

Innovative digital tools for training in the field of welding

Materiais didáticos digitais para simulador de soldagem

IO2 – MATERIAIS DIGITAIS PARA APRENDIZAGEM PARA O
SIMULADOR DE SOLDAGEM

Index

1. Sumário executivo	2
2. Habilidades digitais - introdução a computadores e simulação	5
Programa do curso	5
Unidade Didática	8
3. Processos de soldagem	29
3.1. Soldagem a arco de metal a gás (GMAW)	29
Programa do curso	29
Unidade Didática	32
3.2. Soldagem a gás (GW)	65
Programa do curso	65
Unidade Didática	69
3.3. Soldagem a arco manual de metal (MMA)	86
Programa do curso	86
Unidade Didática	91
3.4. Soldagem de gás inerte de tungstênio (TIG)	121
Programa do curso	121
Unidade Didática	125
4. Garantia de qualidade em soldagem	158
Programa do curso	158
Unidade Didática	165

Sumário Executivo

DIGIWELD Ferramenta digital inovadora para a formação no domínio da soldadura é um projecto financiado por Erasmus + que aborda a Comunicação do Conselho Europeu "Repensar a Educação: Investir nas competências para melhores resultados socioeconómicos, que afirma a importância da promoção da utilização da tecnologia para uma aprendizagem eficaz e para reduzir as barreiras à educação, permitindo que os indivíduos aprendam em qualquer lugar, a qualquer hora, em percursos de aprendizagem individualizados.

Este projeto visa desenvolver:

- Uma proposta de atualização da diretiva europeia EWF-IAB-089r5-14 (ou seja, a diretiva europeia do soldador), que apoia a introdução de um novo módulo de habilidades digitais e o uso de simuladores de soldagem no treinamento prático, sob condições específicas, conforme praticável e ferramentas inovadoras para a educação e treinamento de futuros soldadores,
- Uma ferramenta digital a integrar nos simuladores como módulos dedicados à formação de jovens formandos (dos 16 aos 20 anos).

Neste sentido, os Parceiros DIGIWELD (seis entidades da Bélgica, Espanha, Itália e Roménia com experiência em Educação, Soldadura e no desenvolvimento de simuladores de soldadura) reuniram-se para propor uma componente actualizada das Directrizes Europeias de Educação e Formação para soldar para atrair jovens estagiários ao conhecimento e responsabilidade da profissão de soldador. Outro objetivo era criar um sistema de aprendizagem digital aberto e inovador (SIMTRANET) no campo da tecnologia de soldagem a arco e materiais didáticos digitais que permitiriam aos estagiários acessar informações e praticar usando simuladores de soldagem. Para atingir os objetivos do DIGIWELD, os parceiros também estão trabalhando para criar as condições para que grupos internacionais de estagiários participem ativamente de competições simultâneas de treinamento e soldagem nas condições mais seguras possíveis usando simuladores autônomos específicos ou salas de aula virtuais.

Este resultado é uma das tarefas que foram realizadas dentro do projeto **DIGIWELD Intellectual Output (IO) 2- Material didático digital para projeto de simulador de soldagem**. Centra-se no trabalho realizado pelos parceiros DIGIWELD para o desenvolvimento de materiais didáticos digitais dedicados aos processos de soldagem MIG / MAG, TIG e MMA e à Garantia da Qualidade em Soldagem, que serão carregados no SIMTRANET, um sistema de aprendizagem digital criado no contexto de DIGIWELD. Além disso, levando em consideração as restrições impostas pela pandemia COVID-19, os parceiros da DIGIWELD decidiram desenvolver um material adicional para os processos de soldagem: Soldagem a Gás.

Pretende-se ser uma análise crítica dos pontos de vista da normalização, aplicabilidade e relevância, focando na compatibilidade destes conteúdos com a European Welder Guideline, tendo em conta que estes materiais didáticos digitais se baseiam nas actualizações propostas para o European Welder Guideline. Diretriz do soldador (Diretrizes EWF - IAB-089r5-14). Portanto, os tópicos abordados pelo Módulo 2 Processos de Soldagem (processos de soldagem MIG / MAG, TIG e MMA) e pelo Módulo 3 Garantia da Qualidade em Soldagem, parte do curso DIGIWELD, estão em linha com a referida Diretriz.

Assim, este Relatório Técnico explica como o alinhamento entre os assuntos / temas da European Welder Guideline foi assegurado pelos parceiros DIGIWELD envolvidos no

desenvolvimento dos conteúdos de aprendizagem e como foi conduzida a revisão técnica para a versão final dos referidos módulos / conteúdos , dada a sua conformidade com a normalização. A sua aplicabilidade e relevância para a educação, formação e conhecimentos teóricos dos formandos está em conformidade com a European Welder Guideline e com o estado da arte mais atualizado.

Digital Competences – Introdução a Computador e Simulação

1.1 Nome do curso

Introdução aos computadores e simulação

1.2 Durata del corso

4 horas

1.3 Scopo del corso

O objetivo do curso é garantir o acúmulo de competências digitais necessárias à utilização de dispositivos digitais que criam realidade virtual e aumentada. A implementação do ambiente virtual e da realidade aumentada na formação prática dos futuros soldadores garante o acesso das novas gerações a um método de formação próximo da realidade em que vivem e desenvolvem as suas atividades quotidianas. A unidade trata de aspectos relativos à metodologia e ferramentas utilizadas no treinamento digital, sistemas de gestão de aprendizagem e uma breve apresentação de simuladores de soldagem.

1.4 Objetivos do curso

- Entenda como usar ferramentas digitais em treinamentos teóricos e práticos
- Ser capaz de usar e explorar os módulos desenvolvidos em LMS
- Para saber como funcionam os simuladores de soldagem

1.5 Conteúdo

1.	Treinamento de ferramentas e metodologias digitais
1.1.	Ferramentas digitais usadas no treinamento de soldagem
1.2.	Vantagens e desvantagens das ferramentas digitais na soldagem
2.	Sistema de gestão de aprendizagem
2.1.	Ambientes virtuais de aprendizagem
2.2.	Definição e características do LMS
2.3.	Configurações e recursos do LMS
2.4.	LMS: Desafios e benefícios
2.5.	Soluções disponíveis para desenvolvimento LMS
3.	Simuladores de soldagem
3.1.	Sistemas simuladores de soldagem
3.2.	Realidade aumentada
3.3.	Realidade virtual
3.4.	Diferença entre simulador de soldagem e sistema de soldagem real
3.5.	Configuração de simuladores de soldagem

1.6 Participantes

Características do aluno:	<i>Estudantes VET em especialização em soldagem.</i>
---------------------------	--

1.7 Requisitos de acesso

Requisitos de nível de educação:	<i>Certificado de escola secundária (EQF 3)</i>
Conhecimento prévio necessário	<i>Conhecimento básico de soldagem Conhecimento básico de TIC</i>
Requisitos de idade:	<i>Os alunos devem ter pelo menos 16 anos</i>

1.8 Atividades de avaliação

- *Teste teórico em cada unidade: questões de múltipla escolha*
- *Configuração prática do simulador*

1.9 Bibliografia (usada ou suplementar)

- [1] Savu SV - Simulador de soldagem, ferramenta digital alternativa para o treinamento prático de futuros soldadores, ASR Conference, Buzau, 2015
- [2] Exemplo de código aberto (baseado em Moodle): <https://themefisher.com/moodle-bootstrap-themes/>
- [3] Produto LMS disponível comercialmente: <https://learnbox.co.za/off-the-shelf-lms/>
- [4] Universidade de Craiova, LMS - <https://ciso1.central.ucv.ro/evstud/>
- [5] Susannah J. Whitney, Ashley KW Stephens - Usando Simulação para Melhorar a Eficácia do Treinamento de Soldagem do Exército, Comunidade da Austrália, 2014
- [6] Soldamatic - Treinamento aprimorado de soldagem, <http://www.soldamatic.com/soldamatic2018/>
- [7] Lincoln Electric - VRTEX360 Virtual Welding Trainer, <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/equipment/training-equipment/vrtex360/pages/vrtex-360.aspx>
- [8] BEApplied Research, HoloLens Plant Maintenance, <https://www.youtube.com/channel/UCdXVL3uTXP-icWKB7K2Yivw>
- [9] Phoenix Contact - realidade aumentada em uso para a indústria 4.0 e tecnologia de construção, <https://www.youtube.com/watch?v=UhW12bILH7U>
- [10] Lily Prasuethsut, Meta acha que Pokémon Go é perfeito para fones de ouvido RA, <https://www.wearable.com/ar/meta-pokemon-go-2962>
- [11] Relatórios da indústria, mercado de realidade aumentada global para testemunhar o crescimento das pronúncias durante 2024 - Principais participantes como Google Inc., Microsoft Corporation, Vuzix Corporation, Samsung Electronics Co., Ltd., Qualcomm Inc., Oculus VR, LLC, EON Reality, Inc. Infinity Augmented Reality Inc e outros, <https://industryreports24.com/430907/global-augmented-reality-market-to-witness-a-pronounce-growth-during-2024-top-key-players-like-google-inc-microsoft-corporation-vuzix-corporation-samsung-electronics-co-ltd-qualcomm-i/>

- [12] Husain Sumra, Os melhores óculos de realidade aumentada de 2019: Snap, Vuzix, Microsoft, North e mais, <https://www.wareable.com/ar/the-best-smartglasses-google-glass-and-the> - descanso
- [13] Google, <https://virtualrealitypop.com/what-is-real-vr-content-3e66e3810894>
- [14] MindRend Technologies, simulador de robótica VR, <https://www.youtube.com/channel/UCDWYIQAzV8qlhxa4yXbjmpQ>
- [15] Fronius Virtual Welding, <http://www.funworld.com/en/funworldtech/projects-and-partners/fronius-virtual-welding>
- [16] Simulador de Salda VR, <http://weld-vr.com/en/>
- [17] Lincoln Electric VRTEX 360` <https://www.lincolnelectric.com/de-de/support/application-stories/Pages/Pitt-Community-College.aspx>

NÚMERO DA UNIDADE: Unidade Didática 1

TÍTULO DA UNIDADE: *Introdução a Computador e Simulação*

APRESENTAÇÃO DA UNIDADE

A presente unidade didática garante a acumulação das competências necessárias ao uso de dispositivos digitais que criem uma realidade virtual e aumentada. A implementação do ambiente virtual e de realidade aumentada no treino prático de futuros soldadores garante o acesso de novas gerações a um modo de treino próximo da realidade no qual se pode experienciar e tomar as suas atividades diárias.

A unidade lida com aspetos de metodologia e ferramentas usadas no treino digital, sistemas de gestão de aprendizagem e uma breve apresentação de simuladores de soldadura. O primeiro módulo cobre temas relacionados com ferramentas digitais usadas no treino de soldadura e no qual as vantagens e desvantagens do uso de ferramentas de soldadura digitais. O segundo módulo introduz aos aprendizes de ensino virtual os ambientes em que eles conseguem trabalhar e interagir com as ferramentas virtuais ou outros aprendizes. O sistema de gestão de aprendizagem (SGA) é a melhor ferramenta digital para registar utilizadores, fornecer conteúdo e avaliação do desempenho dos estudantes. Como o SGA pode ser definido, configurado e as suas funcionalidades bem como as suas vantagens e desvantagens são apresentados neste módulo. Os aprendizes também irão aprender sobre soluções disponíveis para desenvolver o seu próprio SGA. O terceiro módulo lida com simuladores de soldadura. Sistemas de simulação de soldadura típicos são apresentados na introdução do módulo. A realidade virtual (VR) e a realidade aumentada (AR) são explicadas de forma a fornecer aos aprendizes o conhecimento necessário com o intuito de os capacitar a utilizar e entender o funcionamento da tecnologia. No fim do módulo, é realizada uma breve apresentação da diferença entre um simulador de soldadura e um sistema de soldadura real, bem como um pequeno exemplo relativo à configuração de um simulador de soldadura.

OBJETIVOS

Os objetivos da unidade de ensino são os seguintes:

- Compreender o uso de ferramentas digitais e o treino teórico e prático
- Ser capaz de usar e explorar os módulos desenvolvidos no SGA
- Conhecer como funciona um simulador de soldadura

ÍNDICE

- 4. Ferramentas e metodologias de formação digital
- 5. Ferramentas digitais usadas na formação de soldadura
 - 2.1 Vantagens e desvantagens de ferramentas digitais de soldadura
- 6. Sistema de Gestão da Aprendizagem (SGA)
 - 3.1 Ambientes de aprendizagem virtuais
 - 3.2 Definição e caracterização do SGA
 - 3.3 Configuração e funcionalidades do SGA
 - 3.4 SGA – Desafios e Vantagens
 - 3.5 Soluções disponíveis para o desenvolvimento do SGA
- 7. Simuladores de soldadura
 - 4.1 Sistema de simuladores de soldadura
 - 4.2 Realidade aumentada
 - 4.3 Realidade virtual
 - 4.4 Diferença entre um simulador de soldadura e um Sistema real de soldadura
 - 4.5 Configuração de simuladores de soldadura

DESENVOLVIMENTO DOS CONTEÚDOS

1. Ferramentas e metodologias de formação digital

Este Módulo aborda temáticas relacionadas com as ferramentas digitais utilizadas na formação em soldadura e quais as vantagens e desvantagens da utilização de ferramentas digitais em soldadura.

Existem duas formas de transmitir informação aos alunos: a primeira refere-se ao professor como o centro do processo de aprendizagem, e a segunda coloca o aluno no centro de todas as atividades. O uso de ferramentas digitais no processo de aprendizagem pode ser aplicado com sucesso na segunda opção, considerando a afinidade dos jovens para com tudo o que significa conectividade e acesso a informação em qualquer lugar, momento e forma.



Fig. 1.1 Aprendizagem centrada no Aluno

A aprendizagem centrada no Aluno pode ser obtida aplicando algumas regras:

- Clareza sobre o que se quer ensinar e medir, e celebração da compreensão;
- Modelar a **forma de pensar** para os alunos;
- Ajudar os alunos a compreender o que é importante;
- Diversificar o que é considerado aceitável como prova de entendimento;
- Criar currículos e instruções em torno da necessidade de conhecer;
- Colaborar com os alunos para criar o método de avaliação e pontuação;
- Permitir aos alunos optar pelo propósito do projeto;
- Permitir aos alunos optar pelo seu próprio meio de leitura que seja um reflexo do seu propósito;
- Usar, quando solicitado, uma avaliação sumativa de escrita rápida;

- Aprendizagem enquadrada em termos de processo e propósito de crescimento.

2. Ferramentas digitais usadas na formação em soldadura

As principais ferramentas digitais usadas na formação de pessoas para a profissão de soldadura são largamente dedicadas aos aspetos teóricos apresentados no formato digital (doc., pdf., ppt., imagens e vídeos), bem como a avaliação de processos relacionados com as temáticas a serem ensinadas. Hoje em dia, a informação é incorporada em aplicações dedicadas ao ensino que incluem documentos eletrónicos, vídeos e animações, todos compilados de uma forma interativa.

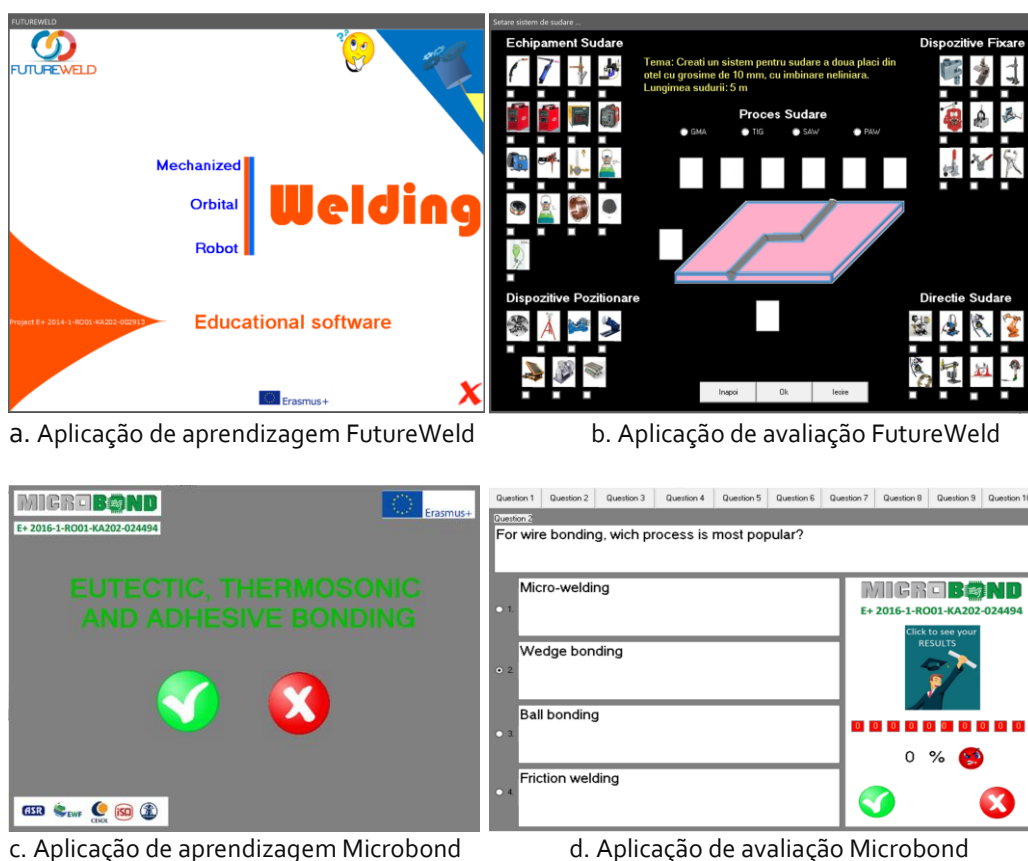


Fig. 2.1 Exemplos de ferramentas digitais usadas na formação em soldadura

O próximo passo é combinar formação teórica e prática, o que pode ser feito através de simuladores de soldadura. Os simuladores de soldadura conseguem suportar ambas as avaliações teóricas e práticas, online ou offline, de cada aluno.



DICAS PARA LEMBRAR

1. Ferramentas digitais significam qualquer aplicação informática ou aparelho informático que é utilizado na formação;
2. Aplicações informáticas são maioritariamente usadas na formação teórica e na avaliação de conhecimentos de alunos;
3. Os simuladores de soldadura podem ser usados em ambos os contextos de formação teórica e prática, tal como no processo de avaliação.

2.1 Vantagens e desvantagens de ferramentas digitais de soldadura

O uso de ferramentas digitais de soldadura apresenta vantagens e desvantagens para o processo de aprendizagem e formação de futuros soldadores.

As principais vantagens da soldadura simulada são:



Fig. 2.3 Vantagens do uso de ferramentas digitais no processo de aprendizagem

Económicas

- Custos reduzidos com energia e serviços de simulação;
- Custos reduzidos com professores/formadores;

- Custos reduzidos com a preparação dos materiais base e aumento de tempo dos alunos para soldar;
- Componentes industriais específicos para estruturas soldadas podem ser simulados.

Ecológicas

- Sem emissões, tendo em conta que todas as operações de soldadura são simuladas;
- Sem desperdício de materiais que podem afetar o ambiente;
- Baixa pegada de carbono tendo em consideração o baixo consumo energético.

Segurança

- A formação é realizada num ambiente seguro e livre de perigos como calor, radiação e gás;
- Sem riscos relativos a potência elétrica trifásica.

Educacional

- Fácil interface com ambientes/equipamento de Realidade Virtual e/ou Realidade Aumentada (VR/AR);
- Potencial aumentado para autoaprendizagem e autoavaliação;
- Desenvolvimento de um sistema de competição por pontos que levam a um aumento da prontidão para a aprendizagem dos alunos;
- Diferentes níveis de dificuldade para exercícios práticos;
- Cobertura dos principais processos de soldadura por arco elétrico;
- Aprendizagem à distância utilizando ligação à internet entre servidores e simuladores de soldadura;
- Análise aprofundada de soldaduras e processos de soldadura realizados por alunos.

Em termos de desvantagens, a simulação de processos de soldadura não pode substituir a soldadura real.

As desvantagens distinguem-se segundo duas características:

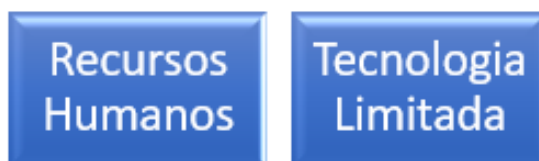


Fig. 2.4 Desvantagens do uso de ferramentas digitais no processo de aprendizagem

Recursos Humanos

- Falta de competências digitais dos professores/alunos relativamente à integração dos simuladores no processo de aprendizagem;
- Falta de competências digitais dos professores/alunos relativamente à integração das aplicações informáticas de soldadura no processo de aprendizagem.

Tecnologia Limitada

- Os simuladores de soldadura permitem a formação prática de modo a melhorar as competências dos alunos, mas não cobrem outros aspetos relacionados, por exemplo, com a preparação do material base;
- Existem limitações tecnológicas relativamente à ignição do arco elétrico, que são diferentes nos casos reais de soldadura;
- Nem todos os processos de soldadura podem ser digitalizados num simulador de soldadura.

3. Sistema de Gestão de Aprendizagem

As ferramentas digitais podem ser definidas como qualquer dispositivo e tecnologias de transmissão de conhecimento do professor para o aluno, com aplicações computacionais, cursos online formação prática através de dispositivos que usem realidade aumentada, realidade virtual, etc.

Estas ferramentas são concebidas para ajudar alunos e professores no processo de aprendizagem. Este subcapítulo contém informação básica sobre ferramentas e metodologias específicas para o processo de aprendizagem num ambiente digital.

3.1 Ambientes virtuais de aprendizagem

O Ambiente de Aprendizagem Virtual (AAV) consiste num sistema digital que fornece materiais educacionais (cursos, apresentações, vídeos, animações e aplicações informáticas) aos alunos através de páginas da internet. Usando uma ligação à internet nas suas próprias ferramentas digitais (computadores, tablets, smartphones, etc.), os utilizadores conseguem aceder a informação dentro e fora da escola, 24h por dia e 7 dias por semana. Os AAV auxiliam os alunos no seu registo, no acompanhamento de atividades, na colaboração e comunicação entre alunos, professores e avaliações.

Há três tipos de AAVs:

- Fonte aberta – São oferecidos sem qualquer custo para uso e adaptação, mas na maioria dos casos são cobradas taxas de atividades de suporte.



Fig. 3.1 AAV de Fonte aberta [2]

- À medida – São desenvolvidos por entidades de ensino e formação de modo a corresponder às suas próprias necessidades.



Fig. 3.2 AAV à medida [4]

- Comercial – Produtos que são pacotes de soluções que podem ser posteriormente adaptados de modo a satisfazer as necessidades da organização que o compra, ao invés de adquirir um produto feito à medida.

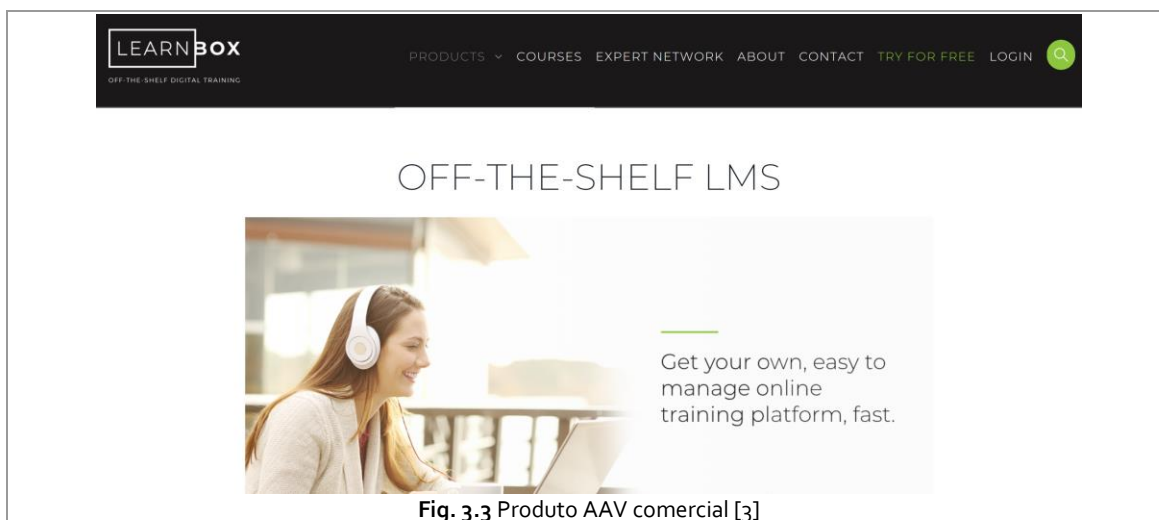


Fig. 3.3 Produto AAV comercial [3]

3.2 Definição e caracterização do SGA

Um Sistema de Gestão de Aprendizagem (SGA) é o mesmo que um Ambiente de Aprendizagem Virtual (AAV). Outro nome usado para SGA é Sistema de Gestão de Curso (SGC). Como definição geral, o Sistema De Gestão de Aprendizagem é uma aplicação informática ou baseada em tecnologia *web* para planeamento, implementação e avaliação de um processo de aprendizagem específico.

As principais características do SGA são:

- Possibilidade de carregar ou criar e submeter conteúdo relacionado com os materiais educativos;
- Monitorizar a participação e avaliação contínua do aluno para melhoria do seu processo de aprendizagem e desempenho;
- Ferramenta com características interativas que permitem discussões, conferências, fóruns, etc.

3.3 Configuração e funcionalidades do SGA

As funcionalidades de um SGA são definidas na maioria dos casos por quem o desenvolve. No entanto, funcionalidades mínimas deviam ser fornecidas por qualquer SGA.

Relatórios

Os professores podem beneficiar de relatórios do SGA de modo a avaliar as aptidões dos alunos. Informação referente ao tempo de estudo autónomo, módulos usados durante o processo de aprendizagem, casos de estudo e qualquer outra atividade realizada pelos alunos representam dados de entrada para análise.

Análise

Esta característica permite ao professor avaliar o desempenho do aluno bem como encontrar a melhor solução para preencher mapas de conhecimento.

Personalização

As plataformas de suporte do SGA permitem ao programador personalizar a experiência de aprendizagem virtual. Começando com o logotipo da empresa, incorporando todo o material educacional numa só estrutura consolidada que irá aumentar o desempenho do sistema de gestão da aprendizagem, o programador consegue criar um trajeto de aprendizagem personalizado para cada aluno de modo a melhorar o processo de aprendizagem. No caso do uso de ferramentas digitais como simuladores para formação prática, o professor/formador consegue decidir que método de avaliação pode ser usado para a avaliação das capacidades e competências do aluno. Outra componente importante está relacionada com os tipos e formatos de material educacional. O SGA deve aceitar pelo menos documentos em formato .doc e .pdf, apresentações e formatos de vídeo comuns como .avi, .mp4, etc.

Avaliação

Representa uma das características mais importantes do SGA. O sistema permite a avaliação do curso através de testes de escolha múltipla de modo a determinar o conhecimento dos alunos, tal como a capacidade de aplicar esse conhecimento em casos reais.

