 mm de diâmetro), será mais aconselhado para soldaduras de baixas espessuras (1,5 mm). O arame de 0,030" (0,8 mm) de diâmetro permitirá uma soldadura mais rápida com maior taxa de depósito. Se necessitar de soldar material de maior espessura, 1/8" a 1/4" (3-6 mm), com o processo MIG irá necessitar de maior capacidade através de uma máquina compacta de 230 V. A maior gama de intensidades desta máquina permite mais facilmente executar uma soldadura num só passe, sem perda de tempo com a execução de segundos e terceiros passes. Pode também utilizar arame de 0,030" (0,8 mm). Para usar esta máquina MIG para soldar espessuras acima de 1/4" (6 mm), deverá ter maior capacidade, conseguida através de uma máquina industrial. Se a maior parte das suas soldaduras são executadas em espaços fechados, com material limpo com menos de 1/8" (3 mm) de espessura, uma máquina MIG que opere a 115 V é, provavelmente, a melhor escolha em termos económicos.

Fios Fluxados

O processo por fios fluxados é apenas recomendado para materiais de espessura acima de 2 mm. Para espessuras abaixo, é preferível o processo MIG. Geralmente, o FCAW é melhor para soldaduras de maiores espessuras num único passe, especialmente para soldaduras no exterior.

Uma máquina de 115 V para uso de fios fluxados de diâmetro 0,035" (0,9 mm), como o *innershield NR-211-MP*, permite, geralmente, soldar aço com espessuras acima de 1/4" (6 mm). Convém salientar que se trata do dobro da espessura máxima aconselhável com o uso de uma máquina MIG de 115 V. Com o eléctrodo apropriado, como o *innershield 0,045" NR-211-MP*, na máquina aconselhada, pode-se soldar aço de espessuras acima de 1/2" (12 mm). É de notar que, para o *innershield 0,045" NR-211-MP*, a máquina deve estar regulada para corrente contínua (DC), polaridade negativa.



VANTAGENS E DESVANTAGENS

MIG: Vantagens

- A melhor escolha quando é requerida boa aparência do cordão, pois há menor presença de salpicos que no processo por fios fluxados. O arco eléctrico é mais suave e menor para passar através de materiais finos;
- Os poucos salpicos associados ao processo MIG resultam num menor tempo com limpeza;
- A soldadura MIG é o processo mais fácil de aprender e aquele em que o operador mais liberdade tem para alterar comprimentos de arco ou velocidades de soldadura. Os parâmetros de soldadura são mais facilmente “esquecidos”;
- Com astúcia, com tochas apropriadas, gás de protecção, rolos de deslizamento e eléctrodos indicados, o processo MIG pode soldar uma vasta gama de materiais, incluindo materiais finos e outros, como o aço inoxidável, ligas de níquel ou alumínio.

MIG: Desvantagens

- Devido à necessidade de uma garrafa de gás de protecção, o processo MIG poderá não ser o escolhido quando se pretende portabilidade e comodidade. Também requer equipamento adicional, como reguladores, solenoide (electroválvula) no alimentador de arame e manómetro;
- O primeiro trabalho do soldador é preparar a superfície, removendo tintas, sujidade e qualquer outra contaminação;
- O processo MIG tem um arco fraco, o qual não é apropriado para materiais com maior espessura; 4 mm deve ser a espessura máxima para a soldadura MIG com uma máquina compacta de 115 V e 1/4” (6 mm) o máximo com uma máquina compacta de 230 V. Com o aumento da espessura do material (aço), o risco de colagens também aumenta, devido à alta entrega térmica necessária para uma boa fusão, a qual não é possível com este tipo de equipamento.

Fios Fluxados: Vantagens

- Os fios fluxados autoprotégidos são óptimos para soldaduras no exterior, mesmo na presença de vento. Uma protecção externa com gás e um equipamento adicional não são necessários, facilitando a regulação, simplificando-a, tornando-a mais fácil e rápida;



- O processo por fios fluxados é mais apropriado para soldaduras em materiais de maior espessura, sendo menos propenso a colagens.

Fios Fluxados: Desvantagens

- Não é recomendado para espessuras pequenas (abaixo de 1,5 mm);
- Os parâmetros do equipamento de soldadura devem ser precisos. Uma pequena mudança na tocha de soldadura poderá originar uma grande alteração no arco. A posição da tocha é mais crítica, devendo ser firme e com ângulo apropriado, para criar uma boa soldadura;
- Este processo origina salpicos e escória, os quais necessitam de ser removidos para posterior pintura e acabamento.

Convém salientar que a mesma máquina pode ser usada para soldar com ambos os processos, apenas sendo necessário um pacote específico para trocar de um processo para outro. Rolos de deslizamento, gás de protecção, tochas, contactos eléctricos e parâmetros de regulação devem ser tidos em consideração quando se altera o processo de soldadura.

ESCOLHA DO ARAME

Outra área que poderá causar alguma confusão ao soldador principiante é como escolher o melhor arame. O diâmetro do arame mais apropriado está relacionado com a espessura da chapa e o soldador. Com um arame de menor diâmetro é mais fácil soldar chapas finas.

Para uma máquina MIG de 115 V, um eléctrodo como o 0,025" *SuperArc I-56* da Lincoln é o de menor diâmetro e o mais fácil de usar em material fino. O 0,030" *SuperArc* deverá soldar material de maior espessura com maior rapidez. Para fios fluxados, uma máquina de 115 V deve utilizar arame de 0,035" (0,9 mm) (*innershield NR-211-MP* da Lincoln), pois é o arame de menor diâmetro que a máquina pode utilizar.

Para uma máquina MIG de 230 V, conseguem-se soldar peças de maior espessura passando para o arame sólido de 0,030" (0,8 mm) e 0,035" (0,9 mm) de diâmetro, como o 0,030 ou o 0,035 *SuperArc I-56*, pois depositam metal mais rapidamente. Para uma máquina com fios fluxados de 230 V, a maioria dos operadores usa o 0,045" *innershield NR-211-MP* para chapas acima de 1/2" (12 mm) de espessura.