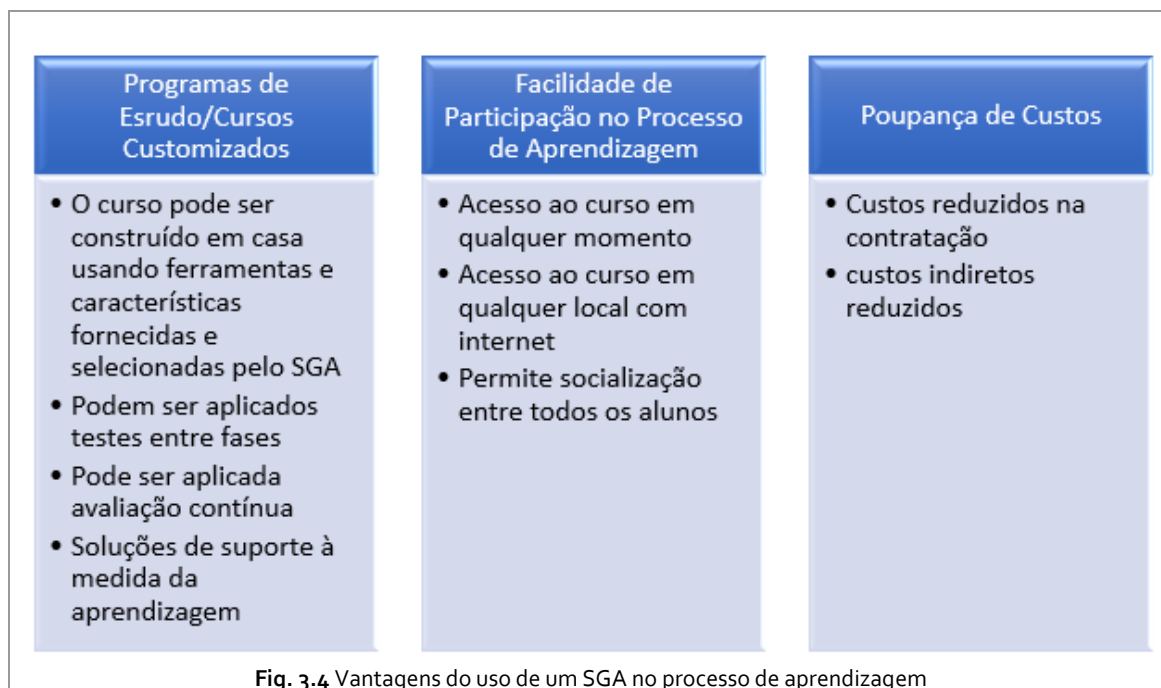
Comunicação

Esta característica permite aos participantes partilhar conhecimentos e experiências de modo a melhorar o processo de aprendizagem. Os estudantes conseguem ainda trabalhar em conjunto e simultâneo nos mesmos projetos e casos de estudo.

3.4 SGA – Desafios e Vantagens

As vantagens do SGA no processo de aprendizagem são bem conhecidas pelas entidades que o utilizam. Pelo menos três grandes vantagens conseguem ser identificadas quando um SGA é implementado e usado no processo de aprendizagem.

Os desafios são também elevados quando o SGA é implementado em mais do que um programa de formação. Os formulários digitais de cursos, apresentações, vídeos e aplicações de software devem cobrir todos os aspetos relacionados com o desenvolvimento do material educativo. Um dos maiores desafios está relacionado com a harmonização e troca de informação entre dois sistemas de gestão de aprendizagem. Os alunos de diferentes escolas devem ser capazes de trocar informação com colegas usando as funcionalidades do SGA.



3.5 Funções disponíveis para o desenvolvimento do SGA

Existem várias opções disponíveis relativamente ao desenvolvimento de SGAs. As opções para o desenvolvimento de um SGA estão diretamente relacionadas com ambos os aspetos técnicos (plataforma, estrutura, etc.) tal como aspetos financeiros. O diagrama das opções do SGA é o que se segue:



Fig. 3.5 SGA– Opções de desenvolvimento

Instalado vs. em rede

Há uma grande diferença entre um SGA instalado no computador/servidor pessoal com uma aplicação dedicada e um sistema de gestão de aprendizagem desenvolvido numa plataforma em rede. Adotando uma solução instalada no servidor pessoal significa que ambas as necessidades de suporte e manutenção da aplicação serão realizadas pelos próprios utilizadores, e os custos financeiros estão principalmente relacionados com o custo da aplicação. A segunda opção é a mais recomendada. Implementar um SGA online reduz os

custos de aquisição, e o staff de informática da plataforma de manutenção online. Para além disso, o SGA está em constante desenvolvimento e atualização, e os custos são suportados por quem realiza o suporte da plataforma online.

Cloud vs. Hospedado

Estas opções também são importantes quando se implementa um SGA. Se a opção de HOSPEDEIRO for adotada, então o controlo do SGA é exclusivo do programador. A vantagem desta opção é que o programador do SGA terá controlo absoluto da aplicação e consegue realizar as alterações que considerar necessárias. Contudo, o controlo absoluto implica um acréscimo de responsabilidades relativamente a segurança e atualizações do servidor. A segunda variante, em CLOUD, não fornece controlo absoluto da aplicação, mas apenas o seu uso. Do ponto de vista do processo de aprendizagem e dos professores/formadores, esta opção é a melhor considerando que a atenção será dada ao desenvolvimento de cursos, apresentações, vídeos e casos de estudo práticos que os utilizadores irão necessitar.

Gratuito vs. Comercial

Os SGA gratuitos estão disponíveis numa variedade de soluções informáticas. Se o orçamento alocado ao desenvolvimento do SGA for baixo, então esta é a melhor opção a considerar. No entanto, há uma grande desvantagem nomeadamente na instalação da plataforma e na sua manutenção, que será responsabilidade do staff que a irá utilizar. É recomendado adquirir uma plataforma SGA que ofereça uma experiência muito boa em termos de estética, interface, acesso a documentação, desempenho, avaliação, etc.

Open Source vs. Closed Source

O *Software Open Source* (SOS) é distribuído sob um contrato de licença que permite a partilha, visualização e alteração de código informático por outros utilizadores e organizações. O SOS está disponível ao público em geral para uso e alteração do seu projeto inicial sem qualquer custo. Isto significa que parte do software pode evoluir e iterar por ação de outros programadores em qualquer parte do mundo. Idealmente isto significa que o software pode ser melhorado ao longo do tempo, mas pode muitas vezes mudar drasticamente podendo alterar a sua forma e aparência por completo. Porém o *Software Open Source* é vulnerável a programadores não autorizados que realizam alterações prejudiciais aos outros para seu benefício próprio.

O *Software Closed Source* (SCS) pode ser definido como software privilegiado, distribuído sob um acordo de licenciamento a utilizadores autorizados com permissões de modificação, cópia e publicação privada e restrita. Geralmente, as diferenças chave entre *open* e *closed* resumem-se aos seguintes fatores:

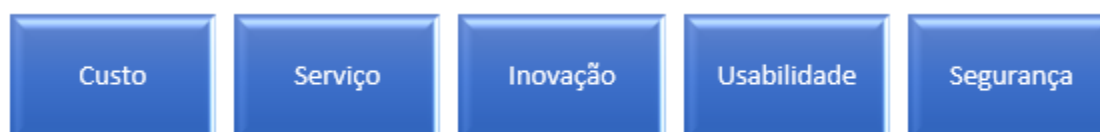


Fig. 3.6 Diferenças-chave entre SOS e SCS

4. Simuladores de soldadura

A evolução tecnológica permitiu o uso de simuladores para a formação de alunos de soldadura de modo a obter as competências necessárias à sua inserção no mercado de trabalho. A maioria dos simuladores são usados por computadores pessoais e empregam um software que permite uma variedade de processos. Estes incluem configuração (ex. seleção de materiais, tipo de soldadura e parâmetros de soldadura), avaliação de desempenho e fornecimento de comentários, em linha com o segundo e terceiro princípios de formação [5].

4.1. Sistemas de simuladores de soldadura

Os simuladores de soldadura são construídos com recurso a tecnologias modernas como Realidade Virtual (RV) ou Realidade Aumentada (RA). Estas tecnologias fornecem um ecrã de simulação e feedback visual. Em sistemas RV, um dispositivo suportado por *Head Mount Display* (HMD) fornece uma extensão de visualização em tempo real (*Live Video Extension* - LVE). O soldador não consegue visualizar a pistola de solda real e as superfícies de soldadura, em vez disso, observa uma representação visual destas, projetadas no HMD.

Em sistemas RA, uma imagem digital ou animação é sobreposta na imagem real, esta imagem digital é visível através de monitores. Ao contrário de sistemas RV, os sistemas RA permitem ao soldador visualizar a pistola e as superfícies de soldadura com que estão a interagir. Em ambos os sistemas RV e RA, as imagens digitais são usadas para fornecer feedback visual. Um monitor separado é geralmente incluído para permitir aos formadores visualizar o desempenho do aluno e fornecer feedback quando a soldadura estiver completa.



a. Simulador de Soldadura RA [6]



b. Simulador de Soldadura RV [7]

Fig. 4.1 Simuladores de soldadura RA e RV

4.2. Realidade Aumentada

A tecnologia de Realidade Aumentada (RA) permite combinar o mundo real com o virtual. As aplicações AR conseguem traduzir uma imagem codificada num objeto virtual apresentado num ecrã. Algumas aplicações com câmaras incluem a opção de adicionar elementos virtuais a uma fotografia, em conjunto com alguns sensores tridimensionais que permitem mover a fotografia aleatoriamente pelo espaço virtual. A AR é uma extensão/composto direto ao vivo de um ambiente físico e real sobreposto por elementos virtuais, que permitem uma experiência melhorada por computador, através da inclusão de dados sensoriais como som, vídeo, gráficos ou GPS. A aplicação mais comum é conhecida pelos utilizadores como estando relacionada com o scan de códigos QR e jogos como Pokemon Go.

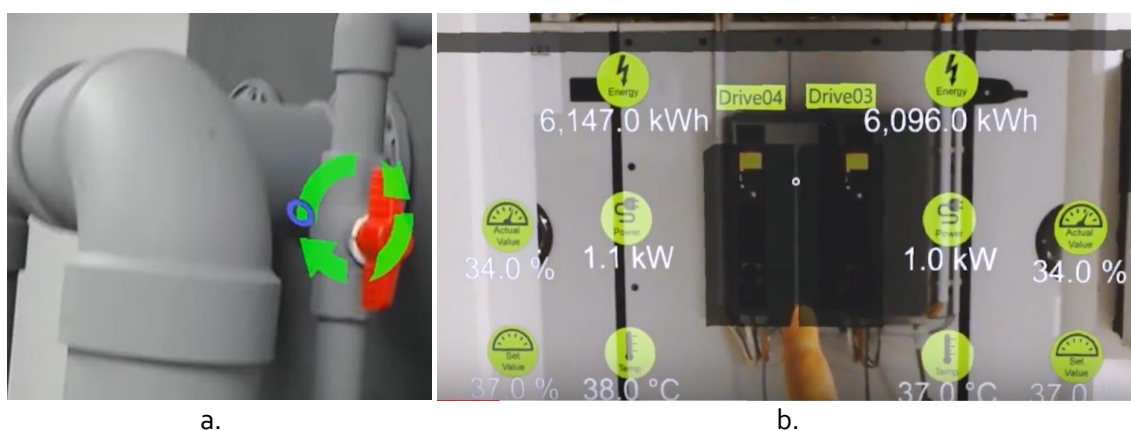


Fig. 4.1 Aplicações da tecnologia RA

- a. HoloLens Plant Maintenance, BEApplied Research, [8],
b. Phoenix Contact - Augmented reality in use for industry 4.0 and building technology, [9]

Os três componentes mais importantes da tecnologia RA são: hardware, software e servidor remoto.



Fig. 4.2 Arquitetura básica de um sistema RA

Hardware

Os componentes de hardware de um sistema de RA consistem num processador computacional, num dispositivo de reprodução visual (ecrã) como *Head Mount Display* (HMD), ecrã de um Smartphone (*Smartphone Screen*, SS) ou óculos (*Eye Glass*, EG), num dispositivo de entrada de dados, como uma *webcam*, e sensores de posição como um GPS, giroscópio ou acelerómetro. Para uma melhor interatividade, os sistemas de RA têm vários sensores.



Fig. 4.3 Dispositivos para aplicações em AR

Software

Imagens virtuais, usadas para se sobrepôr a uma imagem real ao vivo, podem ser geradas usando software 3D. O software pode ser AutoCad3D, StudioMax ou Cinema4D. Dados CT (Computer Tomography) e MRI (Magnetic Resonance Imaging) também podem ser adicionados ao mundo real. Para experienciar a realidade aumentada, o utilizador necessita de descarregar a aplicação informática ou *plug-in* do motor de busca.

Servidor Remoto

O servidor remoto é necessário para ordenar as imagens virtuais criadas usando software. O servidor remoto fornece imagens virtuais armazenadas em rede ou num servidor em nuvem (*cloud*).

4.3. Realidade Virtual

A tecnologia de Realidade Virtual (RV) tem como objetivo criar um ambiente 3D realista que permita ao utilizador percecioná-lo como real. O utilizador pode interagir de maneira realista através de uma extensão visual ao vivo ou através de um ecrã no computador ou num *headset* RV (HMD). Um *headset* RV pode integrar ambas as componentes de hardware e software e incluir apenas componentes de software mas, neste caso, é necessário um computador. Um sistema de RV completo deve incluir os componentes necessários para proporcionar a melhor experiência possível.



Fig. 4.4 Sistema completo de RV

Feeds de Contúdo

Os feeds de conteúdo são fornecidos pelo hardware, tipicamente o hardware no computador, consola ou telemóvel. Esta informação faz parte do mundo digital, e necessita de partir de algum lado. A experiência de formação em RV pode ser adquirida com uma só aplicação ou jogo. Usando tecnologias de RV, os alunos podem comunicar e partilhar projetos ou casos de estudo. De acordo com o Google [13], conteúdo de RV significa que uma simulação gerada por computador de uma imagem ou ambiente tridimensional com o qual se pode interagir de um

modo aparentemente real ou físico por uma pessoa, usando equipamento eletrónico especial como um capacete com um ecrã no seu interior, ou luvas equipadas com sensores.

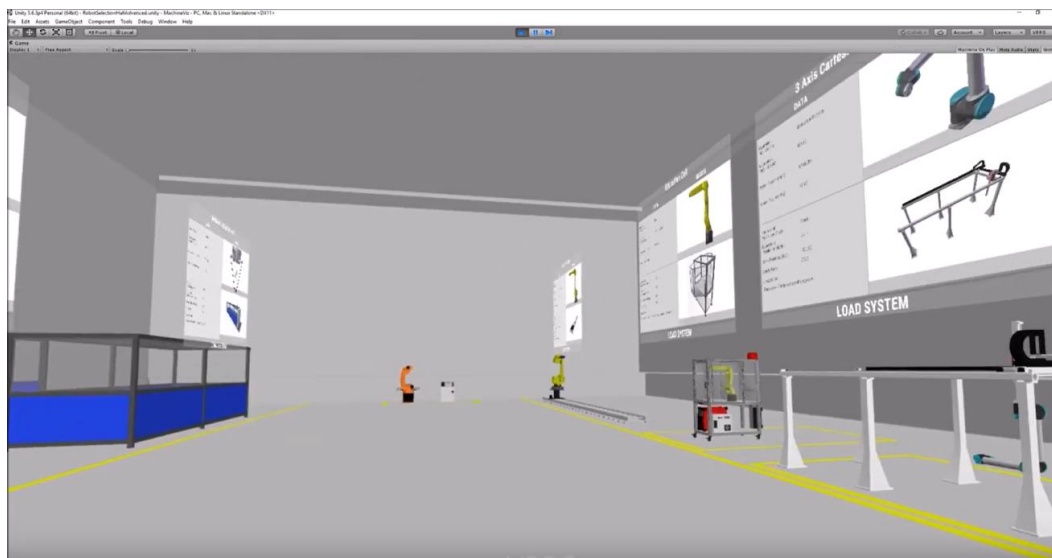


Fig. 4.5 Conteúdo RV [14]

Controlos

Headsets simples de RV permitem uma exploração básica e interação com alguns botões localizados no *headset*. *Headsets* mais avançados oferecem controlos manuais (Nintendo Wii). O mais avançado dos controladores imita os dispositivos reais como pistolas de soldar e eléctrodos. Estes interagem diretamente com o hardware que envia o feed.



Fig. 4.6 Controlos RV [15]

Ecrãs

O ecrã é onde a imagem de RV é emitida para os olhos do utilizador. Antigamente, dois ecrãs separados, um para cada olho, eram incluídos nos óculos, e esta continua a ser uma abordagem popular para *headsets* como o Oculus Rift. Mas devido ao custo adicional destes componentes, isto tornou-se menos comum nos dias de hoje. Muitos *headsets* mais baratos usam simplesmente o ecrã do smartphone como reproduutor visual, ou um único ecrã OLED. Atualmente, os sistemas de soldadura de RV usam ecrãs embutidos no capacete de soldar de modo a aproximarem-se ao máximo da experiência real.



a. Smartphone simples [16]



b. Capacete de RV [17]

Fig. 4.7 Ecrãs de RV de simuladores de soldadura

Lentes

O papel das lentes no olho humano é alterar a luz que chega aos olhos de forma a que se foque nos recetores por detrás dos nossos olhos. A lente foca-se dependendo da distância entre os olhos e dependendo daquilo em que os olhos se estão a focar. Se o utilizador olhar para algo muito próximo, estas lentes têm de se focar muito para conseguirem dar uma imagem perfeita. Se o utilizador olhar para algo à distância, a lente não necessita de focar muito. Muitos headsets incluem lentes que ajudam os olhos a focarem-se no ecrã de modo a que o utilizador se sinta num ambiente real. Isto permite ao sistema de RV trabalhar num só ecrã como os dos smartphones. Versões mais avançadas também permitem o ajustamento de lentes, que é bastante importante para melhorar o realismo e impedir a fadiga ocular.

Campo de visão

Um campo de visão perfeito seria, como é óbvio, de 360 graus. Uma vez que tal não é possível num *headset*, a maioria dos sistemas de *headset* de RV criados fornecem um campo de visão entre 100 e 120 graus, permitindo uma imersividade melhorada. Contudo, as imagens virtuais são geradas em monitores onde o ângulo de 360 graus pode ser obtido.

Taxa de enquadramento

Quanto maior for a taxa de enquadramento, melhor será a imersão, sendo que o objetivo é obter entre 60 e 120 *Frames* por Segundo (ou FPS) com hardware com capacidade para apoiar estas taxas. Experiências menos ambiciosas não necessitam de se preocupar muito com a taxa de enquadramento, mas se se começar a baixar então a imersão é perdida resultando em dores de cabeça.

Sensores de Rastreamento

Os *headsets* avançados precisam de saber quando os utilizadores irão mover a cabeça, mãos, e até o corpo, para que se consigam mover conteúdo do *feed* de forma semelhante. Os *headsets* vêm também com sensores de movimento incluídos - por vezes vêm com hardware adicional para mapear o espaço à volta do utilizador. A maioria dos sensores de rastreamento usam campos magnéticos que requerem uma fonte adicional de energia para gerar a corrente necessária à operação.

Áudio

O áudio é fornecido quer como sendo parte do conteúdo do *feed* no próprio *headset*, ou como *feed* separado que utiliza um altifalante adicional no *headset* que o utilizador precisa usar.

4.4. Diferença entre simulador de soldadura e um sistema de soldadura real

O uso do simulador de soldadura apresenta muitas diferenças do sistema de soldadura real. A seguinte tabela apresenta as mais relevantes:

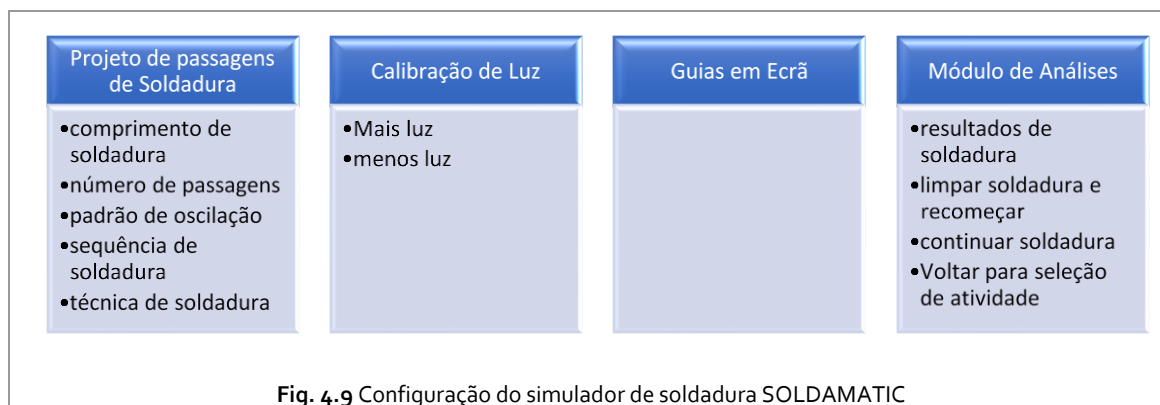
Simulador de Soldadura	Sistema de Soldadura Real
•Práticas num laboratório aumentado •menos poluente •mais seguro - menos acidentes •menos custos •Práticas AR/VR ilimitadas •menos tempo •impacto ambiental reduzido •soldador mais qualificado	•práticas em espaço reduzido •Emissões de gases •Riscos de queima •mais caro •repetições numerosas •mais tempo •mais emissões •soldador menos qualificado

Fig 4.8 Diferenças entre o simulador de soldadura e o sistema de soldadura real

4.5. Configuração de um Sistema de Soldadura

Podemos encontrar diferentes configurações dependendo do fabricante que escolhermos. Em todos os casos, o simulador de soldadura inclui um manual de utilizador (pdf-doc, online ou ambos). Estes tendem a ser mais ou menos dispendiosos consoante os benefícios que oferecem. Por exemplo, o primeiro e um dos mais completos simuladores de soldadura chamado "SOLDAMATIC" inclui um manual de proprietário com uma secção dedicada a tarefas de configuração. Normalmente estas tarefas estão agrupadas em:

Geral	Login	SOLDAMATIC homepage	Seleção de Curso	Parâmetros de Soldadura
• Linguagem • Modo • Data e tempo • Unidades • Padrões	• Nome de Utilizador • Palavra-passe	• Cursos • Práticas de Soldadura prédefinidas • Guias de utilizador e tutoriais • práticas abertas a demonstrações	• Cursos Gerais • Cursos Específicos	• Processos de Soldadura • Tipo de Junta • Posição • material base • espessura • tipo de material de adição • diâmetro do material de adição • Gás



BIBLIOGRAFIA

- [1] Savu SV – Welding simulator, alternative digital tool for practical training of the future welders, ASR Conference, Buzau, 2015
- [2] Open source (Moodle based) example: <https://themefisher.com/moodle-bootstrap-themes/>
- [3] Off-the-shelf LMS product: <https://learnbox.co.za/off-the-shelf-lms/>
- [4] University of Craiova, LMS - <https://ciso1.central.ucv.ro/evstud/>
- [5] Susannah J. Whitney, Ashley K. W. Stephens – Use of Simulation to Improve the Effectiveness of Army Welding Training, Commonwealth of Australia, 2014
- [6] Soldamatic – Augmented Training for Welding, <http://www.soldamatic.com/soldamatic2018/>
- [7] Lincoln Electric – VRTEX360 Virtual Welding Trainer, <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/equipment/training-equipment/vrtex360/pages/vrtex-360.aspx>
- [8] BEApplied Research, HoloLens Plant Maintenance, <https://www.youtube.com/channel/UCdXVL3uTXP-icWKB7K2Yivw>
- [9] Phoenix Contact - Augmented reality in use for industry 4.0 and building technology, <https://www.youtube.com/watch?v=UhW12bILH7U>
- [10] Lily Prasuethsut, Meta thinks Pokémon Go is perfect for the AR headset, <https://www.wareable.com/ar/meta-pokemon-go-2962>
- [11] Industry Reports, Global Augmented Reality Market to Witness a Pronounce Growth During 2024– Top Key players like Google Inc., Microsoft Corporation, Vuzix Corporation, Samsung Electronics Co., Ltd., Qualcomm Inc., Oculus VR, LLC, EON Reality, Inc. Infinity Augmented Reality Inc & Others, <https://industryreports24.com/430907/global-augmented-reality-market-to-witness-a-pronounce-growth-during-2024-top-key-players-like-google-inc-microsoft-corporation-vuzix-corporation-samsung-electronics-co-ltd-qualcomm-i/>
- [12] Husain Sumra, The best augmented reality glasses 2019: Snap, Vuzix, Microsoft, North & more, <https://www.wareable.com/ar/the-best-smartglasses-google-glass-and-the-rest>
- [13] Google, <https://virtualrealitypop.com/what-is-real-vr-content-3e66e3810894>
- [14] MindRend Technologies, VR Robotics Simulator, <https://www.youtube.com/channel/UCDWYIQAzV8qlhxa4yXbjmpQ>

- [15] Fronius Virtual Welding, <http://www.funworld.com/en/funworldtech/projects-and-partners/fronius-virtual-welding>
- [16] Weld VR simulator, <http://weld-vr.com/en/>
- [17] Lincoln Electric VRTEX 360, <https://www.lincolnelectric.com/de-de/support/application-stories/Pages/Pitt-Community-College.aspx>

GLOSSÁRIO

Inclui os conceitos principais, novos e/ou complexos vistos na unidade, como um dicionário. Este tipo de recurso é importante especialmente quando o curso é destinado a alunos sem qualquer conhecimento da matéria. As entradas do glossário estão ordenadas por ordem alfabética.

Amostra	– Exemplar de um teste sujeito a estudo e testes.
Calibração	- Comparação de leituras de uma ferramenta de medição com uma medida padrão de modo a verificar a precisão de um instrumento.
Conformidade	- Correspondência com padrões, regras ou leis.
Escória	- Camada superficial presente na soldadura deixada pelo fluxo.
Imperfeição	- Uma falha, defeito ou característica indesejável.
Junta	- Junção de membros ou bordos de membros que devem ser unidos ou foram unidos.
Junta de Suporte	- Material colocado na raiz da junta de soldadura que suporta o material soldado fundido.
Manufatura	– O fabrico de artigos em larga escala usando maquinaria.
Material de Adição	- Material a ser adicionado durante soldadura por fusão.
Metal/Material Base	- É o material base da peça a ser soldada.
Modelo	– Algo que é usado como padrão para produzir outras coisas semelhantes.
Passagem Final	– Passagem final no entalhe de uma soldadura de passagens múltiplas.
Passe de Raiz	– Uma passagem feita para produzir o primeiro cordão de soldadura.
Peça de Teste	- Peças exemplares que representam uma peça a ser testada.
Procedimento	– Uma série de ações conduzidas numa certa ordem ou maneira.
Remoção do Passo de Raiz	- Remoção de material soldado e material base do lado da raiz da soldadura de modo a facilitar a fusão completa e penetração completa da junta de soldadura, soldando subsequentemente esse mesmo lado.
Salpicos	– Gotículas de metal fundido geradas no ou perto do arco de soldadura.
Soldadura Oscilatória	- Técnica de soldadura na qual a fonte de energia é oscilada transversalmente à medida que progride ao longo da trajetória de soldadura.
Soldadura por Fusão	- A fusão conjunta de material de adição e material base, ou apenas de material base, de modo a produzir uma soldadura.

Subcontratação - Empregar uma empresa ou pessoa fora da empresa de uma certa entidade trabalhadora como parte de um projeto superior.

Temperatura Interpasse – Temperatura à qual passagens subsequentes são depositadas.

Tratamento Térmico - Uso de calor para alterar as propriedades do metal.

Valores de Dureza – Valor dado por um resultado de um teste de dureza (e.g. Vickers).

Welding Processes – Soldadura GMAW

1.1 Nome do curso

Soldadura por Arco Elétrico a Gás (GMAW)

1.2 Duração do curso

5 horas

1.3 Finalidade do curso

Nesta unidade são mostrados elementos específicos relacionados com o processo de soldadura por arco elétrico, especificamente relacionados com o equipamento de soldadura, parâmetros de soldadura, técnicas típicas de soldadura e metais de adição utilizados.

O aluno desta unidade aprenderá noções sobre o equipamento de soldadura, parâmetros, técnicas; isto permitir-lhe-á melhorar os seus conhecimentos sobre o processo de soldadura por arco elétrico.