Apesar do excelente desempenho destas máquinas, há casos em que não é possível utilizá-las, como no endurecimento de superfícies para anti-desgaste e, muito especialmente, com eléctrodos que



excedem a sua capacidade. A tensão de saída da máquina deve ser cuidadosamente verificada e adequada ao eléctrodo a usar, ao seu diâmetro e velocidade de alimentação do arame.

TÓPICOS PARA AMBOS OS PROCESSOS

- É muito importante conseguir uma junta de soldadura boa e sólida. Isto significa que a superfície onde as pinças do cabo de retorno vão fixar-se deve estar limpa, permitindo, assim, o fácil deslocamento da corrente eléctrica através da peça. Tinta e sujidade são isolantes, devendo ser removidas;
- A alimentação da máquina de soldar deve ser colocada num circuito em separado, já que se está a soldar a cerca de 5000 °F (2760 °C). Nunca tentar soldar com alimentação de corrente inadequada;
- Uma boa preparação e montagem da junta de soldadura são bastante benéficas. As juntas de soldadura são de canto ou de topo. Evitar folgas sempre que possível, para minimizar os problemas de fusão. Isto é particularmente crítico nas peças de metal fino;
- Manter o cabo da tocha tão direito e esticado quanto possível, permitindo a livre passagem do arame. Não deve ser dobrado ou vincado;
- Os contactos eléctricos devem estar em bom estado (sem estrições ou fusões) e conectados correctamente;
- Cortar o arame correctamente antes de iniciar a soldadura permite um melhor trabalho;
- Usar um correcto *stickout* e mantê-lo apropriado aos procedimentos de soldadura;
- Manter os rolos de deslizamento com rolamento suave e tensão adequada;
- Relaxar e tentar segurar a tocha de soldadura tão firme e suavemente quanto possível;
- Observar e seguir todas as regras de precaução indicadas: tomar especial atenção a um possível choque eléctrico, raio de luz do arco que pode queimar a pele e os olhos, fogo e explosão, e a uma ventilação apropriada, entre outros. Para mais detalhes consultar a norma *ANSI Z 49.1*.



8.3. INGALLS SHIPBUILDING, INC. EVALUATION OF THE FILLET WELD
SHEAR STRENGTH OF FLUX CORED ARC WELDING ELECTRODES. THE
NATIONAL SHIPBUILDING RESEARCH PROGRAM, SEP. 1989.

Este relatório apresenta os resultados de um projecto iniciado pelo Painel de I&D de Soldadura do Comité de Produção Naval da Sociedade dos Arquitectos Navais e Engenheiros da Marinha SP-7. O projecto foi financiado através de um contrato celebrado entre a Administração da Marinha dos EUA e a empresa Ingalls Shipbuilding, Incorporated. Teve como principal objectivo o desenvolvimento de dados para a tensão de corte transversal e longitudinal nos consumíveis fluxados. A maior capacidade para altas tensões de corte dos fios fluxados comparativamente aos arames sólidos e eléctrodos tradicionais promoveu, de forma consistente, a sua implementação para o caso das soldaduras de canto usadas nas estruturas navais.

No projecto naval, a tensão de corte é realçada quando são determinados os requisitos de uma soldadura de canto. A eficiência da junta é baseada na capacidade de carga do membro mais fraco e pela tensão de corte do consumível. O *standard* de projecto, *MIL-STD-1628*, não inclui valores da tensão de corte para consumíveis fluxados. Presentemente, os valores usados para o caso dos eléctrodos do processo SMAW são tomados como referência nos cálculos. Este projecto foi subvalorizado devido à grande variedade de soldaduras de canto (podem atingir 90% das juntas de ligações estruturais) presentes num típico projecto naval. Isto representa milhares de metros de comprimento de soldadura por cada navio.

O projecto em análise avaliou a tensão de corte longitudinal e transversal dos eléctrodos *MIL-71 T1-HY* e *MIL-101 TC/TM*. As respectivas composições químicas estão indicadas na Tabela 19.

	<u>MIL-71T1-HY</u>	<u>MIL-101-TC/TM</u>
C	0.12	0.10
Mn	0.50-1.75	0.50-1.50
Si	0.90	0.60
Ph	0.030	0.020
S	0.030	0.017
Ni	0.50	1.30-3.75
Cr	0.20	0.20
Mo	0.30	0.50
V	0.05	0.05
Cu	0.20	0.06

Tab. 20: Composições químicas de consumíveis fluxados

Fonte: Ingalls Shipbuilding, Inc. Evaluation of the Fillet Weld Shear Strength of Flux Cored Arc Welding Electrodes. The National Shipbuilding Research Program, Sep. 1989



Estes eléctrodos têm um valor de tensão de rotura e uma capacidade de penetração mais elevados, quando comparados com os equivalentes no processo SMAW, nomeadamente, os eléctrodos revestidos *MIL-7018-M6* e *MIL-1001 8-MI*. O critério do standard *MIL-STD-1628* não considera os possíveis efeitos que estas características terão no corte mecânico das juntas, originando valores de tensão de corte mais elevados nas soldaduras de canto. Os efeitos poderão ser tão significativos que garantam a redução do cordão de canto requerido na fase do projecto de navios, sem redução da resistência estrutural. Os benefícios primários esperados pela redução da dimensão do cordão de canto são a significativa redução do seu peso e o decréscimo dos custos de produção, tanto em termos de mão-de-obra como de materiais.

Testes realizados a soldaduras de canto, efectuados com os eléctrodos *MIL-71 T1-HY*, revelaram altas tensões de corte, quando comparados com os dados equivalentes para o processo SMAW. Os valores obtidos para o caso dos eléctrodos *MIL-101 TC/TM* foram equivalentes.