1.4 Objetivos do curso

Conhecimentos	Competências	Atitudes
Assumir competências gerais no processo de soldadura por arco elétrico	Introdução geral sobre o processo de soldadura por arco elétrico	Os alunos devem, durante o curso, demonstrar uma boa cooperação com o professor e colegas de sala de aula, a fim de melhorar os conhecimentos e partilhar informações.
Identificar os principais componentes do equipamento de soldadura e ter conhecimentos da sua manutenção	Identificar os componentes da máquina de soldar Identificar a competência geral em manutenção	
Melhorar a competência na medição de parâmetros de soldadura	Identificar os principais parâmetros do processo de soldadura por arco elétrico Medir e controlar os parâmetros de soldadura	
Melhorar a competência em gases de proteção	Identificar gases de proteção Escolher o gás de proteção correto e as suas principais propriedades	
Melhorar a competência em metais de adição	Identificar a diferença em metais de adição Escolher o metal de adição correto em consequência das propriedades da junta	

Identificar modos de transferência no processo de soldadura por arco elétrico	Aplicar diferentes modos de transferência no processo de soldadura Escolher o modo de transferência correto em consequência do tipo de soldadura	
Identificar diferentes técnicas de soldadura, com explicação específica sobre a forma correta de soldar	Assumir competência em diferentes técnicas de soldadura Conhecer a técnica correta de soldar em diferentes posições de soldadura	
Melhorar a competência na prática da soldadura	Saber como preparar uma peça Ter competências sobre os principais defeitos de soldadura e como evitá-los	

1.5 Índice

1. Introdução

- 1.1 Características principais
- 1.2 Componentes principais

2. Equipamento

- 2.1 Fonte de energia de soldadura
- 2.2 Alimentador de fio
- 2.3 Maçarico
- 2.4 Bico de contacto e extensão do elétrodo ou "stick out"
- 2,5 Bocal
- 2.6 Cabo de massa

3. Medições de parâmetros de soldadura

- 3.1 Tensão e corrente
- 3.2 Velocidade de avanço
- 3.3 Cálculo da entrada de calor
- 3.4 Caudal do gás de proteção

4. Consumíveis

- 4.1 Gás de proteção
- 4.2 Soldadura com gás inerte

4.3 Soldadura com gás ativo

5. Fios

5.1 Fios sólidos

5.2 Fios fluxados

6. Parâmetros e modo de transferência

7. Técnica

7.1 Parâmetros

7.2 Posição da tocha e extensão do eletrodo

7.3 Velocidade de avanço e técnicas balanceadas

8. Prática de soldadura

8.1 Preparação da peça

8.2 Escorvamento do arco

8.3 Técnica de soldadura

8.4 Fim da soldadura

8.5 Reinício da soldadura

1.6 Participantes

Características do aluno:	Competências técnicas básicas
---------------------------	-------------------------------

1.7 Condições de entrada

Grau de escolaridade exigido:	Alunos de escolas de EFP
Conhecimentos prévios necessários	Conhecimentos básicos em soldadura
Requisitos de idade:	entre 16 e 20 anos

1.8 Atividades de avaliação

Avaliação contínua: nada necessário

1.9 Bibliografia (usada ou suplementar)

[1] Curso geral de soldadura por arco elétrico (GMAW): Material de formação IIS

NÚMERO DA UNIDADE: Unidade Didática 3

TÍTULO DA UNIDADE: *Soldadura por Arco Elétrico a gás (GMAW)*

APRESENTAÇÃO DA UNIDADE

A presente unidade de aprendizagem mostra elementos específicos relacionados com o processo de soldadura por arco elétrico, especificamente relacionados com o equipamento de soldadura, parâmetros de soldadura, técnicas típicas de soldadura e os metais de adição utilizados.

O aluno desta unidade aprenderá noções sobre equipamento de soldadura, parâmetros, técnicas; isto permitir-lhe-á melhorar os seus conhecimentos sobre o processo de soldadura por arco elétrico.

OBJETIVOS

Os objetivos da unidade de ensino são:

- Assumir competências gerais no processo de soldadura por arco elétrico
- Identificar os principais componentes do equipamento de soldadura e ter conhecimentos da sua manutenção
- Identificar modos de transferência no processo de soldadura por arco elétrico
- Melhorar a competência na prática da soldadura

ÍNDICE

8. Ferramentas digitais de formação e metodologia
 - 1.1 Características principais
 - 1.2 Componentes principais
9. Equipamento
 - 2.1 Fonte de energia de soldadura
 - 2.2 Alimentador de fio
 - 2.3 Tocha
 - 2.4 Bico de contacto e extensão do eletrodo ou "stick out"
 - 2.5 Bocal
 - 2.6 Cabo de massa
10. Medições de parâmetros de soldadura
 - 3.1 Tensão e corrente
 - 3.2 Velocidade de avanço
 - 3.3 Cálculo da entrada de calor
 - 3.4 Caudal do gás de proteção
11. Consumíveis
 - 4.1 Gás de proteção

- 4.2 Soldadura com gás inerte
- 4.3 Soldadura com gás ativo
- 12. Fios
 - 5.1 Fios sólidos
 - 5.2 Fios fluxados
- 13. Parâmetros e modo de transferência
- 14. Técnica
 - 7.1 Parâmetros
 - 7.2 Posição da tocha e extensão do eletrodo
 - 7.3 Velocidade de avanço e técnicas balanceadas
- 15. Prática de soldadura
 - 8.1 Preparação da peça
 - 8.2 Escorvamento do arco
 - 8.3 Técnica de soldadura
 - 8.4 Fim da soldadura
 - 8.5 Reinício da soldadura

DESENVOLVIMENTO DOS CONTEÚDOS

1. Introdução

A soldadura por arco elétrico é um processo no qual o calor é gerado por um arco que é atingido entre um fio consumível e a peça. Consequentemente, o fio desempenha tanto a função de eletrodo como a função de fornecer material à junta, uma vez que a passagem da corrente provoca a sua fusão e é continuamente introduzido na superfície de soldadura por uma tocha (fig. 1).

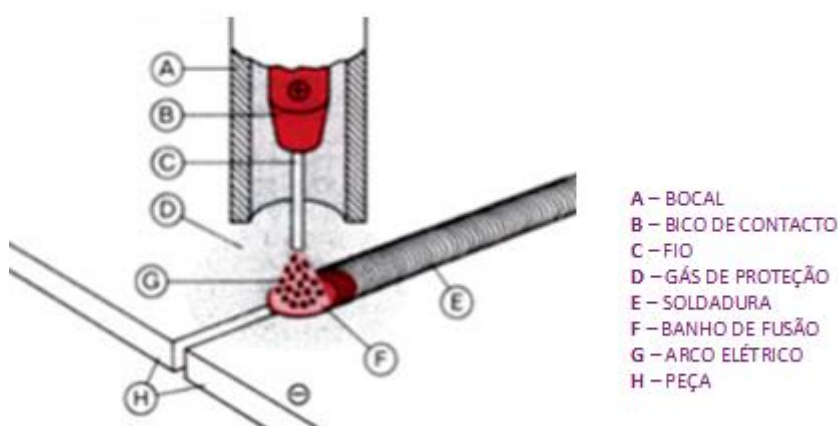


Fig.1: Esquema de soldadura por arco elétrico a gás

Este fio pode ser sólido ou fluxado, ou seja, constituído por um eletrodo tubular que contém no interior um determinado fluxo, que pode ter características diferentes com base no uso pretendido (figura 2).

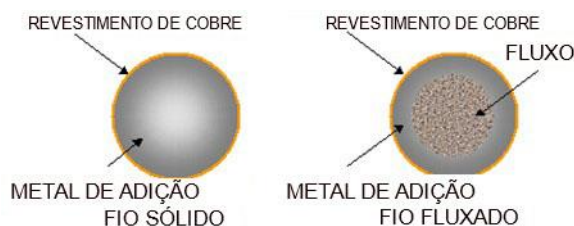


Fig.2: Fio sólido e fluxado para soldadura

A atmosfera protetora necessária para permitir que o arco elétrico funcione e para evitar a contaminação da soldadura pela atmosfera pode ser fornecida por um gás que flui da tocha (soldadura sob proteção de gás) ou diretamente do fio fluxado, como é o caso dos eletrodos revestidos (soldadura sem proteção de gás).

Consequentemente, estão disponíveis diferentes versões deste processo, como indicado pela tabela seguinte que mostra, para além de uma descrição sintética, a classificação segundo as normas internacionais (EN ISO 4063: 2010) e de acordo com a terminologia americana AWS A3.0.

Descrição	Classificação	
	EN ISO 4063	AWS A3.0
Fio sólido de soldadura com gás de proteção inerte (MIG - Metal Inert Gas)	131	<i>GMAW</i>
Fio sólido de soldadura com gás de proteção ativo (MAG - Metal Active Gas)	135	<i>GMAW</i>
Soldadura por arco com fio fluxado (flux cored), com gás de proteção ativo	136	<i>FCAW-G</i>
Soldadura por arco com fio fluxado (metal), com gás de proteção ativo	138	<i>FCAW-G</i>
Soldadura por arco com fio fluxado sem gás de proteção	114	<i>FCAW-S</i>

Este processo de soldadura pode também ser utilizado em modo semiautomático, quando o soldador manuseia a tocha, tanto em modo automático como robotizado, quando a tocha é movimentada através de sistemas apropriados (vigas motorizadas, robôs de soldadura, etc.). Consequentemente, a soldadura por arco elétrico representa um dos processos de soldadura mais aplicados, graças sobretudo à alta produtividade que pode ser obtida devido às altas correntes e à grande quantidade de material que pode ser depositado continuamente e sem interrupções.



Fig.3: Soldadura parcialmente mecanizada e totalmente mecanizada

1.2 Componentes principais

A figura 3 mostra o esquema de um posto de soldadura para soldadura com proteção gasosa. Inclui uma fonte de energia, um dispositivo de alimentação de fio, uma mangueira flexível de abastecimento da tocha (geralmente com 3 m de comprimento) e uma pistola de soldar.

Em particular, a água de refrigeração da tocha, utilizada para altas correntes de soldadura, o gás de proteção (se fornecido), e para algumas aplicações específicas, os fumos de soldadura são também sugados através da mangueira de abastecimento da tocha.

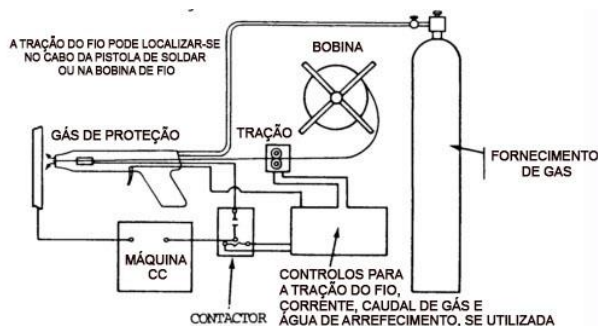


Figura 10-45. Processo de soldadura MIG

Fig.4: Máquina de soldar com fio

Estes elementos e o seu funcionamento serão descritos em pormenor nos capítulos seguintes, onde as características dos consumíveis, técnicas executivas e os principais aspetos de segurança e prevenção de acidentes serão também relatados.

2. Equipamento

2.1 Fonte de energia de soldadura

Na soldadura por arco elétrico, a peculiaridade de ter um fio que é automaticamente conduzido à tocha, por exemplo, sem controlo direto do soldador, determina a necessidade de ter fontes de tensão constantes; isto está relacionado tanto com o facto de o escorvamento do arco elétrico ser possível também para valores modestos da tensão em vazio, como com o facto de esta característica permitir, graças ao sistema operacional particular do processo, manter a corrente de soldadura estritamente ligada à velocidade de alimentação do fio.

Consequentemente, nas fontes de energia para soldadura com fio não há comando de corrente (medida em Ampére), uma vez que este está definido diretamente com a velocidade de alimentação do fio, enquanto que há um comando de regulação de tensão (medida em Volts), que atua sobre a característica de funcionamento da fonte de energia (fig. 5).

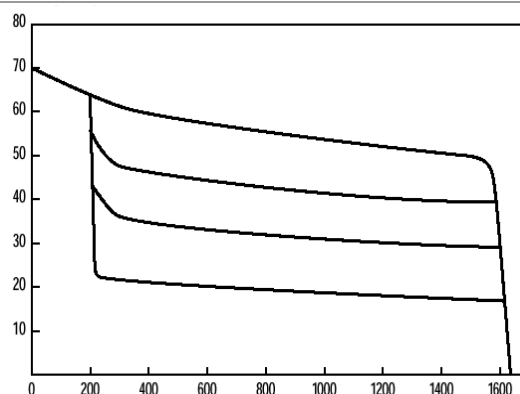


Fig.5: Curva característica de uma fonte de energia de soldadura

Quanto aos tipos de fontes de energia, podemos considerar os dínamos (agora já não utilizados), os transformadores-retificadores (mais baratos e mais fiáveis) e as máquinas controladas eletronicamente ou inversores (mais caros e mais leves).

Estas últimas, em particular, são máquinas caracterizadas por um peso e tamanho relativamente baixos, combinadas com uma grande versatilidade, uma vez que permitem soldar com técnicas específicas (por exemplo, a pulsação de arco - ver capítulo 4) e com uma gestão automática dos parâmetros. Contudo, deve considerar-se que estas máquinas podem frequentemente apresentar maiores dificuldades na utilização dos comandos, uma vez que estes são geralmente complexos, pelo que os programas pré-definidos pelo fabricante são normalmente utilizados.

No que diz respeito ao modo de alimentação do arco, a corrente alternada é raramente utilizada, o que causa instabilidade de operação do arco devido a flutuações de corrente e tensão, enquanto que é preferível a utilização da polaridade inversa de corrente contínua (ou CC inversa), por exemplo, com a polaridade positiva ligada à pinça e a negativa ligada à peça, o que garante uma operação mais estável e uma melhor transferência do material de adição do eletrodo para o banho.

2.2 Alimentador de fio

O dispositivo de alimentação de fio é um dos elementos mais importantes para o equipamento; de facto, deve permitir um avanço regular do fio dentro da linha que conduz à tocha, através da própria tocha e até ao arco elétrico. Uma anomalia do sistema (obstrução do fio, velocidade irregular do fio) levaria certamente ao aparecimento de dificuldades operacionais ou mesmo a defeitos de soldadura.

A figura 8 mostra um sistema típico para o avanço do fio

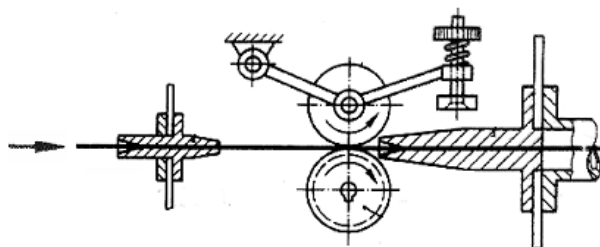


Fig.8: Sistema de alimentação de fio

Em alguns casos, por exemplo, na soldadura com materiais macios (como o alumínio) ou com comprimentos de mangueira de abastecimento da tocha particularmente elevados (por exemplo, acima dos clássicos 3 metros), o motor de avanço também pode estar presente na tocha (sistemas de puxa-empurra), a partir dos quais também será possível ajustar a velocidade de alimentação do fio.

Finalmente, a escolha da pressão a ser exercida sobre o fio através da mola de contacto e da geometria dos rolamentos é fundamental, a fim de não deformar o fio evitando consequentemente o encravamento do mesmo no interior da linha de fio. A figura 9 mostra duas geometrias típicas dos rolamentos utilizados para soldar aço e o alumínio.

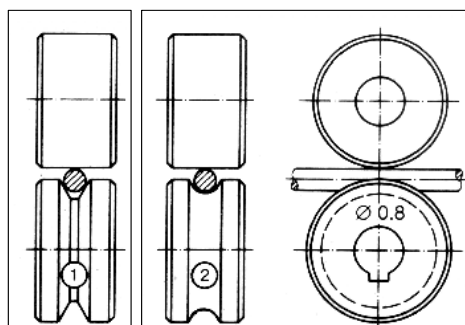


Fig.9: Sistema de alimentação diferente para aço (esquerda) e alumínio (direita)

2.3 Tocha

Existem diferentes tipos de tochas; contudo, as mais comuns são as de "pescoço de ganso", como a que é apresentada na figura 10.



Fig.10: Tocha

Ao utilizar valores de corrente elevados, as tochas são também caracterizadas por sistemas de refrigeração de água para evitar o sobreaquecimento da tocha.

2.4 Bico de contacto e extensão do eléctrodo ou "stick out"

O bico de contacto (figura 11) tem a finalidade de conduzir o fio regularmente e trazer a energia elétrica para o fio; é por isso particularmente importante que este dispositivo tenha um diâmetro correspondente ao fio utilizado (geralmente é construído com diâmetros de furo superiores a alguns décimos de milímetro em relação ao fio), e não apresente um desgaste excessivo.

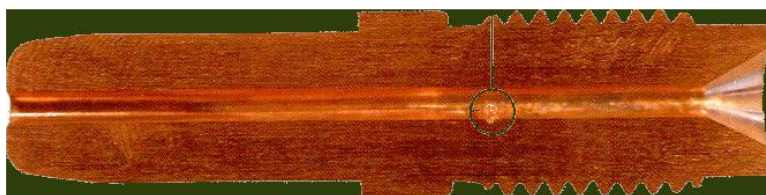


Fig.11: Bico de contacto

Deve-se também notar que apenas o comprimento do fio que vai do bico de contacto ao arco elétrico é atravessado por uma corrente (fig. 12); esta secção é referida como um stick-out ou comprimento livre do fio e é particularmente importante na soldadura, uma vez que afeta diretamente a corrente de soldadura e consequentemente a penetração (que diminui à medida que este parâmetro aumenta).

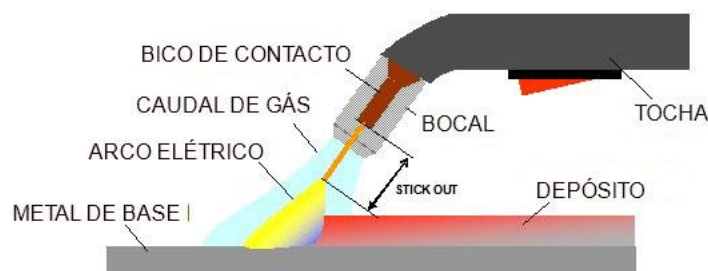


Fig.12: Extensão do eléctrodo ou "stick out"

Este parâmetro é gerido diretamente pelo soldador, o que aumenta a sua extensão simplesmente através da remoção da tocha (consequentemente diminuindo a corrente e a profundidade de penetração) e diminuindo a sua extensão ao agir de forma inversa.

2.5 Bocal

O bocal de proteção de gás pode ter diâmetros diferentes dependendo do caudal de gás, e comprimentos variáveis, uma vez que são necessários bocais mais compridos quando se solda com valores de stick out particularmente elevados.

Finalmente, é muito importante evitar que durante o período de soldadura ocorra periodicamente o bloqueio do bocal devido a salpicos de material (que aparecem como uma série de "granulados" colados), a fim de assegurar um escoamento laminar do gás de proteção, reduzindo assim o risco de porosidade no banho de fusão.

Em geral, bocais de diferentes comprimentos podem também estar comercialmente disponíveis, uma vez que aqueles com maiores extensões são úteis para proteger o banho de fusão quando se trabalha com valores elevados de stick out.

2.6 Cabo da peça a soldar

O cabo de terra liga a fonte de energia à peça, fechando assim o circuito elétrico. Consequentemente, aplicam-se as seguintes considerações:

- uma vez que no circuito não devem ocorrer perdas por corrente, o que resultaria na perda de eficiência do processo, a ligação da peça a soldar deve estar sempre firmemente ligada à peça (são altamente recomendadas ligações fortes, tais como elementos metálicos simplesmente colocados sobre as peças, ou tomadas com terra ligadas ao gabarito de posicionamento);
- uma vez que no chumbo circula a mesma intensidade de corrente utilizada para a soldadura, é aconselhável que o cabo da peça a soldar tenha uma secção adequada e também esteja em bom estado e não desgastado ou danificado;
- uma vez que o calor produzido pela passagem de corrente aumenta à medida que a corrente aumenta, o lugar onde a pinça é colocada pode estar sujeito a sobreaquecimento, especialmente se a pinça não estiver fixada corretamente.

Além disso, o funcionamento do arco elétrico pode estar sujeito a fortes desvios, chamados "sopro magnético", devido à ação magnética da corrente que passa do arco para a peça, até à pinça (fig. 13).

Isto é geralmente possível para qualquer tipo de material (tanto magnético como "não magnético"), além disso o fenómeno tende a desenvolver-se com uma certa facilidade no caso de uma soldadura próxima de uma extremidade da peça em soldadura de aços de baixa liga.

A consequência pode ser uma perturbação considerável para o soldador, tornando muito difícil controlar o banho de fusão, e pode levar ao aparecimento de defeitos graves de soldadura (por exemplo, falta de penetração, inclusões gasosas).

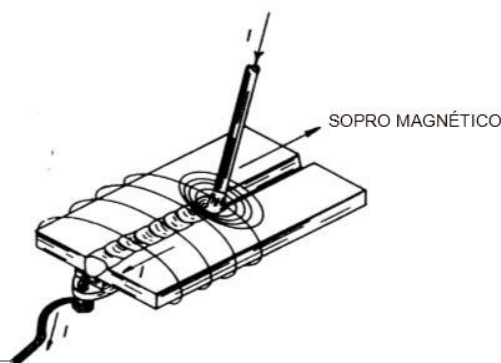


Fig.13: Sopros magnético

Para minimizar a perturbação causada pelo fluxo magnético (que ocorre apenas na soldadura com corrente contínua) é necessário posicionar corretamente as pinças a fim de favorecer situações em que a corrente corre de forma simétrica pela peça, como mostra, por exemplo, a figura 14. Como alternativa, é possível considerar o fornecimento de corrente alternada que elimina o problema, mesmo que, como já foi mencionado, possam surgir problemas de instabilidade do arco.

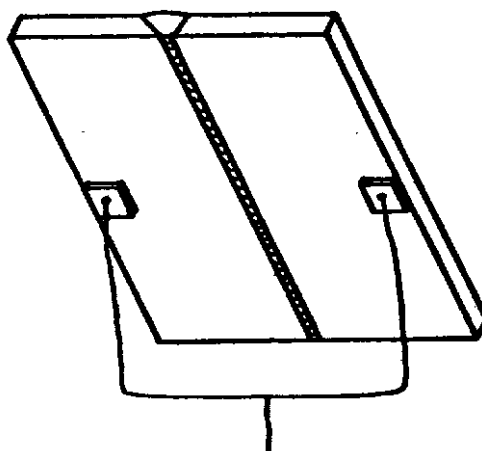


Fig. 14: Posicionamento das pinças na peça a soldar

3. Medições de parâmetros de soldadura

Durante as operações de soldadura, é importante avaliar os parâmetros principais, a fim de verificar se estes são os mais adequados (por exemplo, avaliados com a qualificação do procedimento de soldadura), obviamente mantidos dentro da tolerância apropriada.

3.1 Tensão e corrente

As ferramentas para medir estes parâmetros de soldadura são:

- o voltímetro (para medir a tensão elétrica, em Volts)
- o amperímetro (para medir a corrente, em Amperes)

Estes instrumentos estão geralmente incorporados nas máquinas de soldadura, mesmo que para aplicações específicas (por exemplo, a qualificação do processo de soldadura) possa ser necessário utilizar instrumentos em separado, de maior precisão e possivelmente calibrados de forma adequada.

A figura seguinte mostra a Pinça Amperimétrica, que é certamente a ferramenta mais utilizada para estas operações.



Fig.6: Pinça amperimétrica

3.2 Velocidade de avanço

Este parâmetro é geralmente medido em centímetros de soldadura efetuada por minuto. A medição é, portanto, bastante confortável, pois é suficiente medir a distância percorrida em centímetros durante um minuto de soldadura, marcada por um cronómetro.

3.3 Cálculo da entrada de calor

Um parâmetro muito importante do ponto de vista da soldadura é a chamada "entrada específica de calor", uma indicação do quanto a junta é aquecida durante a soldadura. Depende dos parâmetros de tensão e corrente, e da velocidade de soldadura.

A entrada de calor é geralmente indicada pelo símbolo Q_1 , ou pelo acrónimo H.I e é medida em Joules por centímetro [J / cm]; é derivada da seguinte fórmula:

$$Q_1 = \frac{\text{Volt} \times \text{Ampere}}{\text{cm/min}} \times 60$$

Por exemplo, soldar com uma corrente de 300 amperes, uma tensão de 24 volts e uma velocidade de soldadura de 36 cm / min produz uma entrada de calor de 12,000 J / cm por vezes expressa em 12 kJ / cm ou 1,2 kJ / mm.

Contudo, alguns regulamentos, tais como EN 1011 e EN ISO 15614 consideram um fator multiplicativo de 0,8 para calcular a entrada de calor, para avaliar a quantidade de calor dissipado durante a soldadura em aquecimento a gás, e na quantidade de luz emitida. Neste

caso, com referência ao exemplo anterior, obtém-se uma entrada de calor de 9600 J / cm (ou $0,96 \text{ kJ / mm}$).

3.4 Caudal do gás de proteção

O caudal do gás de proteção é geralmente regulado através da ação sobre o caudalímetro localizado perto da garrafa de gás ou da ligação à linha de fornecimento de gás.

Além disso, pode ser efetuado, antes da soldadura, utilizando um instrumento simples (chamado caudalímetro portátil), que repousa diretamente sobre a tocha. Consiste num tubo transparente, que mostra uma escala graduada, no interior da qual uma pequena esfera de aço é empurrada pelo gás de proteção, indicando assim um caudal (fig. 7).

É muito importante que este instrumento seja o indicado para o tipo de gás de proteção em questão, de modo a ter uma medição fiável do caudal. Por exemplo, a figura 7 mostra um caudalímetro que mostra duas escalas, uma para o gás de proteção Ar e outra para o gás CO_2 .

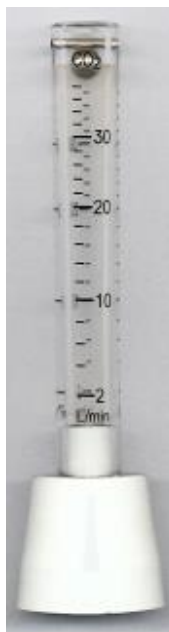


Fig. 7: Caudalímetro portátil

4. Consumíveis

4.1 Gás de proteção

Durante a soldadura, o gás de proteção proveniente da tocha executa duas tarefas essenciais:

- favorece o funcionamento do arco elétrico de soldadura, criando uma atmosfera mais estável do que o ar;

- protege o banho de fusão contra o ar, cujas características também podem ser seriamente afetadas por elementos como o oxigénio, hidrogénio, nitrogénio, etc.

No caso em que, em vez disso, os fios são utilizados para soldadura sem gás, o fluxo contido nos fios irá produzir uma atmosfera gasosa adequada, cujo efeito será, em princípio, equivalente ao do gás de proteção externo.

Em geral, os gases de soldadura podem ser divididos em duas categorias principais:

- gases inertes, que são árgon (símbolo químico Ar), hélio (símbolo químico He), ou misturas entre os dois gases;

- gases ativos, que são todas as misturas que contêm também percentagens muito pequenas de gases para além do árgon e hélio, tais como dióxido de carbono (símbolo químico CO₂), oxigénio (indicado pelo símbolo O₂), nitrogénio (indicado pelo símbolo N₂) ou hidrogénio (indicado pelo símbolo H₂); esta categoria inclui também o dióxido de carbono puro, frequentemente utilizado em soldadura com fios fluxados.

A tabela 2 mostra um extrato da norma europeia EN ISO 14175, relativa à classificação dos gases utilizados na soldadura e corte de materiais metálicos, que será discutida em pormenor nos parágrafos seguintes.

A tabela 3 é relativa à classificação americana AWS A5.32, para os mesmos gases.

Símbolo		Elementos em %						Notas
Grupo	Ident.	Oxidante		Inertes		Redutor	Não reativo	
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂	
R	1			Bal.		0÷15		Redutor
	2			Bal.		15÷35		
I	1			100				Inerte
	2				100			
	3			Bal.	0÷95			
M1	1	0÷5		Bal.				Ligeiramente oxidante
	2	0÷5		Bal.				
	3		0÷3	Bal.				
	4	0÷5	0÷3	Bal.				
M2	1	5÷25		Bal.				Oxidante
	2		3÷10	Bal.				
	3	0÷5	3÷10	Bal.				
	4	5÷25	0÷8	Bal.				
M3	1	25÷50		Bal.				Altamente oxidante
	2		10÷15	Bal.				
	3	5÷50	8÷15	Bal.				
C	1	100						Oxidante
	2	Resto	0÷30					
F	1						100	Não reativo
	2					0÷50	Resto	Redutor

Tabela 1

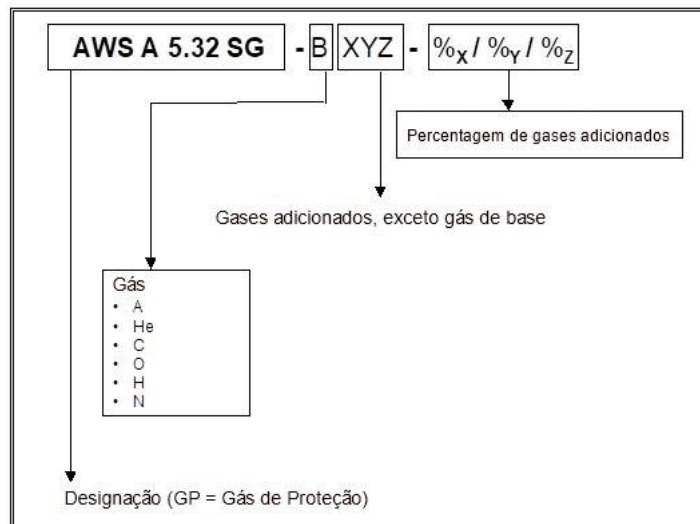


Tabela 2

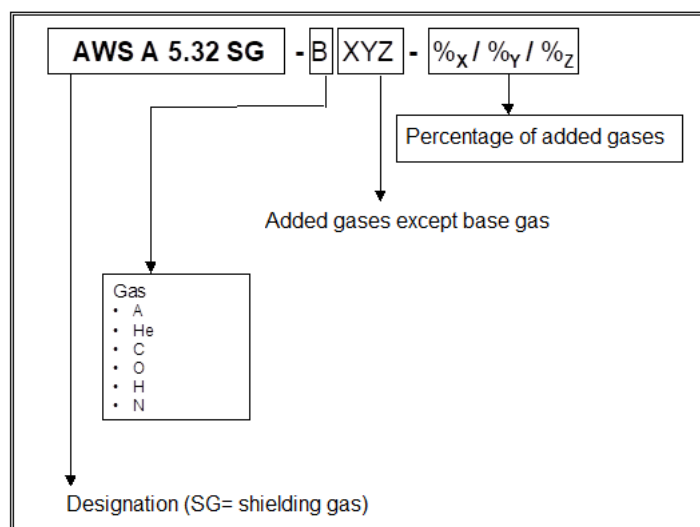


Tabela 3

4.2 Soldadura com gás inerte

Na soldadura por fio sólido, utilizando gases inertes, o termo MIG (acrônimo de Metal Inert Gas) é também utilizado para indicar este processo de soldadura.

Estes gases são caracterizados pelo efeito mínimo sobre o banho de fusão pois:

- são insolúveis no banho de fusão, sendo o risco de porosidade reduzido apenas à contaminação da atmosfera do banho de fusão pelo ar ou sujidade presente nos bordos
- são inertes do ponto de vista químico, por isso, qualquer que seja a composição do fio, este é encontrado inalterado no depósito.

- produzem um arco estável.

Dado o elevado custo destes gases, a sua utilização é limitada aos casos em que é absolutamente necessária, como por exemplo, na soldadura de alumínio e ligas leves.

As características da soldadura são, contudo, influenciadas pelas percentagens de argon e hélio contidas, como descrito abaixo.

Soldadura com Argon puro (EN ISO 14175 - I1)

As características deste gás permitem uma boa estabilidade do arco e, consequentemente, uma regularidade considerável na transferência do material de adição.

Do ponto de vista operacional, este gás permite ter um banho de fusão a frio, que é pouco fluido e, portanto, mais fácil de gerir. Além disso, o gás é mais pesado do que o ar, e consequentemente é necessário, dependendo das condições de operação:

- ao soldar na posição PC frontal, soldar com a tocha ligeiramente inclinada para cima (alguns graus), para assegurar uma proteção eficaz da parte superior do banho;
- na posição ao teto, utilizar taxas de caudal de gás ligeiramente mais elevadas para compensar a queda do gás.

O argon determina por fim uma forma do cordão típico, com penetração do "dedo" (fig. 16); dado a largura reduzida do cordão, também podem ocorrer problemas de colagem devido a velocidades de soldadura excessivamente elevadas.



Fig. 15: Soldadura com Ar

Soldadura com hélio puro (EN ISO 14175 - I2)

As características deste gás tornam o arco mais instável do que o que foi visto para o argon; isto significa que para cada caudal de gás, a corrente necessária para o arco numa atmosfera de hélio é maior do que a de uma atmosfera de argon. Consequentemente, sendo maior a energia elétrica (ou a potência) consumida, obtém-se um banho de fusão mais quente, útil por exemplo em espessuras elevadas ou quando se deseja trabalhar com velocidades de soldadura elevadas.

O hélio tem densidades inferiores às do argon, por isso:

- é necessário o dobro do caudal de gás do que o do árgon, para ter o mesmo efeito protetor;
 - na posição ao teto, os caudais de gás ligeiramente inferiores ao plano são suficientes, graças à subida natural do gás;
 - pode ser útil, na posição PC frontal, soldar com a tocha ligeiramente inclinada para cima (alguns graus), para assegurar uma proteção eficaz também da parte inferior do banho
- Finalmente, o árgon determina uma forma do cordão típico, com penetração "cálice" (fig. 16), uma situação que também permite a soldadura a alta velocidade.

Dado a elevada energia térmica do arco com este gás, este é utilizado como gás de proteção pura em instalações de soldadura automática, onde são possíveis velocidades executivas mais elevadas.

Finalmente, é de salientar que o hélio custa cerca do dobro do árgon e, dado os maiores caudais que são necessários, o custo das operações de soldadura é frequentemente muito elevado.

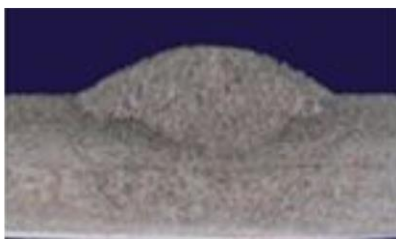


Fig. 16: Soldadura com He

Soldadura com Árgon - Misturas com He (EN ISO 14175 - I3)

O objetivo destas misturas é alcançar um compromisso entre os dois gases acima descritos; consequentemente, são obtidas boas penetrações (hélio), mas com boas características de transferência do material de adição (árgon).

Misturas muito diferentes estão disponíveis comercialmente, contendo hélio em percentagens que variam geralmente entre 10% e 80%.

4.3 Soldadura com gás ativo

Na soldadura por fio sólido, utilizando gases ativos, o termo MAG (acrónimo de Metal Active Gas) é também utilizado para indicar este processo de soldadura.

Todos os gases que causam qualquer efeito sobre a composição química do banho de fusão são gases ativos; por isso, todos os gases ou o excluído árgon, hélio e as suas misturas são considerados ativos.

Em geral, a utilização de gases ativos na soldadura está ligada à obtenção de efeitos benéficos em termos de produtividade ou facilidade operacional.

Soldadura com CO₂ puro ou misturas à base de CO₂ (EN ISO 14175 - C1 e C2)

O dióxido de carbono pode ser adicionado, em percentagens muito elevadas, para obter um banho de fusão mais quente e penetrante; portanto, o gás permite velocidades de soldadura muito elevadas e, conseqüentemente, uma produtividade elevada.

No entanto, este gás tem alguns efeitos negativos, incluindo:

- uma certa instabilidade do arco, por isso é difícil ter uma transferência regular do material de adição, e vários salpicos na soldadura

- contaminação muito marcada do banho de fusão (oxidação), o que torna a mistura inutilizável em materiais particularmente oxidáveis (por exemplo, aços ricos em cromo).

Por estas razões, esta atmosfera protetora é geralmente utilizada apenas com fios fluxados (que permitem uma maior regularidade de depósito) e em aços não ligados.

Soldadura com misturas à base de gás inerte e com adição de gases ativos (EN ISO 14175 -M11
 M34)

Devido à instabilidade da utilização de misturas à base de dióxido de carbono, as misturas de argon-CO₂ são frequentemente utilizadas para obter resultados prometedores, conseguindo assim uma boa estabilidade (os fios sólidos também são frequentemente utilizados) e também uma boa produtividade.

No caso de materiais facilmente oxidáveis (tais como aços inoxidáveis ou todos os aços ricos em cromo), são utilizadas misturas gasosas que contêm pequenas percentagens de dióxido de carbono (menos de 5%) para tornar o banho mais fluido e a transferência mais regular.

Para além do que vimos, outros gases podem estar presentes em pequenas percentagens (nunca mais do que 5% no total), para alguns fins específicos:

- oxigénio, para suavizar o cordão de soldadura e reduzir os salpicos;

- hidrogénio (apenas para aços inoxidáveis, de tipo austenítico); para obter um cordão menos oxidado e velocidades de soldadura mais elevadas;

- nitrogénio (apenas para aços inoxidáveis austeníticos - ferríticos), utilizados em percentagens muito pequenas para obter efeitos metalúrgicos específicos.

5. Fios

Na soldadura por fio contínuo, o material de adição é levado até à tocha pelo motor de avanço que o desenrola de um carrete.

Independentemente do tipo de material e fio considerados, o desenrolamento é importante, que deve ser regular, sem dobrar, para evitar avanços desiguais ou irregulares, que poderiam

causar flutuações excessivas nos valores da corrente de soldadura (a corrente está correlacionada com a velocidade de avanço do fio).

Em geral, os fios têm uma cobertura de cobre ou níquel, ou em todo o caso providos de um tratamento de superfície especial para facilitar o contacto elétrico no tubo de transporte de corrente e também, quando necessário, para evitar a oxidação do fio.

Como já foi mencionado no capítulo 1, é possível distinguir entre fios sólidos e fios fluxados, cujas características serão descritas nos parágrafos seguintes; a tabela mostra, em vez disso, os diâmetros esperados e as tolerâncias relativas, com base na norma europeia UNI EN 544.

DIÂMETRO [mm]	TOLERÂNCIA [mm]	
	SÓLIDO	FLUXADO
0,6	+0,01 -0,03	-
0,8	+0,01 -0,04	
0,9		
1,0		
1,2		
1,4		
1,6		
1,8		
2,0		
2,4		
2,5		
2,8	+0,01 -0,07	±0,06
3,0		
3,2		
4		

Tabela 4

5.1 Fios sólidos

Na soldadura por fio sólido, as características do depósito estão diretamente relacionadas com a composição química do fio.

Consequentemente, não existem diferenças operacionais entre os diferentes tipos de fio, exceto no que diz respeito às características de cada metal soldado.

Do ponto de vista da classificação, os regulamentos de classificação europeu e americano (AWS) estão resumidos na tabela seguinte.

Como exemplo, as tabelas 6 e 7 também mostram um diagrama relacionado com a classificação europeia de fios sólidos para soldadura de aços-carbono e aços de grão fino.

A tabela 8 refere-se à classificação AWS de fios para a soldadura de aços-carbono, enquanto que a tabela 9 se refere à classificação de fios para a soldadura de aços inoxidáveis.

Materiais	Norma EN	Norma AWS
Aços carbono e de baixa liga	EN ISO 14341	AWS A5.18
Aços resistentes à fluência	EN ISO 21952	AWS A5.28
Aço inoxidável	EN ISO 14343	AWS A5.9
Aços de alta resistência	EN 13347	AWS A5.28
Alumínio	ISO 18273	AWS A 5.10
Níquel e ligas de níquel	ISO 18274	AWS A 5.14
Cobre	EN 13347	AWS A5.7
Ferro	ISO 1071	AWS A5.15

Tabela 5

EN ISO 14341				G	46	3	M	G3Si1		
Processo de soldadura									Composição química	
Propriedades mecânicas do depósito de soldadura									Gás de proteção	
	Rs [MPa]	Rm [MPa]	Tds. %						M	Misturas ativas (M21 - M24)
35	350	440÷570	22						C	Misturas à base de CO ₂
38	380	470÷600	20							
42	420	500÷640	20							
46	460	530÷680	20							
50	500	560÷720	18							
Ensaio de impacto: 47 J										
SÍMBOLO		TEMPERATURA [°C]								
Z		Sem pedido								
R		+20								
0		0								
2		-20								
3		-30								
4		-40								
5		-50								
6		-60								

Tabela 6

Símbolo	Composição química %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al	Ti+Zr
G0	Qualquer composição química adicional não é prevista pela legislação								
G2Si	0,06÷0,14	0,50÷0,80	0,90÷1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si1	0,06÷0,14	0,70÷1,00	1,30÷1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G4Si1	0,06÷0,14	0,80÷1,20	1,60÷1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si2	0,06÷0,14	1,00÷1,30	1,30÷1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G2Ti	0,04÷0,14	0,40÷0,80	0,90÷1,40	0,025	0,025	0,15	0,15	0,05÷0,20	0,05÷0,25
G3Ni1	0,06÷0,14	0,50÷0,90	1,00÷1,60	0,020	0,020	0,80÷1,50	0,15	0,02	0,15
G2Ni2	0,06÷0,14	0,40÷0,80	0,80÷1,40	0,020	0,020	2,10÷2,70	0,15	0,02	0,15
G2Mo	0,08÷0,12	0,30÷0,70	0,90÷1,30	0,020	0,020	0,15	0,40÷0,60	0,02	0,15
G4Mo	0,06÷0,14	0,50÷0,80	1,70÷2,10	0,025	0,025	0,15	0,40÷0,60	0,02	0,15
G2Al	0,08÷0,14	0,30÷0,70	0,90÷1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,35÷0,75	0,15

Tabela 7

AWS A5.18		ER	70	S	6
Fio ou vareta TIG		Fios sólidos			
Resistência à tração (Gás de proteção CO ₂)					
Rm [Ksi]	Rm [MPa]	Rs [MPa]	Tds. %		
70	500	420	22		

DEPÓSITO					
N°	Composição química				Impacto
	C	Mn	Si	Outro	
2	0,07 Max	0,9÷1,4	0,4÷0,7	Ti = 0,05÷0,15 Zr = 0,02÷0,12 Al = 0,05÷0,15	27 J a -29°C
3	0,06÷0,15	0,9÷1,4	0,45÷0,7	Al = 0,05÷0,9	27 J a -18°C
4	0,07÷0,15	1,0÷1,5	0,65÷0,85		--
5	0,07÷0,19	0,9÷1,4	0,3÷0,6		--
6	0,07÷0,15	1,4÷1,85	0,8÷1,15		27 J a -29°C
7	0,07÷0,15	1,5÷2,0	0,5÷0,8		
P=0,025 Max, S=0,035 Max, Cu=0,5Max					

Tabela 8

AWS A5.9 ER 308 Mo											
Fio de soldar ou vareta TIG											
Composição química											
CLASSE	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu	Outro
209	0.05	20.5-24.0	9.5-12.0	1.5-3.0	4.0-7.0	0.90	0.03	0.03	0.10-0.30	0.75	V 0.10-0.30
218	0.10	10.0-18.0	8.0-9.0	0.75	7.0-9.0	3.4-4.5	0.03	0.03	0.08-0.18	0.75	—
219	0.05	19.0-21.5	5.5-7.0	0.75	8.0-10.0	1.00	0.03	0.03	0.10-0.30	0.75	—
240	0.05	17.0-19.0	4.0-6.0	0.75	10.5-13.5	1.00	0.03	0.03	0.10-0.30	0.75	—
307	0.04-0.14	19.5-22.0	8.0-10.7	0.5-1.5	3.3-4.75	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
308	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
308H	0.04-0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.50	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
308L	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
308Mo	0.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
30LMo	0.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
308Si	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—
308LSi	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—
309	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
309L	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
309Mo	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
309LMo	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
309Si	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—
309LSi	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—
310	0.08-0.15	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
312	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
316	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
316H	0.04-0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
316L	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
316Si	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—
316LSi	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	—
317	0.08	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
317L	0.03	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
318	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	Nb 8 x C min 1.0 max
320	0.07	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	2.5	0.60	0.03	0.03	—	3.0-4.0	Nb 8 x C min 1.0 max
320LR	0.025	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	1.5-2.0	0.15	0.015	0.02	—	3.0-4.0	Nb 8 x C min 1.0 max
321	0.08	18.5-20.5	9.0-10.5	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	Ti 9 x C min/1.0 max
330	0.18-0.25	15.0-17.0	34.0-37.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	—
347	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	—	0.75	Nb 10 x C min/1.0 max
347Si	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0	0.75	1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	—	0.75	Nb 10 x C min/1.0 max
383	0.025	20.5-28.5	30.0-33.0	3.2-4.2	1.0-2.5	0.50	0.02	0.03	—	0.70-1.5	—
385	0.025	19.5-21.5	24.0-26.0	4.2-5.2	1.0-2.5	0.50	0.02	0.03	—	1.2-2.0	—
409	0.08	10.5-13.5	0.6	0.50	0.8	0.8	0.03	0.03	—	0.75	Ti 10 x C min/1.5 max
409Cb	0.08	10.5-13.5	0.6	0.50	0.8	1.0	0.04	0.03	—	0.75	Nb 10 x C min/0.75 max
410	0.12	11.5-13.5	0.6	0.75	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—
410NiMo	0.06	11.0-12.5	4.0-5.0	0.4-0.7	0.6	0.5	0.03	0.03	—	0.75	—

Tabela 9

5.2 Fios fluxados

Os fios fluxados consistem num elemento tubular que contém um fluxo ou pó metálico no interior (fig. 18); a principal vantagem é a de obter uma maior eficiência de processo (para a mesma corrente um fio fluxado deposita mais material do que um fio sólido) e uma maior estabilidade do arco.

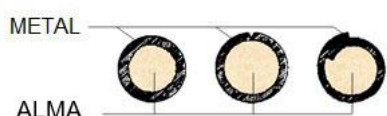


Fig.18: Fios fluxados

Durante a soldadura, o fluxo contido no interior do fio derrete, acaba no banho de fusão e, graças às suas propriedades de fluidez, flutua no banho produzindo em geral uma escória (fig. 19) que deve ser removida entre cada passe.

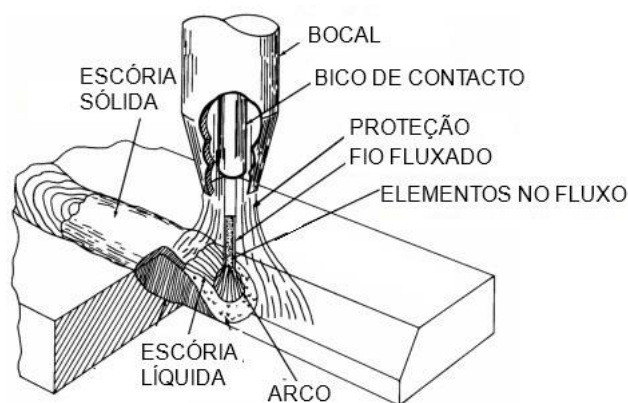


Fig.19: Soldadura por arco com fio fluxado

Com base nas substâncias contidas no fluxo ou no pó metálico, é possível distinguir diferentes tipos de fio fluxado:

- fios fluxados rutilo; são os mais utilizados porque permitem uma excelente regularidade de depósito, e uma elevada estabilidade do arco (são também utilizados com CO₂ puro);
- fios fluxados básicos; permitem obter excelentes propriedades de soldadura, graças à formação de uma camada relativamente espessa que tem por objetivo purificar a área fundida das impurezas;
- fios fluxados com metal (metal-cored); têm o maior rendimento de sempre, uma vez que a alma contém essencialmente pó metálico e consequentemente produz muito pouca queimadura; são amplamente utilizados na soldadura com CO₂ puro;
- fios fluxados autoprotetidos para soldadura sem gás (autoprotetidos); são utilizados no local e em geral onde existe uma preocupação com a presença de correntes de ar que possam eliminar a proteção gasosa de outros tipos de soldadura, e onde a ausência de sistemas de fornecimento de gases de proteção simplifica a sua utilização; no entanto, produzem níveis de fumos de soldadura que são claramente superiores a outros tipos de fios.

Devido às complexas técnicas de produção necessárias para o seu fabrico, os fios fluxados têm um custo mais elevado do que os sólidos.

A tabela seguinte lista as principais normas europeia e americana AWS atualmente disponíveis para a classificação de fios fluxados; a Tabela 11 refere-se à classificação AWS de fios fluxados (com ou sem gás de proteção) para a soldadura de aços de baixa liga; a Tabela 12 refere-se, pelo contrário, à classificação europeia.

Tabela 10

* Composição química e propriedades de ensaio de impacto

Tabela 11

EN17632				T	46	3	1Ni	B	M	4	H5	
Fio Tubular				Hidrogénio difusivo (Hdm)								
Características mecânicas*				H3	< 3 ml/100g							
				H5	3 ÷ 5 ml/100g							
				H10	5 ÷ 10 ml/100g							
				H15	5 ÷ 10 ml/100g							
Impacto: 47 J				Posição de soldadura								
				1	Todas							
				2	1) exceto PG							
				3	PA e PB							
				4	PA							
Proteção				5	3) e PG							
				M	Misturas ativas (M21 - M24)							
				C	Mistura à base de CO2							
				N	Sem proteção							
				Composição química				Características do fluxo				
Químico		Simple ou multipasse						Proteção				
R	Rutilo - congel. lento		S e M					Necessária				
P	Rutilo - congel. rápido		S e M					Necessária				
B	Básico		S e M					Necessária				
M	Núcleo de metal		S e M					Necessária				
V	Fluoreto - básico		S*					Desnec.				
W	Fluoreto - básico congel. lento		S e M					Desnec.				
Y	Fluoreto - básico congel. rápido		S e M					Desnec.				
S	Outro		S e M					Desnec.				
* Características mecânicas*				Y ₅ BM (min.)		Y ₅ depósito						
				3T	355 Mpa		470 Mpa					
				4T	420 Mpa		520 Mpa					
				5T	500 MPa		600 MPa					

Tabela 12

6. Parâmetros e modo de transferência

Como na soldadura por arco elétrico o eletrodo utilizado é também o elemento que, aquecido pela passagem da corrente, se funde, é possível identificar uma forte ligação entre a corrente e a quantidade de metal depositado.

Os campos de parâmetros dentro dos quais certos modos de transferência são obtidos, são também uma função do gás de proteção, do diâmetro e do tipo (sólido/fluxado) do fio.

Combinando estes efeitos, pode compreender-se que a escolha dos parâmetros de soldadura pode envolver diferentes formas em que as gotas do metal de adição se desprendem do fio e chegam ao banho de fusão. Estes "modos de transferência" são basicamente quatro, como descrito abaixo.

- Transferência por curto-circuito ou arco curto. Este modo de transferência é obtido para valores relativamente baixos de corrente e tensão, e envolve a formação de grandes gotas de metal que se desprendem do fio quando tocam no banho de fusão (fig. 21).



Fig.21: Modo de transferência por arco curto

Esta técnica de soldadura permite a obtenção de juntas em posições diferentes da horizontal, mesmo que garanta baixas taxas de depósito e envolva um certo risco de salpicos e de falta de fusão.

- Transferência globular. À medida que os valores de corrente aumentam, as gotas que se formam serão sempre maiores; obtém-se, assim, uma transferência irregular. Obtém-se um depósito irregular, com considerável desenvolvimento de salpicos (fig. 22). Consequentemente, este modo de transferência deve ser evitado, mesmo que seja facilmente realizável com o aumento do teor de CO₂ na mistura gasosa.



Fig.22: Modo de transferência globular

- Spray ou transferência por arco spray. Para valores elevados de tensão e corrente, o arco é muito estável e direcional; consequentemente as gotas do material de adição são finamente "nebulizadas" e são depositadas com uma velocidade considerável no banho de fusão (fig. 23): o depósito apresenta-se, portanto, muito regular. Esta técnica é geralmente utilizada e funciona na posição horizontal em materiais espessos; contudo, como a gravidade tem um papel fundamental, este modo é utilizado com pouco sucesso em soldadura ao teto e, muitas vezes, em posições que não sejam a horizontal.



Fig.23: Modo de transferência por arco spray

- Transferência por arco pulsado. As fontes de energia de soldadura por inversor, permitem a aplicação de correntes que variam ao longo do tempo (corrente modulada), geralmente caracterizadas por uma corrente de base, de modo a não causar depósito e uma corrente de pico, de modo a causar o desprendimento de uma gota, por isso deve-se ajustar (fig. 24).

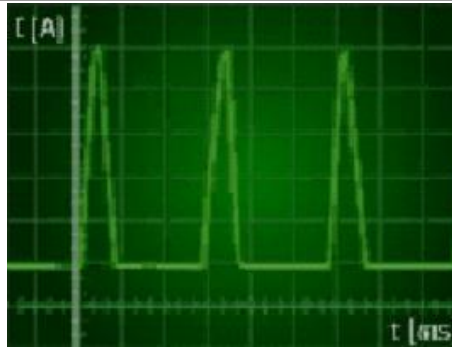


Fig.24: Corrente pulsada

Consequentemente, é possível "controlar" o desprendimento das gotas (fig. 25) através de ajustes apropriados (disponíveis na fonte de energia sob a forma de programas). Ao mesmo tempo, a entrada de calor específica total é suficientemente baixa para assegurar um banho de fusão bastante pequeno (banho "frio").

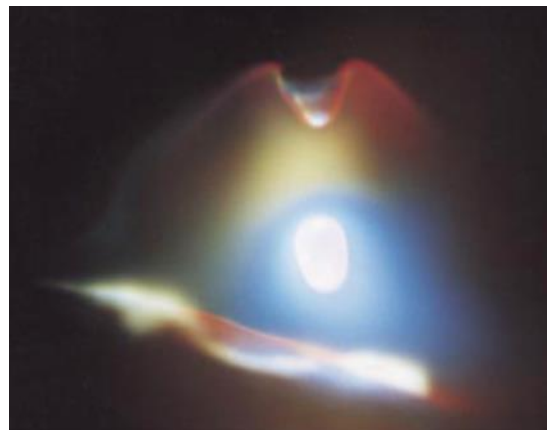


Fig.25: Modo de transferência pulsado

Assim, será evidente que as combinações particulares de parâmetros influenciam significativamente a qualidade e operabilidade da soldadura, influenciando diretamente a quantidade de metal depositado, a posição de soldadura e o aspeto do passe de soldadura. Os campos dos parâmetros dentro dos quais certos modos de transferência são obtidos, são também uma função do gás de proteção, do diâmetro e do tipo (sólido/fluxado) do fio, conforme já foi referido. Em particular, com o mesmo metal soldado, o arco spray será mais facilmente obtido quando a percentagem de gases ativos contidos no gás de proteção e o diâmetro do arame forem reduzidos; como já foi mencionado acima.