Este projecto conseguiu dar respostas a muitas das questões levantadas sobre a penetração e tensão de corte nas soldaduras de canto. Os dados suportam uma proposta de revisão ao documento de projecto da Marinha dos EUA, de permitir menores cordões de canto nas construções soldadas para o caso de aços cuja tensão limite de elasticidade é inferior a 80 ksi (+/- 552 MPa), mas não para materiais de maior tensão.

Quando implementado, mesmo a redução de 1/16" (1,6 mm) na dimensão dos cordões de canto, conforme indicado pelos resultados do projecto, irá produzir uma significativa diminuição nos custos com a soldadura, tanto para a construção naval militar como para a construção naval comercial.



8.4. THE LINCOLN ELECTRIC CO., LEE, K. *INCREASING PRODUCTIVITY WITH A FCAW WIRE OPTIMIZED FOR YOUR APPLICATION.*

O processo de soldadura GMAW, com um arame macio sólido, é popular, fácil de usar e eficiente em muitos casos, mas tem limitações e falhas. Por exemplo, o processo GMAW é lento ao soldar-se fora de posição. É limitado à transferência por curto-circuito, a qual é restringida por muitos códigos de soldadura devido à tendência para faltas de fusão; ou à transferência por arco pulsado, a qual requer uma fonte de potência específica. Também requer aço com elevada limpeza.

Um arame fluxado é otimizado para obter resultados que não são possíveis com um arame sólido. Para muitas aplicações de soldadura, tais como soldaduras na vertical, ao baixo, de aços galvanizados ou em aços de elevada dureza, um arame fluxado é melhor e mais rápido.

A possibilidade de adicionar uma variedade de materiais ao fluxo do arame de soldadura permite alcançar uma variedade de benefícios. Os agentes criadores de escória protegem o banho de fusão, moldam e suportam a soldadura. Agentes de limpeza e fluxo são usados para refinar o metal fundido. O pó de ferro é utilizado para aumentar a taxa de depósito e a adição de ligas produz depósitos de baixa liga, ou melhora as propriedades mecânicas.

A soldadura por arco com fios fluxados com protecção gasosa (FCAW-G) foi introduzida no mercado por volta de 1957. A soldadura por arco com fios fluxados auto-protégidos (FCAW-S) apareceu mais tarde, por volta de 1961.

Os componentes do fluxo para os arames para a soldadura FCAW-G foram desenvolvidos com vista à obtenção de performances impossíveis de conseguir com o arame sólido da soldadura GMAW. Como toda a protecção é conseguida através do gás, o fluxo deve ser cuidadosamente seleccionado para maximizar a performance da soldadura, à semelhança do que se obtém com uma transferência tipo *spray*, com uma protecção com 100% de dióxido de carbono e velocidades de soldadura duas vezes mais rápidas na posição vertical.

Por outro lado, na soldadura FCAW-S, os constituintes do fluxo devem promover toda a protecção. Geram os seus próprios gases de protecção, escória e componentes que melhoram o banho de soldadura. Os benefícios dos arames fluxados autoprotégidos residem na sua simplicidade. Devem ser usados no exterior, na presença de vento forte, sem protecções e sem o equipamento adicional para o gás de protecção.

Vejam os vários tipos comuns de arame fluxado e como podem aumentar a produtividade da soldadura.



Para a soldadura semi-automática fora de posição, os arames E-71T-1 oferecem um inultrapassável desempenho. A escória de rutilo de rápido arrefecimento conduz às mais altas taxas de depósito na posição vertical ascendente, acima de 7 lbs/hr (+/- 3,2 kg/h), inalcançável por nenhum outro processo de soldadura. Além disso, os arames E-71T-1 também produzem um suave arco eléctrico e mínimos salpicos, mesmo com uma protecção com 100% de dióxido de carbono. Misturas de argon e dióxido de carbono são usadas para tornar o arco eléctrico mais suave e melhorar o desempenho fora de posição. Estas são razões pelas quais os arames E-71T-1 são os consumíveis fluxados mais conhecidos. São uma escolha de topo para a construção naval, estruturas de aço e aplicações de construção em aço, em geral.

Para a soldadura semi-automática fora de posição sem gás de protecção, os arames E-71T-8 oferecem a mais alta taxa de depósito. O arame *NR-232* da Lincoln Electric pode depositar 4,5 lbs/hr (+/- 2 kg/h) na posição vertical ascendente, 50% mais rápido que qualquer outro arame E-71T-8. Dado que este arame é autoprotégido, é amplamente utilizado no exterior e nas montagens em obra de estruturas metálicas.

Para a soldadura semi-automática na posição ao baixo, a forma mais rápida de unir chapas de aço com elevada espessura é com os arames E-70T-4. Conseguem a mais alta taxa de depósito para a soldadura semi-automática, acima de 40 lbs/hr (+/- 18,1 kg/h). Estes arames são largamente usados na ligação de peças de grande espessura, quando não é requerido o ensaio de impacto Charpy para medir a tenacidade. São autoprotégidos, permitindo a sua utilização no exterior.

Os arames fluxados com a mais alta taxa de depósito são os do tipo E70T-1. Em comparação com um arame E70T-4, oferecem uma taxa de depósito ligeiramente mais baixa, acima de 30 lbs/hr (+/- 13,4 kg/h), mas conduzem a um arco eléctrico mais suave e propriedades de impacto para ensaio Charpy. Produz taxas de depósito mais elevadas do que com o processo GMAW, permite o uso de chapas “sujas” e utiliza um gás de protecção mais barato, 100% dióxido de carbono. Arames do tipo E70T-1 são amplamente usados no fabrico de estruturas metálicas em oficina.

Para soldaduras de enchimento ou de metais galvanizados, os arames E71T-14 são a escolha. Os arames autoprotégidos do tipo E71T-14 têm um fluxo com componentes, os quais explodem no arco eléctrico, volatilizando a cobertura do aço e minimizando os poros e fracturas. O resultado é maior velocidade de soldadura e uma qualidade mais elevada. Os arames E71T-14 são bastante usados na indústria automóvel, com aços galvanizados.