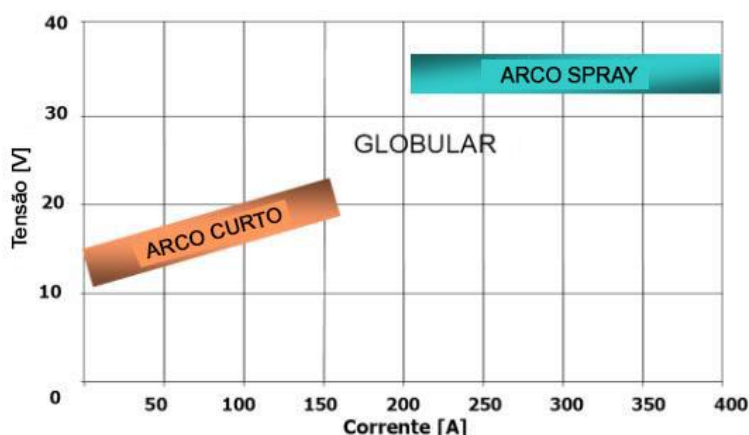


Fig.26: Curva do modo de transferência para fio sólido (0,8mm - mistura 92% Árgon e 8% oxigénio)

7. Técnica

7.1 Parâmetros

Os principais parâmetros operatórios são mostrados abaixo, e a influência reativa sobre as características do cordão é brevemente descrita.

7.2 Posição da tocha e extensão do eléctrodo ou stick out

Como já foi mencionado no capítulo 2, neste processo a característica particular do processo e da fonte de energia permite manter a velocidade de fusão do fio exatamente igual à velocidade de alimentação do fio. Isto significa que a intensidade da corrente é gerida pela máquina após o soldador definir uma certa velocidade de avanço do fio, permitindo ao soldador gerir o avanço da tocha e a sua altura relativamente ao banho de fusão.

Em particular, as variações na posição da tocha em relação ao eixo vertical provocam as consequências descritas abaixo.

- Se a tocha for levantada, após um período transitório muito breve, há um aumento do stick out (comprimento livre do fio), com uma consequente diminuição da corrente de soldadura (Ampère) e consequentemente da penetração; a Tensão (Volt) permanece constante pelo contrário. Se a distância da tocha for excessiva, a proteção do gás (se presente) torna-se insuficiente, o arco começa a ser instável e os salpicos e a porosidade desenvolvem-se.

- Se a tocha for baixada, após um período transitório muito breve, há uma diminuição na corrente de soldadura (Ampère) e consequentemente na penetração; a tensão (Volt) permanece constante pelo contrário. Se a tocha for baixada em demasia, desenvolvem-se curtos-circuitos (contacto do fio com o banho) e o soldador sente um puxão da tocha para levantar a sua posição.

Consequentemente, pode inferir-se que neste processo a penetração e o stick out são ajustados pela simples deslocação da tocha para cima (subida) ou para baixo (descida). A figura 20 mostra uma comparação de três posições da tocha diferentes, seguidas de diferentes valores de stick out, corrente e penetração.

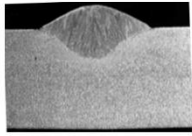
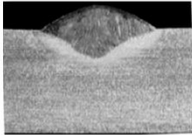
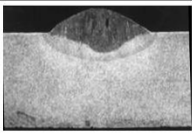
Stick Out	Parâmetros			Fio		Proteção		MACRO
	V	I	Vel. Avanço	Velocidade	Diam.	Gás	Caudal	
9	31,5 V	263 A	270 cm/min	3,4 m/min	1,2 mm	Ar/CO ₂ 80 – 20	16 l/min	
15	32,2 V	240 A						
25	33,4 V	228 A						

Fig.20: Efeitos da variação do stick out

7.3 Velocidade de avanço e técnicas balanceadas

A velocidade de avanço da soldadura, para além de influenciar a entrada de calor, também causa variações na soldadura: embora o "fator de forma" (relação largura / profundidade) permaneça constante, o tamanho pode variar; como é evidente, quanto maior for a velocidade, menor será o tamanho do passe de soldadura.

Contudo, devido à velocidade excessiva de soldadura, existe um certo risco de falhas na fusão (falta de penetração, bordos queimados), enquanto que quando a velocidade de soldadura é demasiado baixa o cordão tende a dilatar demasiado.

8. Prática de soldadura

Abaixo estão algumas informações úteis para a realização de soldadura em aços carbono e baixa liga.

Deve também salientar-se que a informação aqui relatada deve ser considerada como simples sugestões, não sendo um substituto para uma formação prática adequada, à qual, especialmente para posições de soldadura mais complexas, deve ser acrescentada uma experiência no campo pertinente.

8.1 Preparação da peça

Antes de efetuar a soldadura, é aconselhável limpar a peça, com polimento, escovagem e em alguns casos, solventes (por exemplo, na soldadura de ligas leves e aços inoxidáveis austeníticos).

Considerando o comprimento das secções normalmente depositadas durante a soldadura, é aconselhável proceder à fixação das peças que serão unidas, a fim de evitar deformações significativas (por exemplo, pingo de soldadura).

8.2 Escorvamento do arco

No início da soldadura, o botão da tocha é premido para desencadear o processo, e assim que o fio toca na peça, a fonte de energia fornece a corrente máxima disponível e atinge o arco elétrico. O escorvamento do arco elétrico ocorre, portanto, por curto-circuito, isto é, por contacto entre o eletrodo e a peça.

Graças ao diâmetro relativamente pequeno do fio, o calor desenvolvido nesta fase inicial permite a volatilização de uma parte muito pequena do fio, libertando conseqüentemente um espaço entre o eletrodo e o material de base dentro do qual o arco pode ser escorvado, que inicialmente tem um comprimento muito reduzido, mas que rapidamente atinge o seu funcionamento normal.

Simultaneamente com o fornecimento da corrente de soldadura, um interruptor automático abre as válvulas do gás de proteção e de qualquer água de arrefecimento.

Operacionalmente, é muito importante conseguir um aquecimento gradual do banho, o que pode ser realizado através do escorvamento do arco sobre um calcanhar, e esperar alguns momentos até se ver a formação de um banho de tamanho apropriado. Se não for possível utilizar um cordão (por exemplo, numa soldadura "fechada"), é necessário considerar que a área de partida deve ser subsequentemente removida com um disco de desbaste ou rebarbadora quando a estrutura é fechada.

8.3 Técnica de soldadura

Durante a soldadura, a tocha é geralmente mantida inclinada na direção de avanço (técnica à esquerda ou de "empurrar") de cerca de 20 - 30 ° em relação à vertical; no entanto, na soldadura com fios fluxados, devido à presença da escória, a tocha deve ser inclinada em direção ao banho de fusão (técnica à direita ou de "puxar"), de modo a evitar que a escória cubra a zona de impacto do arco no banho de fusão, impedindo a passagem da corrente e conseqüentemente extinguindo o próprio arco (fig. 27).

Um caso especial é o de fios fluxados ou fios fluxados metal-cored, que não produzem escória e são utilizados como fios sólidos.

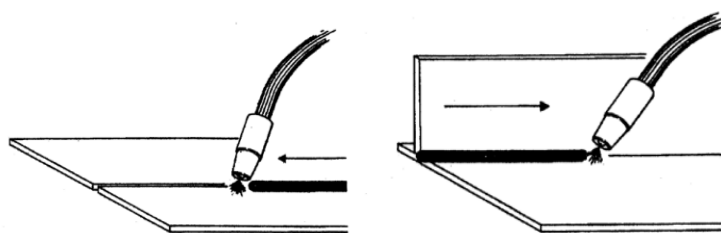


Fig.26: Técnicas à esquerda e à direita

É extremamente importante que durante a soldadura a distância da tocha seja mantida tão constante quanto possível para garantir que o stick-out não sofra variações, com a consequente alteração da corrente e penetração do passe. Para obter este resultado é aconselhável que o soldador seja convenientemente conveniente em relação à peça e ao depósito a ser feito, tendo em consideração um comprimento útil da secção não excessivamente depositada (que nunca deve exceder o medidor) de modo a poder permanecer imóvel na posição de soldadura e progredir com o busto; seria também aconselhável considerar a posição de escorvamento mais afastada do tronco e a posição de paragem do depósito mais próximo, uma vez que geralmente fica mais difícil gerir o banho de fusão à medida que a sua temperatura aumenta.

Como já mencionado no parágrafo 4.1.2, o primeiro passe é geralmente realizado em arco curto, ou possivelmente num arco pulsado, a fim de obter um banho facilmente controlável. No final do primeiro passe e entre cada passe é aconselhável efetuar uma limpeza adequada, através da remoção de qualquer escória que se tenha formado e assegurar uma superfície devidamente limpa para acomodar os passes seguintes. É, portanto, necessário recomendar o polimento de modo a obter uma "garganta" e não as "costas de um burro" ou uma secção quadrada (fig. 28).



Fig.28 Soldadura em PA

Como já foi mencionado, na soldadura horizontal o primeiro passe é executado em arco curto ou em arco pulsado, seguido por qualquer passe de enchimento/acabamento, geralmente feito com correntes mais altas (e depósitos).

Não recomendamos a utilização de técnicas de soldadura em passes balanceados (também conhecidas como "cordões largos"), devido ao sobreaquecimento do banho resultante das baixas velocidades de avanço e da entrada de calor relativamente elevada.

Soldadura vertical em PF

Neste caso, a técnica de soldadura requer parâmetros elétricos de modo a obter a transferência de preferência em arco curto para todos os passes.

Neste caso, a técnica operatória é sempre empurrar, independentemente do tipo de fio utilizado. A fim de apoiar o metal ao tentar evitar gotas com a pressão do arco.

O enchimento e o acabamento são normalmente realizados com movimentos balanceados que abrangem toda a largura do chanfro, e curvados para cima (diferente do que acontece com a soldadura com eletrodo revestido). É também aconselhável considerar que de cada lado haverá uma paragem e, ao mover-se de um lado para o outro, isto deverá ser realizado o mais rapidamente possível, de modo a garantir a fusão correta das superfícies da junta e, para os passes de enchimento, evitar bordos queimados. Como resultado, o banho de fusão terá de ser elíptico (fig. 29); se os parâmetros elétricos forem demasiado altos, o banho será excessivamente fluido ou "quente" e terá tendência de pingar para baixo.

Soldadura em PE

Neste caso, a condição particular coloca o banho de fusão a trabalhar contra as forças da gravidade, uma situação que torna a técnica operatória entre as mais difíceis de alcançar. Por esta razão é ainda mais importante a posição do soldador em relação à peça e é fortemente recomendado usar ambas as mãos, segurando a tocha com uma, sustentando o antebraço com a outra.

O modo de transferência aplicável é o arco curto e pulsado. Ao mesmo tempo, para evitar ter demasiado fluido no banho de fusão, é necessário ter altas velocidades de alimentação do fio (cordões "puxados"), uma situação que consequentemente conduz a valores de corrente mais elevados do que os utilizados para o primeiro passe horizontal.

Na soldadura ao teto é finalmente apropriado aumentar ligeiramente o caudal de gás para a tocha, a fim de garantir uma proteção adequada do banho e do arco, especialmente se for o gás de proteção de Árgon.

A técnica operatória é tipicamente de empurrar para fios sólidos ou de puxar para fios fluxados.

Soldadura em PC

Neste caso, a técnica de soldadura é semelhante à utilizada em PE, embora se tente manter o banho frio, limitando assim a entrada de calor.

Deve-se lembrar que, para assegurar uma proteção adequada do banho de fusão, é necessário inclinar ligeiramente a tocha para cima (soldadura com misturas de Árgon) ou para baixo (soldadura com misturas de Hélio).

Soldadura em PG

A soldadura vertical descendente tem um problema fundamental. O facto de o movimento da tocha ser na mesma direção e no sentido da gravidade: consequentemente a descida da tocha

deve ser mais rápida do que a velocidade de queda do banho, de modo a evitar que cubra a raiz da junta ou os passes subsequentes sem que estes sejam fundidos pelo arco.

O resultado é altas velocidades de soldadura e baixas potências térmicas, o risco da falta de penetração é tão elevado que é fortemente desaconselhada a soldadura nesta posição.

8.4 Fim da soldadura

O fim da soldadura deve ser levado a cabo mediante a tentativa de alcançar uma paragem gradual do arco (por exemplo, com um aumento final da velocidade de soldadura), a fim de evitar a formação de crateras no fim da soldadura (fig. 29).

Fig.29: cratera de fim

Consequentemente, é aconselhável prosseguir até ao fim da soldadura num passe, ou, se tal não for possível (como por exemplo no acabamento de uma soldadura transversal), convém preparar previamente o acabamento através da realização de uma espécie de calha de acabamento.

Neste caso, o acabamento deve ser concluído no final do passe e o material em excesso deve ser posteriormente retrabalhado com um disco de desbaste ou rebarbadora para trazer a junta de volta à altura nominal.

Finalmente, é de salientar que existem fontes de energia que permitem uma modulação da corrente no acabamento de forma a permitir um desligamento gradual que ocorre em poucos instantes, possivelmente com o depósito de uma única gota de material de adição, como se fosse um único impulso do arco pulsado, a fim de encher a cratera (sistemas "enchimento de cratera").

8.5 Reinício de passes de soldadura

Ao fazer juntas de um certo comprimento, como na realização do teste de qualificação de soldador, pode ser necessário efetuar uma recuperação de soldadura. Isto pode ser feito através de uma calha inicial (como a da fig. 30) no local de início/paragem, na qual se faz a partida, com uma velocidade suficientemente lenta de modo a formar um banho de fusão de tamanho apropriado.

Antes de iniciar um novo passe, na cratera de fim do passe anterior será apropriado remover o material em excesso com um rebolo ou uma rebarbadora.

BIBLIOGRAFIA DA UNIDADE

[\[1\] Curso geral de soldadura por arco elétrico \(GMAW\): Material de formação IIS](#)

GLOSSÁRIO

Inclui os conceitos principais, novos e/ou complexos vistos na unidade, como um dicionário. Este tipo de recurso é importante especialmente quando o curso é destinado a alunos sem qualquer conhecimento da matéria. As entradas do glossário estão ordenadas por ordem alfabética.

Welding Processes – Soldadura GW

1.1 Nome do curso

Soldadura Oxiacetilénica a Gás

1.2 Duração do curso

5 horas

1.3 Finalidade do curso

Nesta unidade são mostrados elementos específicos relacionados com o processo de soldadura oxiacetilénica, especificamente relacionados com o equipamento de soldadura, parâmetros de soldadura, técnicas típicas de soldadura e metais de adição utilizados.

1.4 Objetivos do curso

Conhecimentos	Competências	Atitudes
Assumir competências gerais no processo de soldadura oxiacetilénica	Introdução geral sobre o processo de soldadura oxiacetilénica	Os alunos devem, durante o curso, demonstrar uma boa cooperação com o professor e colegas de sala de aula, a fim de melhorar os conhecimentos e partilhar informações.
Identificar os principais componentes do equipamento de soldadura e ter conhecimentos da sua manutenção	Identificar os componentes da máquina de soldar Identificar a competência geral em manutenção	
Melhorar a competência na medição de parâmetros de soldadura	Identificar os principais parâmetros do processo de soldadura oxiacetilénica Medir e controlar os parâmetros de soldadura	
Melhorar a competência em gases de proteção	Identificar gases de proteção Escolha do gás de proteção correto e das suas principais propriedades	
Melhorar a competência em metal de adição	Identificar a diferença em metais de adição Escolher o metal de adição correto em consequência das propriedades da junta	
Identificar técnicas operacionais no processo de soldadura oxiacetilénica	Aplicar diferentes modos de transferência no processo de soldadura	

	Escolher o modo de transferência correto em consequência do tipo de soldadura	
Identificar diferentes técnicas de soldadura, com explicação específica sobre a forma correta de soldar	Assumir competência em diferentes técnicas de soldadura Conhecer a técnica correta de soldar em diferentes posições de soldadura	
Melhorar a competência na prática da soldadura	Saber como preparar uma peça Ter competências sobre os principais defeitos de soldadura e como evitá-los	

1.5 Índice

1. Introdução

2. Chama oxiacetilénica

- 2.1. Regulação da chama
- 2.2. Propriedades da chama

3. Equipamento

- 3.1. Oxigénio
- 3.2. Acetileno
- 3.3. Redutor de pressão
- 3.4. Válvula de segurança
- 3.5. Economizador
- 3.6. Tubos
- 3.7. Maçarico

4. Técnica operacional

- 4.1. Introdução
- 4.2. Cálculo da entrada de calor
- 4.3. Preparação dos discos
- 4.4. Operação correta

5. Aplicação

- 5.1. Tipo de junta
- 5.2. Material de base
- 5.3. Defeitos típicos
- 5.4. Metal de adição

1.6 Participantes

Características do aluno:	Competências técnicas básicas
---------------------------	-------------------------------

1.7 Condições de entrada

Grau de escolaridade exigido:	Alunos de escolas de EFP
Conhecimentos prévios necessários	Conhecimentos básicos em soldadura
Requisitos de idade:	16 e 20 anos

1.8 Atividades de avaliação

Avaliação contínua: nada necessário

1.9 Bibliografia (usada ou suplementar)

[1] Curso geral de soldadura GW: Material de formação IIS

NÚMERO DA UNIDADE: Unidade Didática 4

TÍTULO DA UNIDADE: Soldadura Oxiacetilénica a Gás (GW)

APRESENTAÇÃO DA UNIDADE

A presente unidade de aprendizagem mostra elementos específicos relacionados com o processo de soldadura oxiacetilénica, especificamente relacionados com o equipamento de soldadura, parâmetros de soldadura e técnicas típicas de soldadura.

OBJETIVOS

Os objetivos da unidade de ensino são:

- Assumir competências gerais no processo de soldadura oxiacetilénica
- Identificar os principais componentes do equipamento de soldadura e ter conhecimentos da sua manutenção
- Identificar técnicas operatórias no processo de soldadura oxiacetilénica
- Melhorar a competência na prática da soldadura

ÍNDICE

1. Introdução
2. Chama oxiacetilénica
 - 2.1 Regulação da chama
 - 2.2 Propriedades da chama
3. Equipamento
 - 3.1 Oxigénio
 - 3.2 Acetileno
 - 3.3 Redutor de pressão
 - 3.4 Válvula de segurança
 - 3.5 Economizador
 - 3.6 Tubos
 - 3.7 Maçarico
4. Técnica operatória
 - 4.1 Introdução
 - 4.2 Cálculo da entrada de calor
 - 4.3 Preparação dos discos
 - 4.4 Operação correta
5. Aplicação
 - 5.1 Tipo de junta
 - 5.2 Material de base
 - 5.3 Defeitos típicos
 - 5.4 Metal de adição

DESENVOLVIMENTO DOS CONTEÚDOS

1. Introdução

Em novembro de 1895, o químico francês Le Châtelier descobriu que a combustão de quantidades iguais de gás acetileno e oxigénio puro produzia uma chama cuja temperatura era superior às obtidas até então.

A partir desta realidade desenvolveu-se, em poucos anos, um processo de soldadura autógena chamado fusão soldadura oxiacetilénica (Figura 1.1).

Na combustão com oxigénio, o acetileno, embora não tenha o poder calorífico máximo entre os gases disponíveis para soldadura, fornece uma energia térmica consideravelmente superior à dos outros gases de oxigénio (metano, propano, butano, hidrogénio, gás de cidade).

Para a temperatura obténivel (de cerca de 3100°C), a temperatura do oxiacetileno é a única chama que torna possível soldar ligas ferrosas com material de adição que é equivalente ao material de base.



Figura 1.1 Soldadura oxiacetilénica a gás (reparação de chassis), 1949

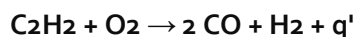
2. Chama oxiacetilénica

A chama oxiacetilénica é o efeito da combustão entre o acetileno (fórmula química C_2H_2 - figura 2.1) e o oxigénio, que chegam separadamente ao maçarico de onde saem juntos após serem intimamente misturados (a formação da mistura acetileno-oxigénio é favorecida pela forma específica do maçarico, que será descrita mais à frente).

À saída do maçarico, a combustão ocorre com uma chama que é a mais adequada para satisfazer as principais necessidades da fusão de um metal e a sua proteção no estado fundido contra a contaminação atmosférica.

Ao analisar a geometria de uma chama corretamente regulada (Figura 2.2), é possível distinguir diferentes zonas, cada uma das quais tem propriedades particularmente significativas para os fins das características do processo.

De facto, a combustão dá inicialmente origem à formação de monóxido de carbono e hidrogénio e ao desenvolvimento de uma certa quantidade de calor em função da reação de combustão primária, que gera uma primeira quantidade de calor, indicada como q' :



Os produtos desta primeira reação química não são os produtos finais da combustão: isto deve-se ao facto de a quantidade de oxigénio fornecida ao maçarico ser menor do que a necessária para queimar completamente o acetileno. A combustão descrita tem, portanto, o nome de combustão primária: ocorre numa superfície em forma de cone, localizada perto da ponta do maçarico chamado dardo.

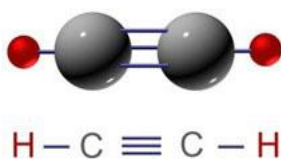
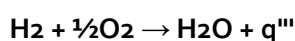
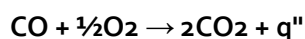


Fig.2.1: Fórmula do acetileno



Fig.2.2: Áreas das chamas

Uma vez que os produtos finais da combustão primária ainda são combustíveis e encontram-se a altas temperaturas, estes completam espontaneamente a sua combustão à custa de outro oxigénio, que não é fornecido pela máquina de soldar, mas é retirado do ar circundante. Sucede que imediatamente a jusante do dardo é estabelecida uma zona ávida de oxigénio; esta é chamada zona redutora e nela ocorre a combustão secundária que completa a oxidação dos produtos da reação primária com um maior desenvolvimento de calor (q'' e q'''), de acordo com as duas reações:



A presença da zona redutora determina também a possibilidade de utilizar a chama oxiacetilénica sem qualquer forma de proteção contra o oxigénio, encontrar o banho de fusão e qualquer material de adição numa atmosfera redutora; salienta-se também que entre os

produtos de combustão existe também vapor de água, que no entanto pode ser considerado pouco perigoso graças aos ciclos térmicos particularmente ligeiros que são efetuados com este processo. O desenvolvimento de calor mantém os produtos finais da combustão a altas temperaturas: isto dá origem a um brilho notável dos gases e vapores produzidos, que perdura por um certo espaço até desaparecer devido à queda de temperatura. A área luminosa em redor do dardo (que por sua vez é ainda mais brilhante) é chamada penacho.

2.1 Regulação da chama

A constituição de uma chama com as características descritas é condicionada pela presença de oxigénio numa medida volumétrica igual ao acetileno, de modo a que a combustão comece em correspondência com o dardo e se complete na primeira parte do penacho, dando assim origem a uma área com ação redutora; nestas condições, a chama é chamada neutra (como a que é mostrada na figura 2.2).

No caso de o oxigénio alcançar o maçarico em excesso ou com defeito em comparação ao acetileno, tanto a forma da chama como as suas propriedades são alteradas (Figura 2.3).

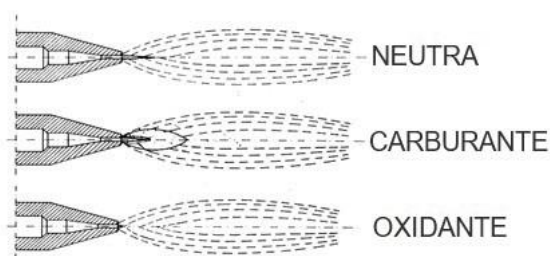


Fig. 2.3: Regulação da chama

2.1.1 Soldadura com baixo oxigénio

Quando o oxigénio é insuficiente para completar a combustão primária, o acetileno necessita de adquirir oxigénio da atmosfera circundante. Contudo, considerando o curto tempo disponível (os gases fluem do maçarico a alta velocidade: cerca de 100 m/s), a combustão completa é praticamente impossível. Portanto, uma certa quantidade de gás de combustão permanece: tendo em conta que o acetileno é formado por hidrogénio e carbono, a parte deste último que não é queimada permanece livre na chama e tende a passar para o banho por ele revestido. Para esta circunstância a chama tem então o nome de carburante: a jusante do dardo aparece um penacho mais prolongado, por vezes de cor avermelhada (Figura 2.4). Além disso, deve notar-se, neste caso, um acentuado efeito redutor.



Fig.2.4: Chama redutora

2.1.2 Soldadura com alto oxigénio

Neste caso, não existe uma zona de combustão primária bem definida: a combustão ocorre completa e quase imediatamente após a saída da ponta do tubo e, consequentemente, a zona

reduzida é consideravelmente reduzida ou desaparece completamente, dependendo da quantidade de oxigénio em excesso.

A chama regulada desta forma tende a dar oxigénio ao banho, revestindo-o e é chamada chama oxidante.



Fig.2.5: Chama oxidante

2.2 Propriedades da chama

Com base nas propriedades físicas da chama de oxiacetileno, é possível compreender algumas das vantagens fundamentais e/ou características que tornam esta fonte de energia adequada para aplicações de soldadura.

Como já mencionado, de facto, a chama de oxiacetileno permite atingir temperaturas suficientemente altas para obter uma fusão correta dos metais a soldar; em particular, a distribuição das temperaturas é particularmente conveniente, uma vez que o valor máximo (da ordem de 3100 °C) é atingido logo a jusante da ponta do dardo, ou seja, em correspondência com o banho de fusão (Figura 2.6).

O dardo está rodeado pela zona redutora e pelo penacho que se estende consideravelmente; imediatamente a jusante do dardo, a presença de uma zona ávida de oxigénio mostra propriedades redutoras e, portanto, tem uma ação desoxidante em relação ao metal trazido para a fusão (banho de fusão). Estas características, contudo, exigem que o volume de oxigénio fornecido seja igual ao do acetileno: caso contrário, a chama tende a oxidar ou a carburar o banho de fusão. Felizmente, quando estas operações anómalas ocorrem, a aparência da chama muda consideravelmente, de modo a que o soldador experiente possa eliminar imediatamente o inconveniente, ajustando facilmente o caudal de oxigénio ou acetileno.

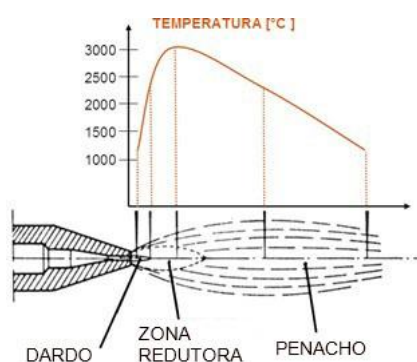


Fig.2.6: Temperatura da chama

3. Equipamento

A figura 3.1 ilustra a configuração de um único posto de soldadura oxiacetilénica: nele encontram-se as garrafas de oxigénio e acetileno, os respetivos redutores de pressão, as válvulas de segurança, o maçarico e o economizador.

Os requisitos gerais para redes de distribuição de soldadura oxiacetilénica estão listados em UNI EN ISO 14113: 1999 - Equipamento de soldadura a gás - Tubos flexíveis de borracha e plástico para gás comprimido ou liquefeito até à pressão de projeto máxima de 4,50 bar.

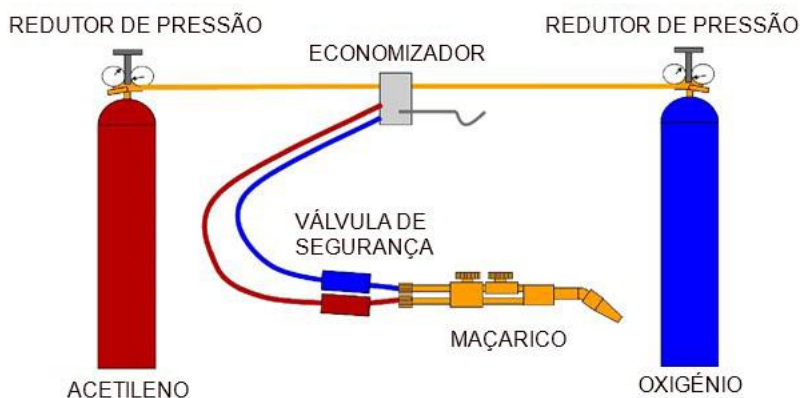


Fig.3.1: Equipamento

Em particular, a norma exige que as redes de distribuição de acetileno em garrafas incluam os seguintes componentes:

- válvula de retenção de alta pressão, localizada imediatamente a jusante da saída da garrafa ou da embalagem de garrafas;
- tubos de distribuição de alta pressão, uma parte dos quais pode ser constituída por tubos flexíveis;
- dispositivo de interrupção rápida, manual ou automática;
- redutor de pressão da garrafa ou redutor de pressão da rede de distribuição;
- indicadores de pressão dos lados a montante e a jusante do redutor de pressão, por exemplo manómetros;
- tubos de baixa pressão a jusante do redutor de pressão da rede de distribuição, que vão para os dispositivos de segurança incluídos, localizados imediatamente a jusante do redutor de pressão;
- válvula de retenção de baixa pressão;
- dispositivo de tapa chamas de baixa pressão;
- termobloco ou dispositivo operado por pressão.

3.1 Oxigénio

O oxigénio é essencial para uma combustão perfeita: somente através do seu fornecimento ao maçarico juntamente com o combustível, numa relação volumétrica praticamente unitária, é possível obter temperaturas da chama elevadas.

É produzido industrialmente por destilação fracionada do ar líquido e é fornecido em tubos de aço a uma pressão geralmente de 200 bar, ou em forma líquida.

3.1.1 Garrafa de oxigénio

As garrafas podem ser de diferentes capacidades; são normalmente utilizadas garrafas de 4 ÷ 8 m³ (valores referidos à pressão atmosférica). O volume de oxigénio contido numa garrafa é aproximadamente proporcional à pressão indicada pelo manómetro; isto permite saber quanto oxigénio permanece na garrafa após a sua utilização.

As garrafas de oxigénio estão equipadas com uma válvula de bronze com rosca à direita e podem ser identificadas graças a uma faixa branca na parte superior da ogiva. O redutor de pressão está aparafusado à válvula, que tem a tarefa de manter a pressão no valor requerido no tubo de alimentação do maçarico.

3.1.2 Segurança

Uma vez que graxa e óleo podem inflamar-se espontaneamente e explodir ao contactar com oxigénio puro sob pressão, não devem nunca ser utilizados em qualquer parte do equipamento e particularmente nas roscas do redutor.

Perdas de oxigénio podem ser detetadas através da aplicação de uma solução com sabão. Nunca utilizar uma chama aberta para procurar fugas.

No caso de oxigénio numa garrafa, esta deve ser colocada numa posição vertical, devidamente fixada (por exemplo com correntes) e afastada de fontes de calor, para proteger contra aumentos de pressão com o consequente risco de explosões graves.

3.2 Acetileno

O acetileno é um hidrocarboneto insaturado da série acíclica, que não é encontrado na natureza, mas produzido pela reação entre água e carboneto de cálcio ou por etileno derivado do petróleo.

O acetileno puro é praticamente inodoro; o característico odor a alho que é muitas vezes sentido deve-se de facto ao hidreto de fósforo (PH₃), apresentado como uma impureza.

É um gás instável que tende a decompor-se com uma forte reação exotérmica, ou seja, que gera calor, quanto mais violentamente, maior a sua pressão.

3.2.1 Garrafa de acetileno

Para evitar o perigo de explosão, o acetileno é armazenado no interior das garrafas no estado dissolvido e não comprimido.

É normalmente dissolvido em acetona que impregna uma massa porosa ocupando todo o volume da garrafa. A acetona consegue dissolver à pressão ambiente um volume de acetila 25 vezes superior ao seu próprio volume; além disso, para cada aumento de pressão de um bar, consegue absorver o mesmo (sendo que, a 15 bar, um litro de acetona consegue receber até 375 litros de acetileno). A pressão do acetileno dissolvido não pode, por lei, exceder 15 bar a 15°C.

Para assegurar a maior estabilidade do acetileno e evitar que a decomposição local do acetileno seja provocada sob a ação de um impacto mecânico ou de um aumento de temperatura, a garrafa é enchida com massas porosas que absorvem o acetileno.

Estes são, em particular, materiais granulados ou em pó (por exemplo, carvão vegetal granulado, que também tem a vantagem de inchar ligeiramente, enchendo os vazios quando está embebido em acetileno).

Consequentemente, uma garrafa contém acetona, acetileno dissolvido, material poroso e espaço livre ocupado pela fase gasosa (vapores de acetileno e acetona) em equilíbrio com a fase líquida, com as percentagens médias mostradas na Figura 3.2.

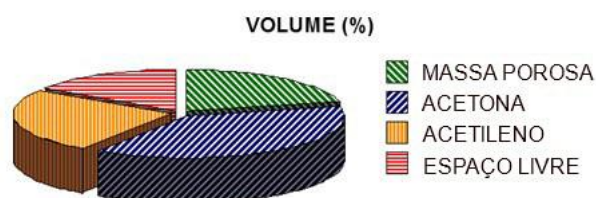


Fig. 3.2: Conteúdo de uma garrafa de acetileno

3.2.2 Segurança

O acetileno é um gás inflamável e por isso é necessário evitar a violência das chamas abertas às garrafas, tubos e canos.

Além disso, o acetileno pode, em parte, ser fortemente condicionado com cobre, formando um composto (acetileto de cobre) que é explosivo. Portanto, a norma internacional UNI EN ISO 9539:2010 impõe que os tubos, uniões e materiais com os quais o gás está em contacto (válvulas redutoras, etc.), tenham um baixo teor de cobre.

3.3 Redutor de pressão

O acetileno e o oxigénio estão contidos em garrafas a uma pressão mais elevada do que a necessária para o funcionamento com o maçarico. Por conseguinte, é necessário que a pressão seja reduzida e mantida estável no valor adequado, independentemente do caudal de gás necessário. Esta função é executada pelo redutor de pressão, mostrado na figura 3.3.

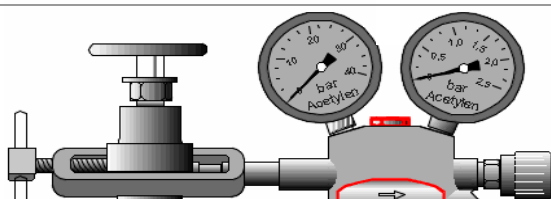


Fig. 3.3: Redutor de pressão

3.4 Válvula de segurança

Na maioria das aplicações, as pressões do acetileno e oxigénio podem também ser muito diferentes uma da outra (mesmo de alguma ordem de grandeza). Isto pode fazer com que a mistura acetileno / oxigénio regresse à linha de pressão mais baixa; considerando, além disso, que este regresso parte do maçarico, é possível considerar que este retrocesso seja acompanhado pela combustão da mistura (é o "rebetamento").

3.5 Economizador

O economizador é um componente típico dos postos fixos, com a tarefa de apenas permitir a circulação dos dois gases durante a soldadura, eliminando o seu consumo durante as paragens de trabalho.

Consiste essencialmente numa válvula que fecha a passagem de ambos os gases para a linha de descarga para o maçarico (Figura 3.16). A válvula, normalmente aberta, é controlada por uma alavanca de gancho, cuja descida determina o seu fecho.

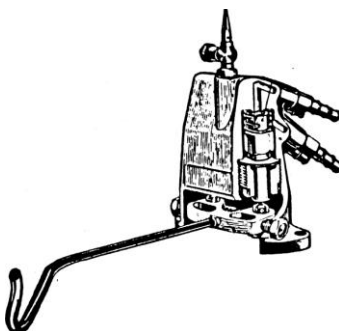


Fig. 3.4: Economizador

3.6 Tubos

Na saída do economizador, ou dos redutores de pressão, os gases são transportados para o maçarico através de tubos flexíveis de borracha, para permitir ao soldador uma mobilidade adequada da chama. Estes tubos consistem de uma série de revestimentos de borracha, reforçados com um reforço metálico ou não metálico.

3.7 Maçarico

É o aparelho ao qual o gás combustível e o gás comburente chegam e no qual ocorre a sua mistura íntima, necessária para permitir a combustão regular ao ponto de saída. O desempenho destas funções e a necessidade de máxima manobrabilidade (para não cansar o soldador) exigem uma construção adequada.

Consoante a pressão do gás para o funcionamento do maçarico, distinguimos maçaricos de baixa pressão (oxigénio regulado entre 1 e 2 bar, acetileno entre 0,01 e 0,02 bar) e de alta pressão (oxigénio e acetileno à mesma pressão de 0,5 - 0,75 bar).

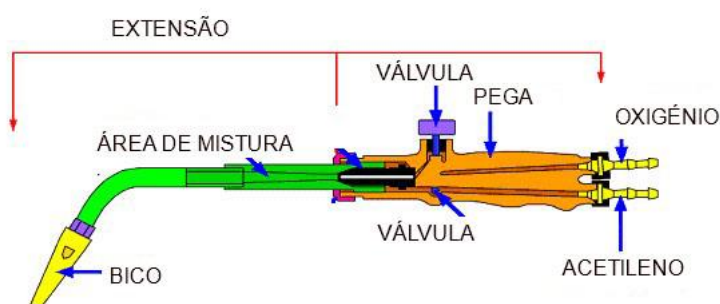


Fig. 3.5 Maçarico

4. Técnica operatórias

4.1 Introdução

As técnicas operatórias utilizadas com o processo oxiacetilénico são diferentes, consoante a posição de soldadura. Consequentemente, os parâmetros de soldadura são também diferentes.

Independentemente das técnicas resultantes das posições, é ainda importante que a ponta da vareta e o banho de fusão se mantenham sempre dentro da zona de proteção contra as chamas (zona redutora).

4.1.1 Soldadura na posição Baixo (PA)

A soldadura horizontal pode ser efetuada com uma técnica para a esquerda (em que o maçarico é apontado na direção de avanço) ou para a direita (com o maçarico apontado no sentido oposto), como mostrado na Figura 4.1.

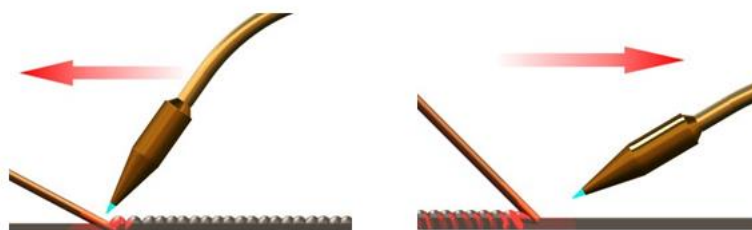


Fig. 4.1: Técnicas de soldadura (para a esquerda, à esquerda e para a direita, à direita)

A técnica de empurrar envolve um movimento retilíneo do maçarico com um ângulo de $30 \div 40^\circ$ em relação ao plano horizontal, a ponta do dardo a $2 \div 3$ mm em relação ao banho e utiliza a vareta com movimentos laterais transversais em forma de U (Figura 4.2), de modo a trazer o dardo para o fundo a tempo de assegurar a fusão da borda inferior e, se necessário (soldadura de espessuras superiores a 3 mm), alargar a fusão a toda a largura do estaqueamento.

Esta técnica é particularmente adequada para soldar chapas finas com bordas retas, mesmo que haja risco de crescimento de grão, uma vez que a fonte térmica investe uma grande área.

A técnica operatória para a esquerda é antes utilizada com o dardo constantemente apontado para o banho de fusão com um ângulo que varia entre 45° e 75° , dependendo da espessura. Apenas no caso de espessuras mais elevadas é acrescentado um pequeno movimento circular a esta moção, de modo a obter uma boa fusão.

A vareta de adição está constantemente em contacto com o banho de fusão (Figura 4.3).

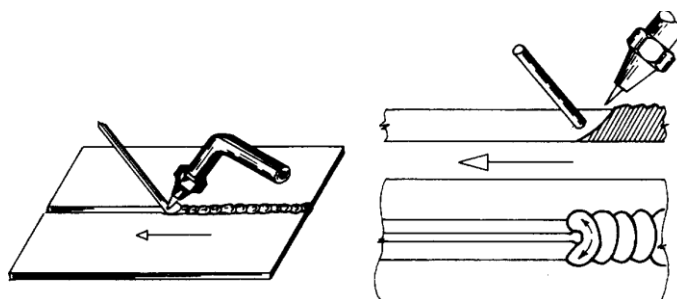


Fig.4.2: Para a esquerda

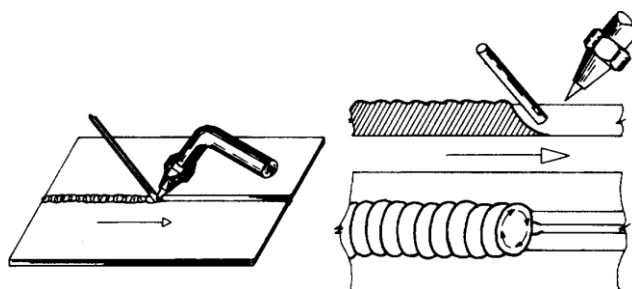


Fig. 4.3: Para a direita

Técnica	Caudal de Acetileno [l/h]	Velocidade de avanço [mm/min]	Diâmetro do metal de adição [mm]
Esquerda	100 s*	200 / s*	s*/2 +1
Direita	100 s*	250 / s*	s*/2
s* é a espessura da junta (mm)			

4.1.2 Soldadura na posição Vertical Ascendente (PF)

Quando o eixo da junta a soldar é vertical, a soldadura pode ser realizada de cima para baixo (método descendente) ou de baixo para cima (método ascendente). Esta última é certamente a preferencial, pois permite um melhor controlo do banho e da penetração, com as consequentes melhores características da junta.

Para a realização deste tipo de junções, é utilizada uma posição do maçarico inclinado a 30° abaixo da horizontal e a vareta de adição inclinada a 20 ÷ 30° acima da própria horizontal. O maçarico tem simplesmente um movimento longitudinal de translação, e uma velocidade tal que produz e mantém um buraco aberto que permite que o metal fundido penetre na parte de trás e o torne num cordão contínuo. A ponta do dardo deve roçar a superfície do banho de fusão e não sair até que seja suficiente para permitir a introdução da vareta de adição no banho de fusão (Figura 4.4).

A vareta de adição é animada por um movimento de avanço vertical acompanhado por uma sucessão de justaposições e recuos rápidos da ordem de 3 ÷ 4 mm, de modo a depositar gotas sucessivas de metal fundido no banho de fusão.

Para espessuras superiores (superiores a 4 mm) é também necessário dar à vareta um ligeiro movimento oscilatório transversal. De qualquer modo, a técnica é aplicável para espessuras que não excedam 6 mm.

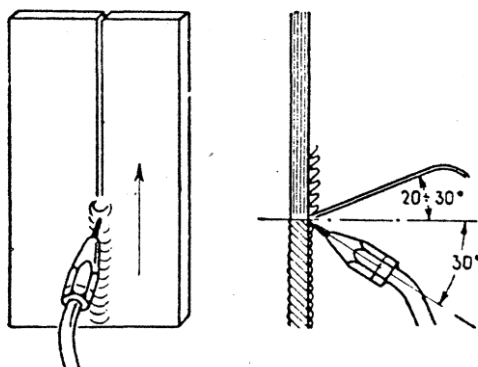


Fig. 4.4: Soldadura vertical

Técnica	Caudal de acetileno [l/h]	Velocidade de avanço [mm/min]	Diâmetro do metal de adição [mm]
Verticale ascendente	60 s*	150 / s*	s*/2
s* é a espessura da junta (mm)			

4.1.3 Soldadura na posição Horizontal (PC)

Desde que a espessura seja fina ($s < 3$ mm), é efetuada de forma semelhante às posições anteriores.

4.2 Cálculo de entrada de calor

No caso de soldadura por arco, a entrada específica de calor é calculada com referência aos parâmetros elétricos e conforme a relação entre a potência elétrica utilizada (em W) e a velocidade de soldadura. Do mesmo modo, no caso da soldadura oxiacetilénica, a energia térmica pode ser calculada com uma boa aproximação referindo-se ao poder calorífico inferior do acetileno (H_i) de acetileno, assumindo uma combustão perfeita.

Consequentemente, sendo H_i igual a 36 kJ / dm³, a entrada específica de calor (Q_1) pode ser calculada com base na seguinte relação:

$$Q_1 = \frac{P \cdot H_i}{V_{\text{sald}}} = \frac{36 \cdot P}{V_{\text{sald}}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \right]$$

uma vez que P é o caudal em l/min e v_{sald} a velocidade de avanço em mm/min.

4.3 Preparação dos discos

A preparação dos discos para soldadura oxiacetilénica pode ser quadrada ou em forma de V, como se mostra abaixo.

A preparação com bordos retos é possível até espessuras de cerca de 6 mm, como se segue:

- para espessuras "s" até 3 mm, a distância entre os discos deve estar entre 0 e 2 mm;
- para espessuras "s" de 3 a 6 mm (apenas para soldadura efetuada em posição horizontal a empurrar ou vertical), a distância entre os bordos deve estar entre $s/2$ e $(s/2 + 1)$ mm.

A preparação em V pode ser utilizada para espessuras superiores a 6 mm, embora a utilização de soldadura oxiacetilénica para espessuras superiores a 8 mm deva ser considerada bastante excecional.

- para espessuras "s" entre 3 e 6 mm, o ângulo de abertura do chanfro deve ser de pelo menos 80°, o ombro 0 mm e a ranhura entre $s/4$ e $(s/4 + 1)$ mm;
- para espessuras "s" entre 6 e 12 mm, o ângulo de abertura do chanfro deve estar entre 60° e 70°, a face 0 mm e a ranhura conforme acima.

4.4 Manuseamento correto do equipamento

Assumindo que o soldador já ajustou a pressão do gás aos valores esperados, o procedimento de ignição do maçarico deve começar a partir do acetileno. Portanto, proceda com a abertura da torneira do acetileno e ligue o gás utilizando um isqueiro de pedra especial ou a chama do economizador; desta forma, obtém-se uma chama longa e fuliginosa. Neste momento,

proceda com a abertura da torneira do oxigénio, ajustando a chama (neutra, oxidante ou carburante) conforme necessário.

No que diz respeito à desconexão, procederemos do mesmo modo, primeiro interrompendo o caudal de acetileno e depois o de oxigénio, deixando o efluxo deste último arrefecer a ponta do maçarico.

Um maçarico em bom estado de manutenção e bem utilizado não deve dar origem a acidentes graves durante a sua utilização; no entanto, é regra geral parar a chegada do acetileno e do oxigénio em caso de acidente, limitando assim o seu alcance.

5. Aplicação

Considerando as características da fonte de calor (e em particular a baixa concentração de energia), é fácil ver que o processo de soldadura por chama oxiacetilénica está geralmente limitado à execução de juntas entre elementos de espessura limitada (6 ou 8 mm no máximo), tendo também em consideração as altas potências térmicas, que em espessuras superiores a 2 mm podem facilmente exceder 10 kJ / mm, com as consequentes implicações em termos metalúrgicos e mecânicos (tensões e deformações de soldadura).

5.1 Tipo de junta

A possibilidade de ter a fonte térmica separada do metal de adição e a boa controlabilidade do banho de fusão tornam o processo particularmente útil nos casos em que não é possível realizar a soldadura de ambos os lados (por exemplo, no caso de juntas de tubos de pequeno diâmetro, e, claro, de espessura limitada). De facto, o soldador está autorizado a gerir uma fonte térmica silenciosa e metódica, adaptável às circunstâncias de cada secção da junta, sem a necessidade de intervenções contínuas e oportunas, que conduzem sempre a irregularidades mais ou menos evidentes na parte de trás da junta (tais como recarga defeituosa, gotejamento, porosidade, falta de penetração local).

Finalmente, é de notar que o processo oxiacetilénico possibilita facilmente nos casos em que a acessibilidade é consideravelmente comprometida por obstáculos que podem ser encontrados perto da junta.



Fig. 5.1: Soldadura de um tubo

5.2 Materiais de base

A reduzida energia térmica da chama oxiacetilénica pode dar origem a fenómenos de crescimento de grãos. Ocorre principalmente na zona do material de base afetada pelo calor, devido à permanência relativamente longa a altas temperaturas e ao arrefecimento lento da área circundante da junta, devido à modesta velocidade de soldadura. Um crescimento de grãos é, num certo sentido, inevitável com um processo "lento" como o do oxiacetileno, mas pode manifestar-se de uma forma mais ou menos aceitável, dependendo da capacidade operacional do soldador. O crescimento de grãos reduz a tenacidade da junta. É particularmente temível em aços de grão fino (tais como os utilizados em ramais a baixa temperatura, pelo que a utilização do processo oxiacetilénico é substancialmente desaconselhável) e em aços de baixa liga (tais como os que têm Mo e Cr-Mo, para caldeiras, pelo que uma verificação da tenacidade das juntas, com testes percentuais, parece desejável neste caso).

Consequentemente, os materiais sobre os quais o processo pode ser aplicado estão atualmente limitados principalmente ao aço carbono e de baixa liga (com um limite máximo representado pelo aço 1,25 Cr - 0,5 Mo). Para outros materiais, tais como as ligas de aço Cr-Mo, ligas, aços inoxidáveis Cr e Cr-Ni, alumínio e as suas ligas, cobre e as suas ligas, etc., os processos com proteção de gás inerte (TIG e MIG) substituíram completamente a aplicação do processo oxiacetilénico. Finalmente, o processo é amplamente utilizado para aplicações de brasagem, onde a "doçura" da chama e as suas características redutoras emprestam-se particularmente às características da brasagem propriamente dita.

5.3 Defeitos típicos

As imperfeições de soldadura podem estar relacionadas com problemas metalúrgicos (como no caso de fissurações a quente ou a frio) ou problemas operacionais, que estão relacionados com a combinação do processo de soldadura, condições de trabalho e capacidade do soldador.

O processo de soldadura com a chama oxiacetilénica, devido às suas características, pode dar principalmente origem a faltas de fusão e irregularidades na linha da soldadura. Outros defeitos são possíveis, mas são causados pelo soldador.

5.4 Metal de adição

O processo de soldadura por chama oxiacetilénica é aplicado ao caso dos aços de carbono e de baixa liga. Os dois regulamentos atualmente em vigor são dedicados a estes materiais. A classificação europeia é tratada pela UNI EN 12536: 2001, que proporciona um símbolo constituído pela letra de identificação do processo (um "O"), seguido por um número romano que se refere à composição química e ao comportamento na soldadura.

A classificação AWS A 5.2: 2007 "Especificação para varetas de aço-carbono e de baixa liga para soldadura a gás oxiacetilénico" utiliza também um código alfanumérico, caracterizado por um R, seguido por um número comunicado à carga de rutura do depósito, medido com ensaio de tração longitudinal e expresso em kPSi.

Símbolo	Composição química								Comportamento		
	C	Si	Mn	P*	*S	Mo	Ni	Cr	Fluidez**	Salpicos**	Porosidade**
O Z	Nenhum requisito específico										
O I	0,03÷0,1 2	0,02÷0,2 0	0,35÷0,6 5	0,03	0,02 5	-	-		A	A	A
O II	0,03÷0,2 0	0,05÷0,2 5	0,50÷1,2 0	0,02 5	0,02 5	-	-		M	M	A
O III	0,05÷0,1 5	0,05÷0,2 5	0,95÷1,2 5	0,02	0,02	-	0,35÷0,8 0		B	B	B
O IV	0,8÷0,15	0,10÷0,2 5	0,90÷1,2	0,02	0,02	0,45÷0,65			B	B	B
O V	0,10÷0,1 5	0,10÷0,2 5	0,80÷1,2	0,02	0,02	0,45÷0,65		0,80÷1,2 0	B	B	B
O VI	0,03÷0,1 0	0,10÷0,2 5	0,40÷0,7 0	0,02	0,02	0,90÷1,20		2,00÷2,2 0	B	B	B

Notas:
 * Valores máximos
 ** A = Alto; M = Médio; B = Baixo

Símbolo	Resistência à tração (Rm)		A%
	ksi	MPa	
R45	Nenhum requisito		
R60	60	410	20
R65	65	450	16
R100	100	690	14
RXXX-G	XXX*		Nenhum requisito

* Valores admitidos 45, 60, 65, 70, 80, 90, 100

BIBLIOGRAFIA DA UNIDADE

[1]

GLOSSÁRIO

Inclui os conceitos principais, novos e/ou complexos vistos na unidade, como um dicionário. Este tipo de recurso é importante especialmente quando o curso é destinado a alunos sem qualquer conhecimento da matéria. As entradas do glossário estão ordenadas por ordem alfabética.

Welding Processes – MMA

1.1 Nome do curso

Processo de Soldadura por Arco Elétrico em Metais (MMA)

1.2 Duração do curso

5 horas

1.3 Finalidade do curso

Nesta unidade são mostrados elementos específicos relacionados com o processo de soldadura por Arco Elétrico em Metais (MMA), especificamente relacionados com o equipamento de soldadura, influência dos parâmetros de soldadura na qualidade da solda e saúde e segurança.

1.4 Objetivos do curso

Objetivos Gerais

Para desenvolver as tarefas de um soldador de modo apropriado, o aluno deve estar familiarizado com a utilização de equipamento e com a influência dos parâmetros de soldadura na qualidade, pelo que esta unidade didática é muito importante para o aluno que quer aplicar soldadura por MMA na sua vida profissional, tendo, claro, cuidados com os aspetos ligados à saúde e segurança.

Objetivos específicos

Conhecimentos	Competências	Atitudes
Explicar a terminologia associada aos procedimentos da soldadura por MMA.	Utilizar termos e definições que são consistentes com a terminologia geralmente aceite, tal como está registada nas normas nacionais e internacionais; Descrever as aplicações, vantagens e limitações da soldadura por MMA.	Colaborar com os membros do grupo de trabalho de forma a cumprir com a tarefa.
Identificar os principais componentes básicos do equipamento usado em soldadura por arco elétrico em metais e explicar a sua função e propósitos. Explicar a importância da correta união do	Identificar, selecionar e preparar o equipamento de soldadura e os componentes específicos usados no processo de soldadura por MMA: fontes de energia, eletrodos;	Assumir responsabilidades no grupo de trabalho para a realização de uma tarefa.

equipamento de soldadura e as consequências de uma união incorreta. Explicar a importância da correta preparação da fonte de energia e escolha dos eletrodos e as consequências de uma escolha incorreta. Explicar a espessura dos materiais em relação ao tamanho e o tipo de eletrodos de soldadura usados, assim como a influência da manipulação dos eletrodos durante o processo de soldadura.	Escolher os materiais, os SDVs e o equipamento necessário para levar a cabo a soldadura por MMA; Demonstrar procedimentos de preparação usando um simulador/equipamento real.	
Estabelecer os parâmetros de utilização de arco elétrico e parte dele. Identificar que tipo de eletrodo usar com correntes DC ou AC.	Preparar o ambiente de soldadura. Identificar potenciais causas de defeitos de soldadura ou imperfeições anteriores à soldadura, e tomar medidas alinhadas com requisitos. Escolher consumíveis de soldadura/aditivos para juntas soldadas através de processos de soldadura. Praticar soldadura por MMA de produtos semi-acabados/partes usando simuladores/equipamento real. Executar a soldadura (por MMA) de juntas soldadas comuns em todas as posições, usando simulador/equipamento real.	

	Inspecionar o produto final para garantir conformidade com as especificações refletidas no desenho ou requisito de trabalho. Identificar defeitos na soldadura e levar a cabo medidas corretivas. Identificar s diferentes posições de soldadura, definidas na norma ISO 6947:2011.	
Identificar perigos e eliminá-los de acordo com as práticas de trabalho da norma.	Aderir a medidas de segurança. Aplicar medidas a ter em conta relativamente à prevenção de acidentes relacionados com ruído, fumo, fogo ou choques elétricos.	