Os arames do tipo E70T-5 de soldadura com protecção gasosa oferecem uma excelente resistência à fractura na soldadura de aços com elevada dureza, tais como o aço T-1 revenido e temperado, aços resistentes à abrasão e aços ferramenta. O arame E70T-5 tem um sistema simples de



escória, semelhante ao eléctrodo revestido 7018, o qual remove fósforo e sulfuretos do metal soldado, que podem ser causadores de fractura, poros e baixa tenacidade. Os arames E70T-5 têm os níveis mais baixos de difusão de hidrogénio nos consumíveis fluxados, resultando numa excelente resistência à fractura devido à presença de hidrogénio. Têm excepcionais propriedades de tenacidade no ensaio por impacto Charpy.

Os arames fluxados conduzem a uma elevada produtividade no caso de diversas aplicações de soldaduras semi-automáticas para vários aços macios.

Em resumo:

- E71T-1 (FCAW-G): alta taxa de depósito em soldaduras fora de posição;
- E71T-8 (FCAW-S): alta taxa de depósito em soldaduras fora de posição, sem gás de protecção;
- E70T-4 (FCAW-S): alta taxa de depósito em soldaduras ao baixo;
- E70T-1 (FCAW-G): alta taxa de depósito em soldaduras ao baixo com propriedades de impacto para ensaio Charpy;
- E71T-14 (FCAW-S): maior velocidade de soldadura para enchimentos ou soldaduras de aços galvanizados;
- E70T-5 (FCAW-G): forma mais rápida de soldar aços com elevada dureza.

8.5. A GUIDE TO ESTIMATING THE CONSUMPTION OF WELDING CONSUMABLES.

A Figura 32 mostra o consumo calculado de consumíveis de soldadura em função da espessura da chapa, processo de soldadura, ângulo da junta de soldadura de penetração total e afastamento para o caso de juntas topo-a-topo.

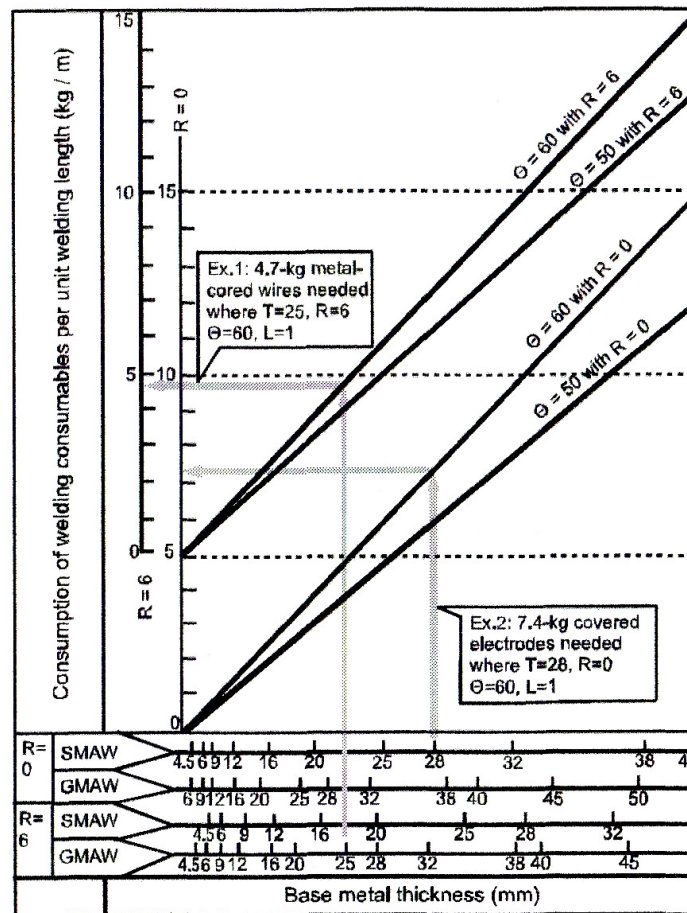


Fig. 32: Consumo de eléctrodos na soldadura SMAW e GMAW

Adaptado de: *The Procedure Handbook of Arc Welding. The Lincoln Electric Company, 1994*

A Figura 33 indica o cálculo do consumo de consumíveis de soldadura em função da dimensão do cordão de canto, processo de soldadura e dimensão do reforço do cordão de soldadura.

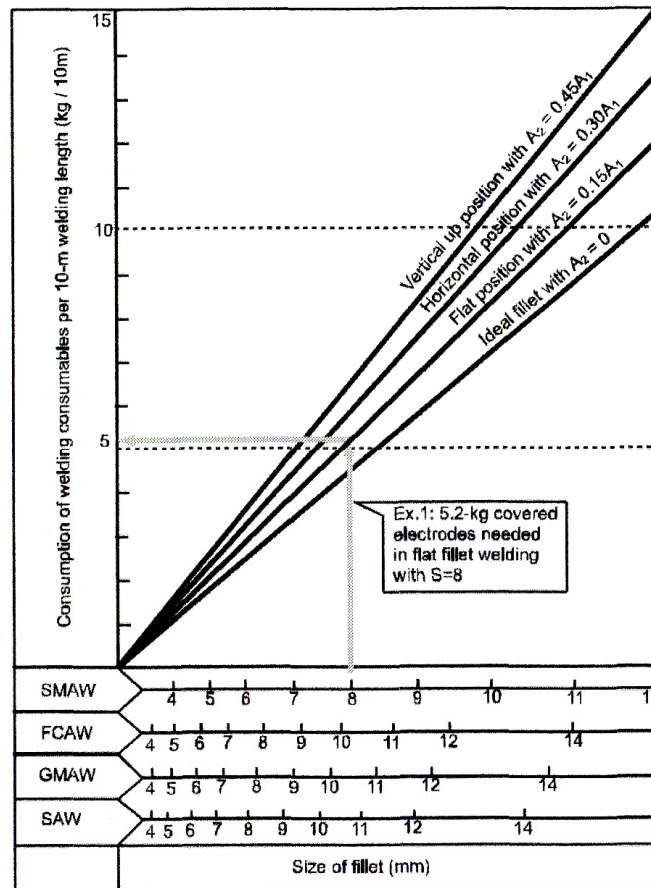


Fig. 33: Consumo de eléctrodos na soldadura SMAW, FCAW, GMAW e SAW

Adaptado de: *The Procedure Handbook of Arc Welding*. The Lincoln Electric Company, 1994

Os diagramas foram desenvolvidos com os cálculos obtidos a partir da equação seguinte, tanto para cordões de penetração como cordões de canto, seguindo diversos requisitos:

$$C = [(A_1 + A_2) \times L \times G / E] \times 1 / 10$$

- C: gasto em consumíveis de soldadura [kg];
- A_1 : área da secção A_1 de metal soldado [mm^2];
- A_2 : área da secção A_2 de reforço do cordão de soldadura [mm^2];
- L: comprimento da soldadura [m];
- G: densidade do metal soldado [$7,85 \text{ g/m}^3$];
- E: eficiência do depósito [%]; SMAW – 0,55%; GMAW – 95%; FCAW – 90%; SAW – 100%.

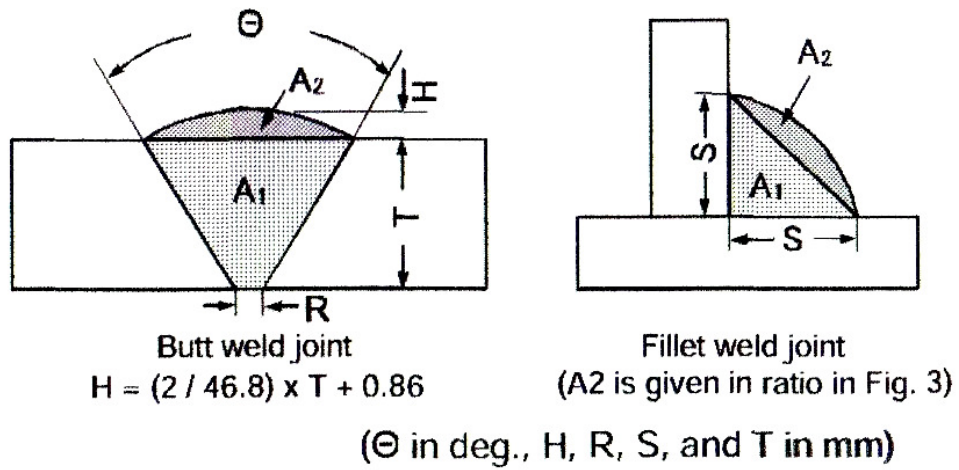


Fig. 34: Dimensões dos cordões de canto e de topo

Adaptado de: *The Procedure Handbook of Arc Welding*. The Lincoln Electric Company, 1994



9. NOTAS FINAIS

O uso de um consumível fluxado, em substituição de um arame sólido, ou vice-versa, assenta, basicamente, no tipo de peça a ligar e sua constituição. Isto é, o tipo de fabrico maioritariamente presente na empresa. No entanto, não deverá ser condicionador do uso exclusivo deste ou daquele processo de soldadura.

Factores económicos poderão ditar o uso de um determinado processo de soldadura em detrimento de outro, cuja implementação implique um avultado investimento. Neste caso, o retorno do capital investido apenas será conseguido passados muitos anos, podendo, até lá, o equipamento tornar-se obsoleto, sem nunca se reaver o justo valor.

Caso se disponha de equipamento que possibilite o uso de ambos os processos, GMAW e FCAW, a decisão de optar por um deles terá de ser ainda mais cuidada. Seguramente, poder-se-á optar pelo processo FCAW para a realização de soldaduras em que se necessite de um rápido enchimento da junta. A maior taxa de depósito do consumível fluxado possibilita uma maior velocidade de soldadura, logo, um menor dispêndio de tempo para realizar essas mesmas soldaduras e um ganho em custos relacionados com a mão-de-obra, que, como foi referido atrás, são os mais interventivos no que respeita a gastos com a soldadura numa empresa.

Se, pelo contrário, a junta de soldadura não necessita de um grande depósito, aliando-se ainda o facto de a soldadura ser executada num só passe, os benefícios alcançados com a utilização de um arame fluxado não são muito evidentes, apresentando até uma desvantagem bastante marcante: o custo do consumível.

Por outro lado, se se está na presença de uma soldadura com um pequeno comprimento, mas com materiais de maior espessura (acima de 8 mm ou 10 mm), é quase inevitável recorrer a uma técnica de passe múltiplo, conseguindo-se uma soldadura com maior qualidade, com menor apetência para defeitos e maiores garantias. Mas, aqui, a decisão de optar por um dos processos poderá não ser tão linear. Um arame fluxado permite uma maior taxa de depósito, logo, a soldadura será completada com maior rapidez. Mas o uso de um arame sólido com maior diâmetro permite um depósito tão eficaz quanto o de um arame fluxado, a um preço bastante mais acessível. Apesar disso, é de vital importância a análise do equipamento de soldadura disponível, pois graves consequências, quer para o operador de soldadura quer para o próprio equipamento, podem daí resultar.

Já no caso de soldaduras em peças de grandes dimensões e peso, a redução, ou até mesmo inibição de movimentações das mesmas, decrescem consideravelmente os custos com a produção,



neste caso particular, custos não produtivos. Assim, um consumível fluxado, mais adaptado a soldaduras fora de posição, é, sem dúvida, o eleito.

Quando a aparência da soldadura é factor primordial, ou quando é indesejável, ou até mesmo impossível, a limpeza da soldadura, há processos mais adequados que o GMAW ou FCAW. Neste caso, ambos os processos deverão ser preteridos ao processo GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding* – vulgarmente designado por soldadura TIG).