1.5 Conteúdos

1. Introdução

1.1 Aplicações, Vantagens e Limitações

2. Equipamento de Soldadura

2.1 Fonte de Alimentação/Potência

2.1.1 Características da Fonte de Potência

2.1.2 Componentes da Fonte de Potência

2.1.2.1 Transformador

2.1.2.2 Retificador

2.2 Suporte do Eléctrodo

2.3 Ligação Terra

2.4 Cabos e Terminais

3. Características do Arco

3.1 Chama

3.2 Plasma

4. Parâmetros de Soldadura

4.1 Corrente de Soldadura

4.2 Comprimento do Arco

4.3 Velocidade de Deslocamento

4.4 Diâmetro do Eléctrodo

4.5 Tipo de Corrente e Polaridade

4.5.1 Corrente Direta (DC)

4.5.1.1 Polaridade Inversa (DC+)

4.5.1.2 Polaridade Direta (DC-)

4.5.2 Corrente Alternada (AC)

5. Iniciação do Arco

6. Eléctrodo Revestido

6.1 Eléctrodo Não Revestido

6.2 Eléctrodo Revestido

6.3 Funções do Revestimento

6.3.1 Função Eléctrica do Revestimento

6.3.2 Função Física do Revestimento

6.3.3 Função Metalúrgica do Revestimento

6.4 Tipos de Revestimento

7. Posições de Soldadura

8. Saúde e Segurança em Soldadura por Arco Eléctrico Manual

8.1 Identificação dos Riscos Associados a Operações de Soldadura

8.2 Medidas de Prevenção

8.2.1 Protecção Pessoal

8.2.1.1 Vestuário de Protecção

8.2.1.2 Protecção Visual

8.2.2 Prevenção no Uso de Materiais e Equipamento

8.2.3 Protecção Contra Fumos

8.3 Riscos e Cuidados com Operações Associadas a Soldadura

8.3.1 Retificação

8.3.2 Remoção de Escória

Bibliografia

Glossário

1.6 Participantes

Características do aluno:	Competências técnicas básicas
---------------------------	-------------------------------

1.7 Condições de entrada

Grau de escolaridade exigido:	Alunos de escolas de EFP
Conhecimentos prévios necessários	Conhecimentos básicos em soldadura
Requisitos de idade:	16 e 20 anos

1.8 Atividades de avaliação

Avaliação sumativa Exame teórico usando um simulador/computador ou a sala de aula virtual SIMTRANET.

1.9 Bibliografia (usada ou suplementar)

[1] General Course on Welding Technology. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994. [2] Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995. [3] UNE-EN ISO 17633:2006, Welding consumables. Tubular wires and rods for arc welding with or without gas protection of stainless and heat-resistant steels. Classification. [4] AWS A5.1-04: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. [5] AWS A5.4-06: Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. [6] AWS A5.30-07: Specification for Consumable Inserts
--

NÚMERO DA UNIDADE: Unidade Didática 2

TÍTULO DA UNIDADE: Soldadura por Arco Elétrico em Metais (MMA)

APRESENTAÇÃO DA UNIDADE

Nesta unidade são mostrados elementos específicos relacionados com o processo de soldadura por Arco Elétrico em Metais (MMA), especificamente relacionados com o equipamento de soldadura, influência dos parâmetros de soldadura na qualidade da solda e saúde e segurança.

OBJETIVOS

Os objetivos da unidade de ensino são:

- Explicar a terminologia associada aos procedimentos da soldadura por MMA
- Identificar os principais componentes básicos do equipamento usado em soldadura por arco elétrico em metais e explicar a sua função e propósitos
- Explicar a importância da correta preparação da fonte de energia e escolha dos eletrodos e as consequências de uma escolha incorreta
- Estabelecer os parâmetros de utilização de arco elétrico e parte dele
- Identificar Identificar que tipo de eletrodo usar com correntes DC ou AC.

ÍNDICE

1. Introdução

1.1 Aplicações, Vantagens e Limitações

2. Equipamento de Soldadura

2.1 Fonte de Alimentação/Potência

2.1.1 Características da Fonte de Potência

2.1.2 Componentes da Fonte de Potência

2.1.2.1 Transformador

2.1.2.2 Retificador

2.2 Suporte do Eletrodo

2.3 Ligação Terra

2.4 Cabos e Terminais

3. Características do Arco

3.1 Chama

3.2 Plasma

4. Parâmetros de Soldadura

- 4.1 Corrente de Soldadura
- 4.2 Comprimento do Arco
- 4.3 Velocidade de Deslocamento
- 4.4 Diâmetro do Eléctrodo
- 4.5 Tipo de Corrente e Polaridade
 - 4.5.1 Corrente Direta (DC)
 - 4.5.1.1 Polaridade Inversa (DC+)
 - 4.5.1.2 Polaridade Direta (DC-)
 - 4.5.2 Corrente Alternada (AC)

5. Iniciação do Arco

- 6. Eléctrodo Revestido
 - 6.1 Eléctrodo Não Revestido
 - 6.2 Eléctrodo Revestido
 - 6.3 Funções do Revestimento
 - 6.3.1 Função Eléctrica do Revestimento
 - 6.3.2 Função Física do Revestimento
 - 6.3.3 Função Metalúrgica do Revestimento
 - 6.4 Tipos de Revestimento

7. Posições de Soldadura

8. Saúde e Segurança em Soldadura por Arco Eléctrico Manual

- 8.1 Identificação dos Riscos Associados a Operações de Soldadura
- 8.2 Medidas de Prevenção
 - 8.2.1 Protecção Pessoal
 - 8.2.1.1 Vestuário de Protecção
 - 8.2.1.2 Protecção Visual
 - 8.2.2 Prevenção no Uso de Materiais e Equipamento
 - 8.2.3 Protecção Contra Fumos
- 8.3 Riscos e Cuidados com Operações Associadas a Soldadura
 - 8.3.1 Retificação
 - 8.3.2 Remoção de Escória

Bibliografia

Glossário

DESENVOLVIMENTO DOS CONTEÚDOS

1. Introdução

MMA (*Manual Metal Arc Welding*, Soldadura manual por arco elétrico de metais) é um processo no qual a fusão do metal é obtida pela energia térmica produzida por um arco elétrico estabelecido entre a extremidade de um eletrodo revestido e o metal original da junta a ser soldada.

O material de adição é fundido na forma de pequenas gotas, que, em conjunto com o material de base derretido, formam a soldadura. A escória é obtida pelo revestimento do eletrodo, que atua como uma proteção do banho em fusão, do meio ambiente (ver figura 1).

A soldadura com arco elétrico manual de metal é conhecida pelas seguintes designações

- SMAW, Soldadura por arco elétrico protegido por metal (ANSI / AWS A3.0)
- 111, Soldadura manual por arco elétrico de metal (soldadura por arco elétrico de metal com eletrodo revestido) (EN ISO 4063)
- MMAW, Soldadura Manual de Metal por Arco Elétrico (Reino Unido).

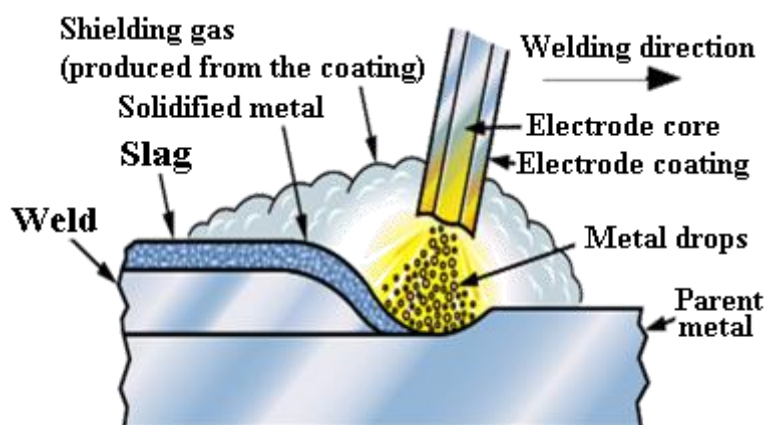


Figura 1. Processo de Soldadura com Eletrodo Revestido.

1.1 Aplicações, Vantagens e Limitações

Este tipo de processo de soldadura é o mais conhecido entre todos os processos de soldadura por arco elétrico, principalmente pela sua versatilidade e do equipamento necessário para a sua execução ser simples, portátil e mais barato que outros.

Por outro lado, a soldadura manual por arco elétrico de metal é aplicável a quase todos os tipos de aço: carbono, baixa liga, aço inoxidável, resistente ao calor, etc., e muitas ligas como cobre-zinco (latão), cobre-estanho (bronze) principalmente.

O metal de adição e os meios para sua proteção durante a soldadura vêm do próprio eletrodo revestido. Nenhuma proteção adicional por gases auxiliares ou fluxos é necessária.

É menos sensível ao vento e às correntes de ar que o processo de arco elétrico protegido com gás. Isto torna-o ideal para trabalho no local e exterior. Mas o processo deve ser usado sempre protegido do vento, chuva e neve, a não ser que o equipamento apropriado esteja disponível. Além disso, a soldadura MMA pode ser usada em todos os tipos de juntas e posições. Porém, fatores como produtividade e uniformidade das soldaduras obtidas para certas, embora numerosas, aplicações, fazem com que outros processos de soldadura estejam a substituir MMA.

A soldadura MMA não é aplicável a metais com um baixo ponto de fusão como chumbo, estanho, zinco e suas ligas, pois a intensidade de calor do arco é demasiado para estes. Também não é aplicável a metais com alta sensibilidade à oxidação, como titânio, zircônio, tântalo ou nióbio, uma vez que a proteção proporcionada pelo revestimento é insuficiente para evitar a contaminação da solda com oxigénio. Também não se aplica a espessuras superiores a 38 mm, uma vez que existem processos mais produtivos para espessuras superiores. Para espessuras pequenas, existem elétrodos pequenos de 1,6 e 2 mm que permitem soldar chapas de 1,5 mm de espessura, embora que para essas espessuras existam outros processos mais eficientes.

A soldadura MMA pode ser usada em combinação com outros processos de soldadura, aplicando o passe de raiz ou enchimento (geralmente é usado em combinação com o processo TIG para a soldadura de tubos, onde a raiz é feita com TIG e as camadas de enchimento e cobertura são feitas com soldadura MMA).

Os principais setores de aplicação são construção naval, maquinaria, estruturas, tanques de armazenamento, pontes, vasos de pressão e caldeiras, refinarias de petróleo, oleodutos e gasodutos e quaisquer outros trabalhos semelhantes. Este processo também é adequado para fazer reparações.

2. Equipamento de Soldadura

Essencialmente, o método consiste em estabelecer um circuito elétrico fechado, que requer uma fonte de energia adequada e equipada com dois terminais, um conectado por um cabo a um eletrodo, e o outro terminal é conectado à peça, através de um cabo de retorno ligado à terra. O circuito é fechado através do arco elétrico que se estabelece entre a ponta do eletrodo e o ponto de soldadura da peça (figura 2).

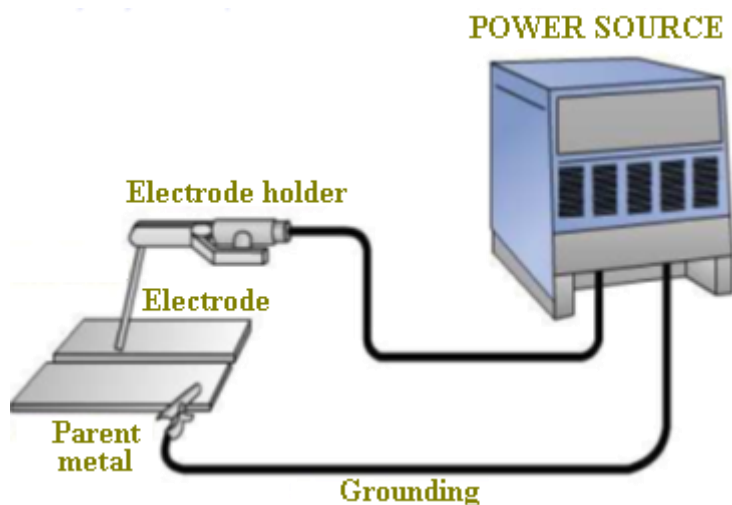


Figura 2: Equipamento de Soldadura

2.1 Fonte de Alimentação/Potência

Este processo requer baixa tensão (voltagem) e altas correntes, que é exatamente o oposto que as empresas de energia fornecem aos locais de trabalho. A fonte de alimentação, ou fonte de potência, é o elemento responsável por transformar e /ou converter a eletricidade da rede de energia elétrica em corrente AC ou DC, com uma voltagem e corrente adequadas para a iniciação e estabilização do arco elétrico. Estas fontes de energia são equipamentos elétricos que, de acordo com as suas estruturas, são denominados de transformadores, retificadores ou conversores.

Transformadores, retificadores ou geradores são usados para soldadura DC. Os transformadores são usados para soldadura AC.

Na escolha da fonte de alimentação deve-se considerar o eletrodo a ser utilizado, de forma a que este possa fornecer o tipo de corrente (AC ou DC), intensidade de corrente e tensão requeridas.

2.1.1 Características da Fonte de Potência

Cada fonte de potência de soldadura tem a sua própria curva característica tensão-corrente, conforme apresentado na Figura 3.

A fonte de alimentação é caracterizada numa representação gráfica da relação entre a tensão e a intensidade de corrente da fonte. A corrente e a tensão obtidas no processo de soldadura são determinadas pela intersecção das curvas características da máquina e do arco. Este é o ponto de operação definido pela corrente e tensão de soldadura.

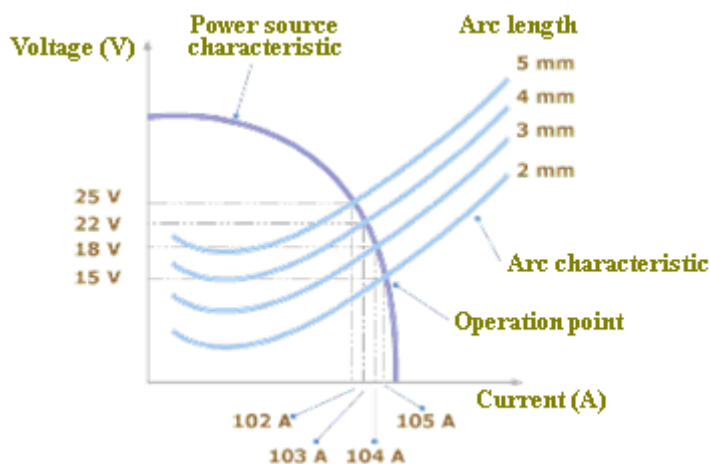


Figura 3: Variação do comprimento do arco.

A fonte de alimentação da soldadura deve apresentar uma inclinação descendente (corrente constante), para que a corrente de soldadura não seja afetada pelas variações do comprimento do arco.

2.1.2 Componentes da Fonte de Potência

Os componentes mais importantes de uma fonte de alimentação são:

- Transformadores.
- Retificadores.
- Conversor e grupos geradores.

2.1.2.1 Transformador



É o dispositivo que transporta a energia elétrica. A corrente com determinada tensão e intensidade entra no transformador e sai com diferentes intensidades e tensões, sendo a potência inicial de entrada e saída praticamente a mesma.

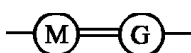
Embora existam transformadores muito complexos, aqui será mostrado um muito simples que serve ao leitor como uma referência.

2.1.2.2 Retificador



É um dispositivo que permite a passagem da corrente num só sentido, convertendo a corrente alternada em corrente contínua. O elemento retificador, o díodo, pode ser descrito como o equivalente elétrico de uma válvula unidirecional.

2.1.2.3 Conversor e Grupos Geradores



Os conversores e grupos geradores consistem em:

- Um motor, que pode ser elétrico ou de combustão interna.
- Um gerador, que pode ser DC (também chamado de alternador) ou AC.

2.2 Suporte do Eléctrodo

O suporte do eléctrodo conduz eletricidade para o eléctrodo e mantém-no seguro. Para evitar o sobreaquecimento das pinças do suporte, devem ser mantidas em condições perfeitas. O sobreaquecimento resulta em qualidade reduzida e um desempenho difícil da soldadura.

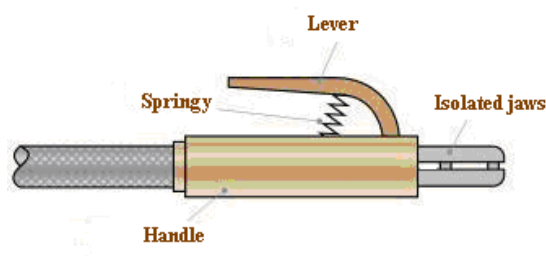


Figura 4: Suporte do Eléctrodo

Deve ser sempre seleccionada uma pinça adequada de acordo com o diâmetro do eléctrodo a ser utilizado.

Durante a soldadura, não é aconselhável consumir o eléctrodo excessivamente, uma vez que o aquecimento do eléctrodo pode afetar a pinça, queimando-a. Normalmente, cerca de 60 mm não são consumidos. A Figura 4 representa uma tocha típica.

2.3 Ligação Terra

A ligação correta do cabo à terra é muito importante. A ligação do cabo tem especial relevância na soldadura com corrente contínua. Uma localização inadequada pode causar o surgimento de campos magnéticos que tornam difícil o controlo do arco.

O método de fixação do cabo também é importante. Um cabo mal fixado não proporciona um contacto elétrico consistente e a ligação irá aquecer, causando uma interrupção no circuito e o desaparecimento do arco. O melhor método é usar uma placa de contacto de cobre presa com um grampo de fixação. Se devido a este dispositivo a contaminação do metal base pelo cobre for prejudicial, o suporte de cobre deve aderir a uma placa que seja compatível com a peça de trabalho, que é fixada à peça.

Para peças rotativas, o contacto deve ser feito por suportes que escorregam na peça ou por rolamentos no eixo onde a peça está montada. Quando são utilizados suportes deslizantes, pelo menos duas ligações devem ser colocadas, pois se ocorrer perda de contato num suporte, o arco será extinto.

2.4 Cabos e Terminais

Os cabos devem conduzir a energia da fonte de alimentação da soldadura ao suporte do eléctrodo e à ligação terra.

Deve-se garantir que a secção do cabo seja adequada à corrente a ser empregue (consultar a secção Segurança e Saúde). Os cabos são aquecidos devido à passagem de corrente elétrica, por um efeito conhecido como efeito de Joule. Quanto maior for as correntes de soldadura usadas, maior é o aquecimento sentido pelos cabos, o que requer o uso de cabos de diâmetro maior.

Os terminais são os elementos usados para conectar os cabos à fonte de alimentação. É importante que essas conexões sejam firmes, a fim de evitar o aparecimento de falsos arcos que podem produzir soldas nestes terminais, danificando parcialmente o equipamento.

3. Características do Arco

O arco elétrico é definido por uma descarga elétrica através de um gás ionizado, denominado de plasma, entre um eléctrodo e uma peça de trabalho.

Se o arco for mantido, é atravessado por uma corrente elétrica, libertando uma grande quantidade de energia, na forma de calor e radiação eletromagnética.

O calor produz um aumento de temperatura que provoca a fusão do eléctrodo e da peça em contato com o arco.

O arco consiste em duas partes concêntricas, a interna chamada plasma e a externa chamada chama.

3.1 Chama

É a área exterior do arco. É mais frio que o plasma e geralmente é composto de átomos gerados pelas moléculas de gás que, quando em contato com a superfície da coluna de plasma são dissociadas, uma vez dissociadas separam-se desta coluna, que na chama formam moléculas e libertam a energia absorvida, por dissociação, na forma de calor.

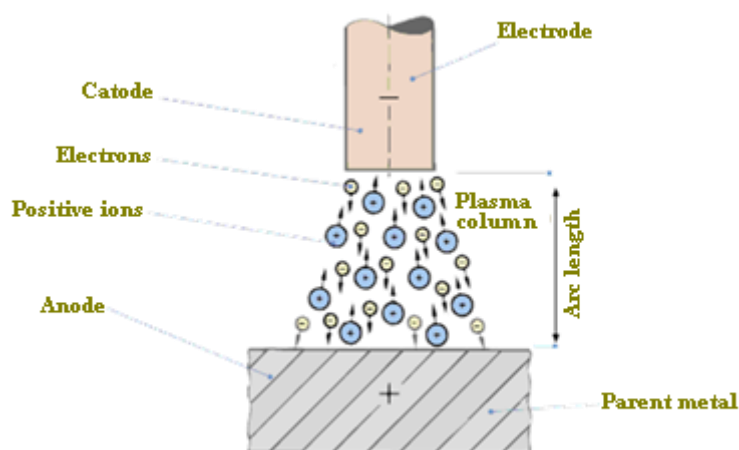


Figura 5: Descrição do arco elétrico.

3.2 Plasma

O plasma é um gás ionizado que transporta a corrente e os seguintes componentes/partículas:

- Os elétrons, que se movem do polo negativo (cátodo) para o positivo (ânodo).
- Iões metálicos, que se movem na direção oposta.
- Metais fundidos, principalmente, do eletrodo.
- Escória.
- Fumos metálicos e não metálicos.
- Átomos e moléculas gasosas, alguns ionizados.

Outra parte da corrente é transmitida por iões metálicos e átomos ionizados através do arco. Os elétrons e iões negativos são acelerados pelo campo elétrico estabelecido entre o cátodo e o ânodo e colidem violentamente contra este, transformando sua energia cinética em calor, enquanto os iões metálicos fazem o sentido contrário, atingindo o cátodo e elevando a sua temperatura.

Além disso, existem também colisões entre partículas que viajam em direções dentro do plasma, o que, por sua vez, contribui para a emissão de energia térmica e radiação de alta intensidade.

O calor é um efeito da elevada energia cinética das partículas que, devido ao seu movimento dentro do plasma, aumenta pelo efeito da corrente e da tensão ao longo do arco. O calor é gerado pela desintegração da partícula, como consequência da colisão da partícula. Devido ao que foi anteriormente descrito, três áreas de geração de calor podem ser observadas, dependendo das causas de desintegração predominantes:

- Cátodo: O impacto dos iões positivos é o fenómeno predominante, mas também contribui de alguma forma para que o fenómeno seja acompanhado por uma libertação de calor devido à emissão de eletrões.
- Plasma: São produzidas colisões entre eletrões, iões, átomos e outras partículas, que produzem uma grande emissão de calor.
- Ânodo: O impacto dos eletrões a velocidade, é a razão da transformação da sua elevada energia cinética em calor.

4. Parâmetros de Soldadura

Os principais parâmetros que devem ser controlados na soldadura MMA com eletrodo revestido são os seguintes:

- Corrente de soldadura
- Comprimento do arco
- Velocidade de deslocamento
- Orientação do eletrodo
- Diâmetro do eletrodo

Os três principais parâmetros: corrente, comprimento do arco e velocidade de deslocamento são os mais significativos, tanto na forma do arco quanto à aparência final da soldadura. A Figura 6 mostra os efeitos desses parâmetros.

4.1 Corrente de Soldadura

Nas fontes de alimentação de soldadura MMA, antes da soldadura, o soldador deve ajustar a corrente de soldadura.

A intensidade de corrente é selecionada em função do diâmetro do eletrodo utilizado, espessura das peças, posição de soldadura e tipo de junta, ou seja, se é soldadura de topo ou de *fillet*.

Normalmente, o fabricante do eletrodo delimita uma gama de correntes na qual o eletrodo pode ser utilizado, os valores da tabela 1 podem ser tomados como indicação.

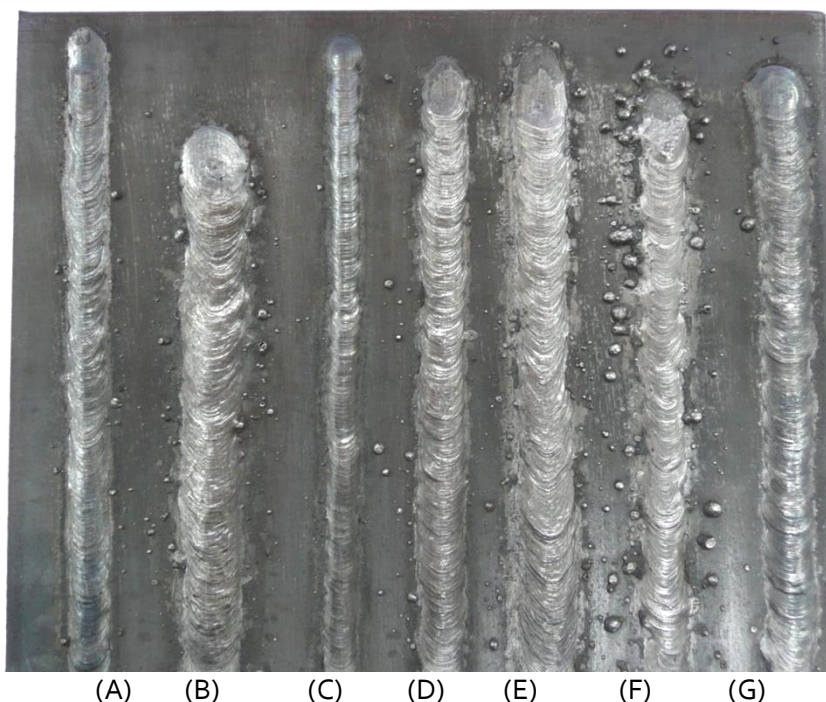


Figura 6: Efeito da amperagem, comprimento do arco e velocidade de deslocamento.

Soldaduras realizadas em chapa de aço carbono de 5 mm de espessura utilizando eletrodos de rutilo (E 6013) de diâmetro 2,5 mm

- (A) Alta velocidade de deslocamento
- (B) Baixa velocidade de soldadura
- (C) Amperagem muito baixa (50 A).
- (D) Tensão, corrente (75 A) e velocidade de deslocamento ideais.
- (E) Amperagem muito alta (90 A).
- (F) Tensão muito alta.
- (G) Tensão muito baixa.

Um eletrodo não deve ser usado com amperagens superiores ao indicado pelo fabricante, devido à possibilidade de surgirem bordos queimados, surgimento de sopros magnéticos e até mesmo fendas.

A Figura 6 (B e C) mostra o efeito da intensidade de corrente na soldadura. Quanto maior for a corrente utilizada, maior será a penetração.

Tabela 1: A gama de correntes aproximada varia em função do diâmetro do eletrodo na soldadura de aço.

Diâmetro	Gama de Correntes
2,5 mm	60 – 90 A
3,25 mm	90 – 150 A
4 mm	120 – 180 A

A corrente utilizada depende da posição de soldadura, do tipo de junta, da espessura do material, etc. Quanto maior a corrente utilizada, maior será o calor fornecido ao material e maior será o tamanho do banho de material fundido.

4.2 Comprimento do Arco

O comprimento do arco usado depende do tipo de eletrodo, diâmetro, posição de soldadura e corrente. Em geral, deve ser igual ao diâmetro do eletrodo, exceto no caso de ser utilizado um eletrodo básico, onde o comprimento deve ser a metade do diâmetro do eletrodo.

O comprimento do arco deve ser mantido sempre igual, a fim de evitar oscilações na tensão e intensidade de corrente, resultando em penetração irregular.

Em geral, qualquer arco elétrico tem uma forma cônica com um ângulo de abertura que depende da polaridade utilizada, mas é praticamente independente dos outros parâmetros de soldadura.

Se o comprimento do arco é aumentado, o arco atua numa superfície maior, dissipando ainda mais o calor gerado no arco, reduzindo a penetração.

4.3 Velocidade de Deslocamento

A velocidade de deslocamento deve ser ajustada de modo a que o arco avance ligeiramente para o banho de fusão.

Quanto maior for a velocidade de deslocamento, menor será a largura do cordão de soldadura, a entrega de calor será menor e a soldadura arrefece mais rápido.