Contudo, em função das capacidades do equipamento de soldadura, da sua correcta regulação e da adaptação dos parâmetros à soldadura em causa, poder-se-ão produzir soldaduras com qualidade, independentemente do processo em causa.

Por vezes, a alternância entre processos de soldadura não é desejável, originando paragens e tempos não produtivos.

Mais ainda, a correcta adaptação do gás de protecção à soldadura pretendida e, nas devidas proporções, poderá melhorar a qualidade do cordão realizado, o seu aspecto, ou até facilitar a sua realização.

No entanto, a análise de custos envolvidos com o gás de protecção e consumíveis de soldadura deverá ser cuidadosamente observada, dado que os valores podem vir a ser proibitivos.

Por vezes, será preferível o uso de um consumível fluxado autoprottegido, não necessitando de protecção gasosa auxiliar. Aqui, além de se reduzir custos com a soldadura, a portabilidade do processo torna-se bastante evidente. A ausência de uma garrafa de gás de protecção é um factor a ter em conta quando se opera no exterior.

A intolerância à presença de vento do processo GMAW coloca-o automaticamente de lado em utilizações no exterior.

Para início de carreira, em virtude da mais exigente formação, aprendizagem de técnicas e métodos de execução requeridos pelo processo FCAW, a soldadura GMAW é preferível. Aqui, é mais fácil e rápido o domínio da técnica, conferindo também maior liberdade de execução ao operador de soldadura.

As preocupações ambientais têm cada vez mais relevância no nosso quotidiano, nos nossos hábitos e no desempenho das nossas profissões. Neste campo, os consumíveis fluxados geram uma maior quantidade de fumos durante a soldadura. Diversos estudos e pesquisas estão a ser desenvolvidos nessa matéria com o intuito de reduzir os efeitos nocivos.

Quando se opera em espaços fechados ou confinados, eficazes equipamentos de extracção de fumos devem ser instalados, muito particularmente quando se utiliza o processo FCAW. Apesar disso, com o processo GMAW não devem ser esquecidos.



A utilização do processo de soldadura por fios fluxados assenta num compromisso estreito entre alta taxa de depósito, alta velocidade de soldadura, alta eficiência e robotização. Embora este último factor seja pouco, ou dificilmente, adaptável à construção metalomecânica de cariz médio/pesado. Está mais ou menos presente em todo o tipo de indústrias, conduzindo a extraordinários avanços e desenvolvimentos.

Com a melhoria das tecnologias e com a crescente necessidade de redução de custos com a produção, mais cedo ou mais tarde os consumíveis fluxados serão utilizados quase em exclusivo quando se fala em processos de soldadura semi-automáticos. Poderão mesmo conduzir ao desaparecimento dos processos manuais de soldadura.

O futuro comprovará essa ideia e consideráveis reduções dos custos com a soldadura poderão ser verificadas.





10. RECOMENDAÇÕES E/OU SUGESTÕES

Cada empresa tem o seu funcionamento próprio e os seus métodos de fabrico particulares. Mas, a essência das técnicas da arte da metalomecânica tem de estar sempre presente em todas as empresas do ramo, independentemente da sua dimensão ou tipo de fabrico. Assim, o uso da informação disponibilizada poderá conduzir a melhorias ao nível dos procedimentos de soldadura a adoptar, levando a benefícios no campo de:

- Estimativa dos custos envolvidos com a soldadura;
- Gestão do planeamento da produção;
- Previsão das necessidades ao nível de pessoal e equipamentos;
- Justificar o investimento em novos equipamentos;
- Analisar o desempenho do fabrico;
- Gestão de programas cujo fim é a redução de custos;
- Alavanca a programas de incentivos.





GLOSSÁRIO

- Aços ao carbono de construção: aços com baixo teor em carbono, com tensão limite de elasticidade geralmente iguais ou inferiores a 355 Mpa, normalmente utilizados na construção metalomecânica.
- Alotrópicas (alotropia): as propriedades dos metais e outros materiais dependem dos seus átomos e do tipo de ligação.
- Arco eléctrico: processo gerado pela corrente eléctrica, manifestando-se entre a junta a soldar e a extremidade da tocha de soldadura.
- Banho de fusão: mistura formada pelo material de adição e material base fundidos, mas não solidificados.
- Bocais: extremidade da tocha de soldadura através da qual é dirigido o gás de protecção.
- Bordos irregulares: periferia da soldadura com irregularidade de forma e/ou tamanho.
- Cateto do cordão: lado do triângulo rectângulo formado pela soldadura numa junta de canto.
- Colagens: má execução do cordão de soldadura, não se verificando uma homogeneização entre este e o metal base, ou entre este e o cordão sobreposto.
- Condutividade eléctrica: mede a capacidade que um material tem de se deixar atravessar pela corrente eléctrica.
- Condutividade térmica: mede a capacidade que um material tem de conduzir o calor.
- Consumível: material fundível que vai entrar na constituição da junta soldada. Deve ter as mesmas características do material a ligar.
- Corte oxigás: processo de corte térmico utilizando, geralmente, oxigénio e acetileno.
- Curva plana: representação gráfica característica do funcionamento de um equipamento de soldadura, em que a relação tensão/intensidade (V/I) decresce suavemente ou muito pouco.
- Curva tombante: representação gráfica característica do funcionamento de um equipamento de soldadura, em que a relação tensão/intensidade (V/I) decresce abruptamente.
- Disponibilidade: capacidade que um equipamento tem de estar operacional e pronto a ser utilizado.
- Ductilidade: capacidade que os materiais têm de serem reduzidos a fios.
- Ensaio Charpy: ensaio de impacto que permite medir a tenacidade de um material.
- Entrega térmica: quantidade de calor transferida ao metal de base durante a execução de uma soldadura.



- Escama: aspecto ondulado que o cordão apresenta após solidificado.
- Ferrite, austenite e martensite: formas alotrópicas do ferro.
- Fio fluxado: arame consumível tubular, podendo ser autoprotégido, contendo, no seu interior, componentes que protegem e regulam o meio envolvente à soldadura. Pode utilizar ou não gás como protecção.
- Fio sólido: arame consumível maciço, necessitando de atmosfera protegida por intermédio de um gás.
- Fissuração a quente: fenómeno detectável, por exemplo, em soldaduras de canto, quando o crescimento dos grãos de metal base origina fissuras devido ao “empurrar” das impurezas no interior da soldadura para o centro do cordão.
- Fluxo: materiais colocados no interior do fio fluxado que melhoram e protegem a soldadura.
- Gás de protecção: gás que serve para proteger o banho de fusão da penetração de agentes indesejáveis na soldadura.
- Juntas de soldadura: posições e formas conferidas às peças a ligar na zona a soldar.
- Maneabilidade: maior ou menor capacidade que um corpo tem de ser operado manualmente.
- Metal base: material ou materiais metálicos a ligar por meio de soldadura.
- Metal de adição: material consumível de características semelhantes às do metal de base.
- Mobilidade: maior ou menor capacidade que um corpo tem de ser movido de um lado para outro.
- Operabilidade: maior ou menor capacidade que um material tem de ser operado.
- Passe simples: cordão de soldadura que é efectuado apenas com uma passagem.
- Passes múltiplos: cordão de soldadura que é efectuado com mais do que uma passagem.
- Penetração: situação em que o material de soldadura preenche na totalidade as espessuras a ligar.
- “Pingadas”: operação de ligação de duas ou mais peças através de cordões de soldadura de pequena dimensão, posicionando-as para a execução da soldadura.
- Poros: defeito na soldadura caracterizado pela ausência de metal fundido num pequeno ponto no seu interior, devido ao aprisionamento de gases, os quais não se libertam durante a solidificação do metal.
- Portabilidade: maior ou menor facilidade que um corpo tem de ser transportável.
- Posição ao baixo: posição de soldadura em que o depósito do material se faz na vertical.
- Posições de soldadura: diversas posições de efectuar o depósito do material de soldadura.



- Pré-aquecimento: aquecimento induzido aos materiais a soldar, antes da execução da soldadura, com vista à eliminação de humidade ou a “amaciar” o metal a soldar, devido à sua dureza elevada.
- Provette: amostras de material base usadas para efectuar ensaios.
- Raiz da junta: zona da junta por onde é iniciada a soldadura.
- Revenido: tratamento térmico que consiste no aquecimento de peças temperadas a uma temperatura inferior à temperatura de austenitização, estágio a essa temperatura, seguido de arrefecimento, geralmente ao ar.
- Rutilo: tipo de consumível de soldadura em função da sua composição química.
- S 355 JR: designação segundo uma norma EN para um aço ao carbono com tensão limite de elasticidade de 355 Mpa.
- Salpicos: material fundido, expelido durante a soldadura sob a forma de pingos.
- Soldabilidade: maior ou menor capacidade do metal de ser soldado em função do seu teor em carbono e restantes constituintes.
- Soldadura de canto: soldadura de ligação de materiais que formam entre si um ângulo menor que 180°.
- Temperado (têmpera): tratamento térmico que consiste no aquecimento de peças até à temperatura de austenitização, estágio a essa temperatura, seguido de arrefecimento rápido para que se dê a transformação de austenite em martensite.
- Temperatura de austenitização: temperatura à qual, num aço, o seu constituinte ferrite dá lugar a austenite.
- Temperatura entre passes: temperatura verificada entre cada passe de soldadura quando se utiliza a técnica de passe múltiplo.
- Tenacidade: capacidade que os materiais têm de resistir a esforços de aplicação gradual sem se desagregarem.
- Tensão limite de elasticidade: esforço a que um material é submetido, deformando-o elasticamente; após a sua interrupção, o material volta à sua forma inicial.
- Tensão de rotura: esforço a que um material é submetido provocando a sua quebra.
- Tocha de soldadura: elemento do equipamento de soldadura que o operador de soldadura segura, dirigindo o arco e o consumível para a junta desejada.
- Tratamento térmico: melhoria das propriedades mecânicas de um material por acção do calor.



- Velocidade de alimentação do fio: velocidade com que o fio é deslocado no interior do cabo de alimentação da tocha de soldadura.
- Velocidade de soldadura: comprimento de soldadura efectuada numa determinada unidade de tempo.



BIBLIOGRAFIA

Almeida, FP, Barata, J e Barros, P. *Ensaaios Não Destrutivos*. ISQ – Edições Técnicas, 1992.

Barralis, J e Maeder, G. *Prontuário de Metalurgia*. Fundação Calouste Gulbenkian, 1997.

Comparing Flux and Metalcored Wires with Solid Wires. Fileur, Trafilerie di Cittadella.

Cruz, C e Sousa, C. *Sebenta da Cadeira de Processos de Ligação de Materiais*, Ano Lectivo 2007/2008. ISEL, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Dias Lopes, EM e Miranda, RM. *Metalurgia da Soldadura*. ISQ – Edições Técnicas.

Economic Analysis of Mechanized Welding with Flux Cored Wire. Bugo Systems, Weld Tooling Corp., 1989.

Engindeniz, E. *MAG-Welding with Flux-cored Wires*. Drahtwarenfabrik, Drahtzug Stein GmbH & Co. KG.

EUA, American Welding Society. *Structural Welding Code – Steel*. 18th Edition, Aug. 2001.

Granjon, H. *Bases Metalúrgicas de Soldadura*. ISQ – Edições Técnicas, 1988.

Ingalls Shipbuilding, Inc. *Evaluation of the Fillet Weld Shear Strength of Flux Cored Arc Welding Electrodes*. The National Shipbuilding Research Program, Sep. 1989.

Manual de Soldadura Eléctrica. Plátano – Edições Técnicas.

Morimoto, T. “Developments in Flux-Cored Wire for Gas-Shielded Arc Welding”. *Kobelco Technology Review No. 26*, Dec. 2005.

Norma *EN ISO 15614-1: 2004*.



Norma *NP EN 287-1: 2004*.

Phillips, AL (Ed.). “Welding Processes: Gas, Arc and Resistance”, Section 2. *In Welding Handbook*, 6th Edition. American Welding Society.

Pires, JS e Pires, MC. *Mecânica dos Materiais – Tecnologia Mecânica*, 2.^a Ed. Edições Asa, 1988.

Prata, ALS. *Fundamentos Metalúrgicos da Soldadura*. Edinova, 2000.

Product Catalogue 2006/2007. Kemppi GmbH.

Santos, JFO e Quintino, L. *Automatização e Robotização em Soldadura*. ISQ – Edições Técnicas, 1992.

Santos, JFO e Quintino, L. *Processos de Soldadura*, Vol. I. ISQ – Edições Técnicas.

Santos, JFO e Quintino, L. *Processos de Soldadura*, 2.^a Ed. ISQ – Edições Técnicas, 1998.

“The Procedure Handbook of Arc Welding”. The Lincoln Electric Company, 1994

The Lincoln Electric Co., Lee, K. *Increasing Productivity with a FCAW Wire Optimized for Your Application*. Disponível em <http://www.lincolnelectric.com/knowledge/articles/content/fcawire.asp>.
Acedido em 23-10-2008.

The Lincoln Electric Co. “MIG vs. Flux-Cored: Which Welding Process Is Right for You?”. Disponível em <http://www.lincolnelectric.com/knowledge/articles/content/migvsfluxcored.asp>.
Acedido em 16-10-2008.

Vaz, EEP. *Mecânica Técnica – Soldadura e Cálculos Técnicos*. Lopes da Silva Editora, 1989.

Weisman, C (Ed.). “Fundamentals of Welding”, Vol 1. *In Welding Handbook*, 7th Edition. American Welding Society, 1976.

Welding Consumables. Drahtzug Stein, Wire & Welding.



“Welding, Cutting and Related Processes”, Section 3B. *In Welding Handbook*, 6th Edition. American Welding Society.

“Welding Processes - Arc and Gas Welding, Cutting, and Brazing”, Vol 2. *In Welding Handbook*, 7th Edition. American Welding Society.





NETGRAFIA

www.aws.org

www.bugo.com

www.drahtzug.de

www.fileur.com

www.isiwebofknowledge.com

www.kemppi.com

www.kobelco.co.jp/english

www.lincolnelectric.com

www.weldingengineer.com





ÍNDICE DE FIGURAS

1. Requisitos de uma junta de soldadura	1
2. Necessidades em função do tipo de junta de soldadura	2
3. Esquema de soldadura do processo GMAW	6
4. Transferência em chuva	7
5. Transferência globular	8
6. Transferência por curto-circuito	9
7. Transferência por arco pulsado	9
8. Características do arco em função do gás de protecção	11
9. Esquema de soldadura do processo FCAW	15
10. Taxa de depósito vs. intensidade de corrente – eléctrodo fluxado E70T-1	18
11. Velocidade de alimentação do arame vs. intensidade de corrente – eléctrodo fluxado E70T-1	19
12. Ângulo do eléctrodo	20
13. Juntas de canto com e sem penetração	24
14. Posições de soldadura	24
15. Dimensões dos provetes	25
16. Provetes dos ensaios	25



17. Equipamento de soldadura usado nos ensaios -----	26
18. Influência do gás de protecção na geometria do cordão -----	28
19. Tipos de juntas de soldadura -----	29
20. Factor do operador -----	31
21. GMAW Ø1,2 – passe simples -----	33
22. FCAW Ø1,2 – passe simples -----	34 e 35
23. FCAW Ø1,6 – passe simples -----	36
24. GMAW Ø1,2 – passes múltiplos -----	37
25. FCAW Ø1,2 – passes múltiplos -----	38
26. GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 – passe simples – custos -----	43
27. FCAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,6 – passe simples – custos -----	45
28. GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 – passes múltiplos – custos -----	47
29. Processos de soldadura vs. tipo de indústria -----	58
30. Classificação dos consumíveis fluxados para aço ao carbono -----	59
31. Requisitos-chave de um consumível fluxado -----	60
32. Consumo de eléctrodos na soldadura SMAW e GMAW -----	74



33. Consumo de eléctrodos na soldadura SMAW, FCAW, GMAW e SAW -----	75
34. Dimensões dos cordões de canto e de topo -----	76





ÍNDICE DE TABELAS

1. Resumo dos testes realizados -----	5
2. Selecção do gás de protecção no caso da transferência em chuva -----	12
3. Consumíveis recomendados para a soldadura GMAW -----	13
4. Composição química dos consumíveis fluxados -----	16
5. Propriedades mecânicas e testes aos consumíveis fluxados -----	16
6. Propriedades da junta na soldadura FCAW – eléctrodo E70T-1 -----	22
7. FCAW Ø1,2 vs. GMAW Ø1,2 – passe simples -----	33
8. FCAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,6 – passe simples -----	35
9. FCAW Ø1,2 vs. GMAW Ø1,2 – passes múltiplos -----	37
10. Comparação de valores tabelados vs. ensaiados -----	41
11. Resumo de valores tabelados vs. ensaiados -----	42
12. GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 – passe simples – custos -----	43
13. FCAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,6 – passe simples – custos -----	45
14. GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 – passes múltiplos – custos, 1ª análise -----	46
15. GMAW Ø1,2 vs. FCAW Ø1,2 – passes múltiplos – custos, 2ª análise -----	47



16. SMAW vs. GMAW – passe simples – custos -----	48
17. Soldadura pelo exterior da peça – custos -----	53
18. Soldadura pelo interior da peça – custos -----	54
19. Valores de inversão de tendência -----	56
20. Composições químicas de consumíveis fluxados -----	69



ANEXOS