Se a velocidade de deslocamento for demasiado elevada surgem bordos queimados, a remoção da escória é difícil e é promovido o surgimento de porosidades.

Na figura 6 (F e G) é apresentado o efeito da velocidade de deslocamento.

4.4 Diâmetro do Eletrodo

O diâmetro do eletrodo é um parâmetro indireto do processo, porque uma vez escolhido o eletrodo e conhecido o material, a posição e a espessura da chapa a ser soldada, o soldador ajusta a corrente de soldadura, que é um parâmetro direto.

Geralmente, deve-se escolher o maior diâmetro possível para garantir os requisitos de entrega térmica e permitir fácil manuseamento, dependendo da posição, da espessura do material e do tipo de junta, que são os parâmetros dependentes do diâmetro do eletrodo selecionado.

Eletrodos de diâmetro superior são selecionados para soldadura de materiais espessos e para soldadura em posição plana.

Na posição horizontal, vertical e teto, o banho de fusão tende a cair por gravidade. Este efeito é muito mais pronunciado nestas situações, portanto o uso de eletrodos de menor diâmetro é adequado quando se solda nestas posições.

4.5 Tipo de Corrente e Polaridade

O tipo de corrente e a polaridade são, além da intensidade de corrente, outros parâmetros que o soldador configura na fonte de alimentação da soldadura. A soldadura MMA pode ser realizada com corrente AC ou DC em ambas as polaridades.

A escolha depende do tipo de fonte de alimentação disponível e do eletrodo e material base a serem usados.

4.5.1 Corrente Direta (DC)

Em corrente contínua, existem dois tipos de polaridade, dependente de como o eletrodo e as peças de trabalho estão conectadas: polaridade direta e polaridade inversa.

4.5.1.1 Polaridade Inversa (DC+)

O eletrodo é ligado ao polo positivo (ânodo) e as peças de trabalho ao polo negativo (cátodo). A polaridade inversa significa que o eletrodo é mais aquecido e os gases gerados a partir do revestimento são lançados mais rapidamente, empurrando o material de adição. No entanto, deve-se notar que muito calor no eletrodo pode causar sobreaquecimento e maior deterioração, mesmo para intensidades de corrente baixas.

4.5.1.2 Polaridade Direta (DC-)

O eletrodo é ligado ao polo negativo e as peças são conectadas ao polo positivo, que são aquecidas com maior intensidade. Isso produz soldaduras estreitas com menor penetração. No caso de polaridade direta, os elétrons não produzem transferência de massa, são cargas elétricas a mover-se a alta velocidade, que ao moverem-se colidem com moléculas e átomos de gás, e na superfície da placa. Uma consequência disso é que não se dá a limpeza das peças, portanto, se for necessário soldar ligas com camadas refratárias, estas devem ser limpas quimicamente antes da soldadura.

4.5.2 Corrente Alternada (AC)

Quando um arco é estabelecido com corrente alternada, o eletrodo atua como ânodo durante o meio ciclo e como cátodo durante o outro meio ciclo, produzindo alternadamente um ciclo em que o eletrodo atua como positivo e negativo. Na Europa, essa mudança de ciclo ocorre 100 vezes por segundo (50 Hz), por isso é imperceptível a olho nu. Devido a essa mudança contínua, o arco AC é mais instável do que com DC.

Tabela 2: Comparação entre DC e AC

Parâmetros	DC	AC
Soldar a grandes distâncias da fonte de alimentação	-	Preferível
Soldar usando elétrodos de pequenos diâmetros que requeiram baixas intensidades de corrente	Operação mais fácil	Se o desempenho de trabalho não for cuidado, o eletrodo pode deteriorar-se devido a dificuldades de iniciação do arco
Iniciação do arco	Operação mais fácil	Mais difícil particularmente quando elétrodos de pequenos diâmetros são usados
Manutenção do Arco	É mais fácil para maior estabilidade	É mais difícil, exceto quando elétrodos de alto desempenho são usados
Sopros Magnéticos	Pode ser um problema na soldadura de materiais ferromagnéticos	Sem problemas
Posições de Soldadura	É preferível na posição vertical e no teto porque correntes mais baixas são usadas	Se os elétrodos adequados forem usados, a soldadura pode ser realizada em qualquer posição
Tipo de eletrodo	Pode ser usado com qualquer tipo de eletrodo	Não pode ser usado com todos os elétrodos. O revestimento deve conter substâncias que restabeleçam o arco
Espessura das Peças de Trabalho	Preferível para espessuras finas	Preferível para grandes espessuras porque um eletrodo de maior diâmetro e maiores intensidades de corrente podem ser usados, de modo a que um melhor desempenho seja obtido
Salpicos	Incomum	Comum
Soldadura usando comprimentos de arco curtos (é importante em alguns tipos de elétrodos,	Soldar é mais fácil	-

especialmente o tipo básico)		
Polaridade	DC + ou DC-, depende do metal base e do eletrodo a ser usado.	-

5. Iniciação do Arco

Na soldadura MMA com eletrodo revestido, o arco é estabelecido quando o eletrodo é aproximado suficientemente da peça de trabalho, de forma a que quando o eletrodo é aproximado da peça de trabalho, o próprio arco é iniciado.

De notar a diferença com outros processos, como soldadura MAG. Neste caso, o eletrodo pode estar em contato com a peça sem que o arco seja estabelecido. O arco é iniciado quando o gatilho da pistola é pressionado.

No início da soldadura, o eletrodo está completamente frio, o que tem influência no estabelecimento do arco de soldadura.

Para o estabelecimento deste arco uma operação denominada de iniciação do arco, consiste em realizar pequenos arcos entre o eletrodo e a peça de trabalho de modo a que a ponta do eletrodo aqueça. Para isso, duas técnicas podem ser utilizadas:

- Tocando com a ponta do eletrodo na peça onde a soldadura será iniciada, removendo o eletrodo rapidamente para produzir um arco com o comprimento necessário.
- Estabelecendo o arco através de um movimento deslizante na peça semelhante ao aplicado para acender um fósforo.

Durante o estabelecimento do arco, é frequente que o eletrodo fique preso à peça de trabalho. Quando isso acontecer, é necessário girar o eletrodo para a esquerda e abrir o suporte do eletrodo. O problema com a segunda opção é que o arco pode ser estabelecido entre as pinças e o eletrodo, deteriorando as pinças. Puxando com força o eletrodo pode fazer com que a peça caia causando danos ao soldador ou às pessoas nas proximidades. Caso a pinça se solte, deixando o eletrodo preso na peça, é necessário o uso de um martelo e de um cinzel para o remover.

Batendo suavemente no eletrodo ou raspando, a iniciação do arco causa pequenas marcas na superfície da peça devido à fusão da superfície do eletrodo e da peça de trabalho. Como a fusão nessas zonas é muito pequena, a velocidade de arrefecimento é muito grande, rachando estas marcas. Para evitar estes defeitos é fundamental estabelecer o arco na zona de soldadura e à frente desta, nunca fora dos limites da junta.

6. Eletrodo Revestido

O elemento-chave deste processo é o eletrodo, que forma o arco, protege o banho de fusão e, quando consumido, fornece o enchimento que, junto com o material de base fundido, forma a soldadura.

O elétron é basicamente constituído por um fio, semelhante à composição do metal base, com ou sem revestimento.

Sob esta condição, os elétrons são classificados em dois grupos

- Elétronos não revestidos.
- Elétronos revestidos.

6.1 Elétron Não Revestido

Elétronos não revestidos não são usados, exceto em juntas de pouca responsabilidade e em aço carbono, pois as soldas produzidas apresentam propriedades mecânicas muito pobres.

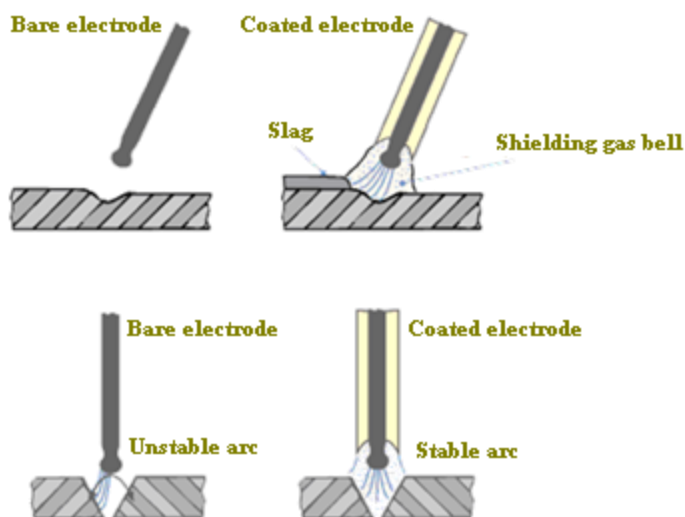


Figura 7: Diferenças entre elétron revestido e não revestido

O arco absorve os componentes do ar e incorpora-os no banho de fusão, de modo a que muitos óxidos, nitratos, porosidades e escória fiquem inclusos no metal de solda, produzindo propriedades mecânicas pobres.

Além disso, é muito difícil manter o arco estável, sendo impossível com AC.

6.2 Elétron Revestido

Os elétrons revestidos têm duas partes (ver figura 8)

- Núcleo: é uma composição uniforme de arame circular e geralmente semelhante ao metal base.
- Revestimento: É um cilindro que circunda o núcleo, concêntrico com este e de espessura uniforme. É composto por uma mistura de componentes que caracterizam o elétron e que possuem diversas funções que evitam as desvantagens do elétron não revestido.

Os elétrodos têm comprimentos padrão de 150, 200, 250, 300, 350 e 450 mm, dependendo do diâmetro do eletrodo. Uma das extremidades do núcleo não é revestida num comprimento de 20 mm-30 mm, para a inserção do mesmo nas pinças do suporte do eletrodo.

Os diâmetros dos elétrodos também são padronizados, sendo os mais comuns 2,5, 3,25, 4 e 5 mm. O diâmetro do eletrodo é medido pelo diâmetro do núcleo.

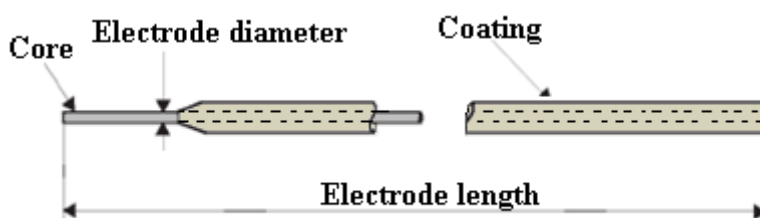


Figura 8: Eletrodo revestido

Considerando a relação entre os diâmetros do núcleo e do revestimento, os elétrodos podem ser classificados como

- Finos: elétrodos de revestimento fino protegem pouco o banho de solda, por isso são usados apenas na aprendizagem de técnicas de soldadura
- Médios: produzem maior estabilidade do arco, permitem a soldadura com corrente alternada e protegem melhor o metal de solda; a escória cobre o metal solidificado, o que reduz a taxa de arrefecimento e oxidação.
- Espesso: Elétrodos com revestimento espesso permitem obter as melhores qualidades de metal soldado.

6.3 Funções do Revestimento

As funções básicas que devem ser cumpridas por um revestimento podem ser resumidas em três:

6.3.1 Função Elétrica do Revestimento

A principal função do revestimento é garantir um bom grau de ionização entre o ânodo e o cátodo, proporcionando estabilidade do arco e ignição. Isso é conseguido incluindo no revestimento componentes de ionização de baixa tensão e alto poder termiônico, principalmente os de sódio, potássio, bário e em geral, metais alcalinos. Além disso, outros produtos como silicatos, carbonatos e óxidos de ferro e titânio favorecem o golpe e a estabilidade do arco.

6.3.2 Função Física do Revestimento

O revestimento cumpre diversas funções físicas no processo de soldadura MMA, sendo a principal a geração de gás e formação de escória.

Os gases desempenham duas funções:

- Para colocar uma cortina de gás ao redor da coluna do arco que evita o contato direto do oxigênio e do azoto do ar, com as gotículas de metal que surgem na extremidade do eletrodo, no caminho para o banho de fusão e para a sua superfície.
- Em segundo lugar, o gás expandido devido ao calor gerado pelo arco e contribui para a remoção de gotículas de metal na extremidade do eletrodo. A expansão de gás impulsiona as gotas de metal, permitindo a soldadura nas posições vertical, horizontal e no teto, que caso contrário não seria possível.

A escória desempenha uma função de proteção do metal desde o momento em que é fundido. A tensão superficial da escória fundida é muito menor que a do aço, produzindo uma camada de escória solidificada que se forma no banho fundido que o protege quando não está coberta pelo gás que envolve o arco. A proteção continua quando o metal soldado é solidificado, evitando seu contato com a atmosfera.

A escória permite armazenar impurezas como óxidos, sulfuretos, etc., que aderem às impurezas e são transportadas para a superfície onde se solidificam, devido à sua temperatura de fusão superior à do aço.

6.3.3 Função Metalúrgica do Revestimento

O revestimento metalúrgico influencia a soldadura de duas maneiras:

- Por um lado, o revestimento contém ligas que podem melhorar as propriedades mecânicas da junta e constituir elementos que o material base pode perder durante a soldadura. Além disso, o revestimento também pode conter partículas de ferro que aumentam a taxa de deposição do eletrodo.
- Por outro lado, a escória que cobre a soldadura reduz a taxa de arrefecimento, fazendo com que a quantidade de hidrogênio da soldadura seja reduzida, evitando ou minimizando a ocorrência de estruturas duras e frágeis, e diminuindo a concentração de tensões internas.

6.4 Tipos de Revestimento

A classificação dos eletrodos revestidos é feita principalmente pela composição do revestimento. Geralmente, os aços carbono são soldados com eletrodos revestidos com uma composição do núcleo semelhante à composição do metal base, no entanto, para os aços inoxidáveis essa composição pode variar consideravelmente.

De acordo com os compostos que fazem parte do revestimento e a proporção em que estão presentes, os eletrodos comportam-se de maneira diferente, de modo a que de acordo com a aplicação e dependendo das características da junta, espessura, tipo de preparação da junta, posição de soldadura, geometria da junta, composição do metal, etc., possam ser selecionados o tipo de eletrodo apropriado bem como os parâmetros de soldadura.

O revestimento é classificado de acordo com sua composição, conforme mencionado acima, uma vez que esta determina as suas qualidades e aplicações, sendo agrupados e designados da seguinte forma:

- Ácido (A).

- Básico (B).
- Celulose (C).
- Rutilo (R).
- Rutilo - ácido (RA).
- Rutilo - básico (RB).
- Rutilo celulose (RC).
- Rutilo espesso (RR).
- Outras (S).

7. Posições de Soldadura

A Figura 9 mostra as posições principais, PA, PB, PC, PD, PE, PF e PG, bem como alguns exemplos típicos dessas posições. Estas posições são aplicáveis tanto a placas como a tubos. Também é importante notar que as posições PB e PD referem-se apenas a juntas de solda de ângulo e não têm aplicação em juntas de topo a topo.

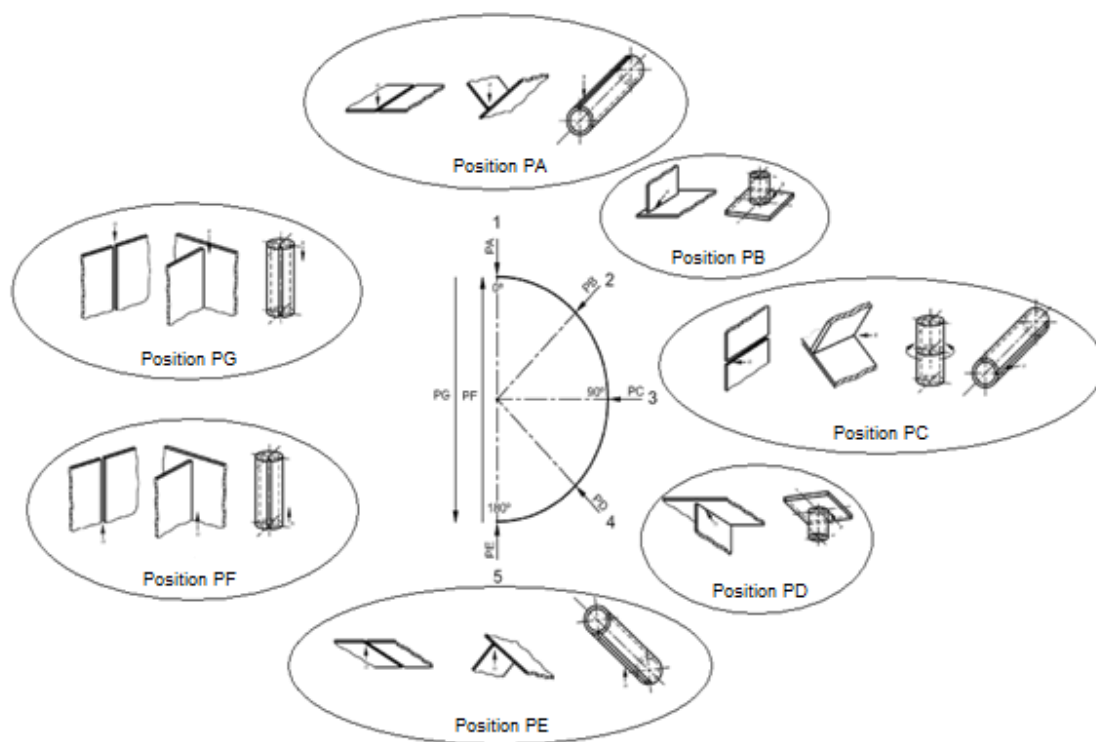


Figura 9: Principais Posições de Soldadura

Para além das posições anteriores, existem outras posições principais de soldadura que se aplicam exclusivamente a tubos. São as posições PH (na soldadura vertical ascendente de tubos), PJ (na soldadura vertical descendente de tubos) e PK (soldadura orbital de tubos). A Figura 10 mostra alguns exemplos dessas posições de soldadura.

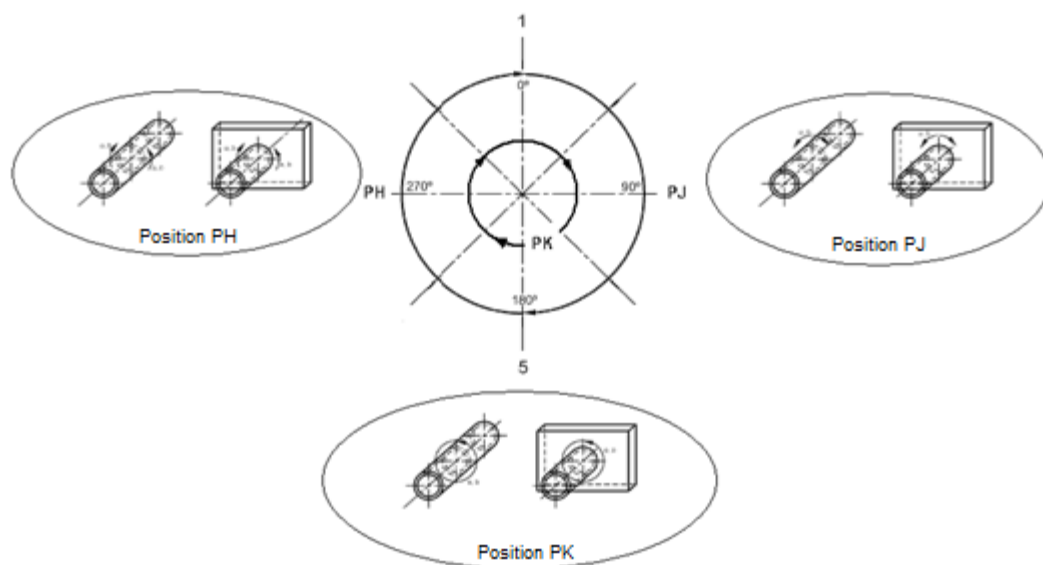


Figura 10: Principais Posições de Soldadura de Tubos.

A posição de soldadura é um aspeto crítico, pois é uma variável essencial na qualificação de soldadores. Os soldadores devem conhecer as posições de soldadura para ter certeza de que a qualificação cobre para as posições em que estão a soldar.

No MMA, existem dois fatores fundamentais que impedem a separação do banho de fusão:

- **A escória.** A escória ajuda a segurar o banho de material fundido.
- **As tensões superficiais.** A tensão superficial é uma força que atua na superfície dos líquidos e que tende a manter as moléculas juntas, evitando que o líquido se espalhe. Por exemplo, depositando uma gota de água numa superfície, é possível observar a sua aparência arredondada. Isso deve-se à tensão superficial.

A tensão superficial não é uniforme na superfície do líquido, mas é muito maior nas extremidades. Isso justifica-se quando despejamos água sobre uma superfície, a água forma uma película fina na superfície, exceto nas extremidades, onde adquire um aspeto arredondado como o de uma gota.

Por outras palavras, embora o banho de material fundido seja pequeno, o efeito da tensão superficial é forte o suficiente para segurar o banho de fusão e evitar que este se separe ou deslize. Se o banho de material fundido for grande, a tensão superficial no centro será muito baixa e o banho de fusão tende a escorregar ou cair.

Consequentemente, **"ao soldar em posição, é necessário monitorizar constantemente o tamanho da soldadura enquanto se mantém um tamanho pequeno. Isso implica a soldadura com baixa entrega térmica"**.

Soldadura Horizontal

Ao fazer sobreposições nesta posição, o eléctrodo é aplicado numa placa vertical, deslocando-se o eléctrodo horizontalmente. Isto significa que o banho de material fundido não terá tendência a ficar para trás, sendo necessário dar especial atenção à tensão superficial. O risco do banho de material fundido deslizar da superfície é elevado, de modo que esta soldadura deve ser feita com a menor entrega térmica possível (baixa intensidade de corrente e velocidade de soldadura elevada), portanto, por um lado, há um pequeno banho de material fundido, e em segundo lugar, o banho de fusão não é muito fluido.

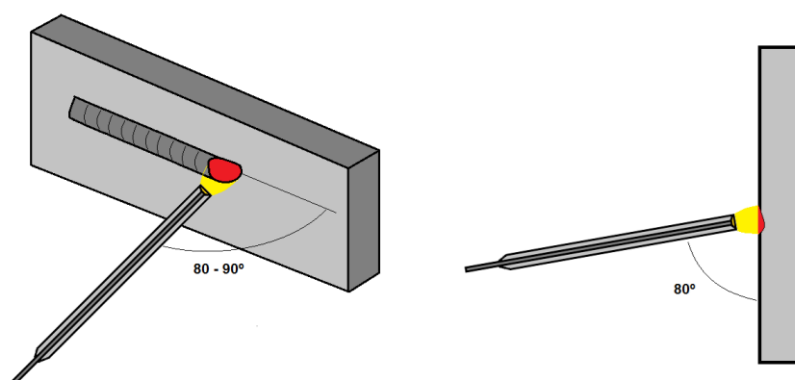


Figura 11: Controlo do eléctrodo em posição horizontal.

Soldadura em Posição Vertical Ascendente

Nas sobreposições desta posição, a soldadura é realizada numa placa vertical, movimentando o eléctrodo verticalmente num sentido ascendente, com ou sem oscilação. Como no caso anterior, o banho tende a escorregar por gravidade, porém, nesta posição, o cordão depositado atua como apoio e tende a reter o banho de fusão. Esta sustentação é eficaz enquanto o material no banho de fusão não é muito grande.

Geralmente, nesta posição de soldadura solda-se com intensidades de corrente baixas para evitar um crescimento excessivo do banho de fusão tornando-o muito fluido, aumentando assim o risco de decair. No entanto, a entrega térmica costuma ser muito alta, porque a posição de soldadura não permite soldar tão rapidamente como noutras posições.

Nesta posição, o eléctrodo deve ser manuseado com uma ligeira inclinação no sentido oposto ao deslocamento, de forma a fazer um ângulo de 90 ° na direção perpendicular à chapa (ver Figura 12).

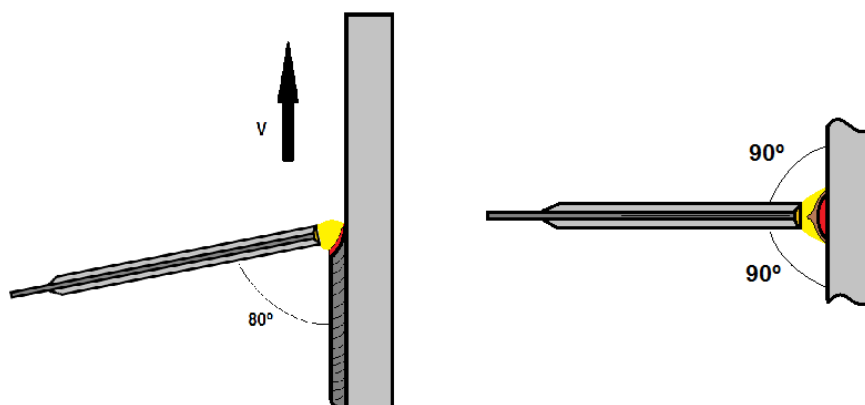


Figura 12: Orientação do eletrodo em posição vertical ascendente

Soldadura em Posição Vertical Descendente

Nas sobreposições desta posição, a soldadura é realizada numa placa vertical, movimentando o eletrodo verticalmente no sentido descendente, normalmente sem oscilação.

Novamente, o banho de fusão tende a escorregar por gravidade se não houver nenhum apoio para o banho de fusão. Para evitar que a escória ultrapasse o banho de fusão, a soldadura deve ser realizada com uma velocidade de deslocamento mais elevada, o que requer uma corrente de soldadura maior que compense a entrega térmica.

Também é adequado orientar o eletrodo direcionando o arco para cima e segurando assim o banho de fusão. É comum usar um ângulo de cerca de 70° (consultar a Figura 13).

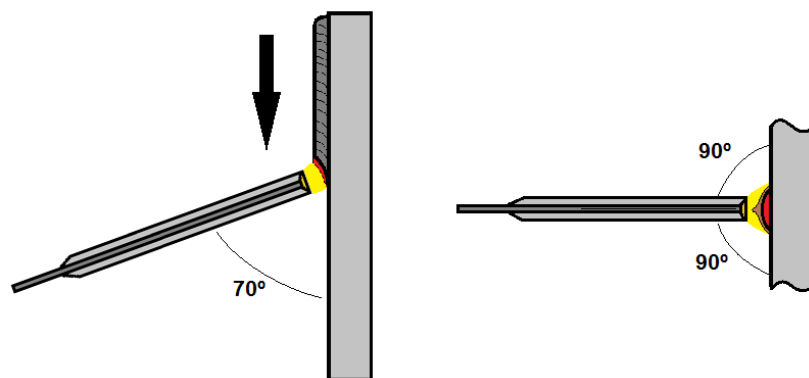


Figura 13: Orientação do eletrodo em Posição Vertical Descendente.

Por fim, de referir que não se deve soldar nesta posição, exceto quando expressamente requerido e se utiliza eletrodos específicos para soldadura vertical descendente, normalmente eletrodos celulósicos.

Soldadura no Teto

Nas sobreposições nesta posição, a soldadura é realizada numa chapa horizontal, soldando-se a superfície inferior. O principal problema, novamente, é que o banho de fusão possa

escorregar. Geralmente, esta posição de soldadura deve usar uma corrente mais alta do que a posição PC. O risco de o banho de fusão escorregar não é tão elevado como na posição horizontal, mas pode ocorrer se se soldar com correntes muito elevadas ou banhos de fusão muito grandes.

Outro problema, típico desta posição, é o aumento do risco de aprisionamento de escória no cordão uma vez que a diferença de densidade entre a escória e o banho de fusão tende a causar a sua mistura.

Relativamente à orientação, o elétrodo deve ser ligeiramente inclinado na direção de deslocamento (ver Figura 14).

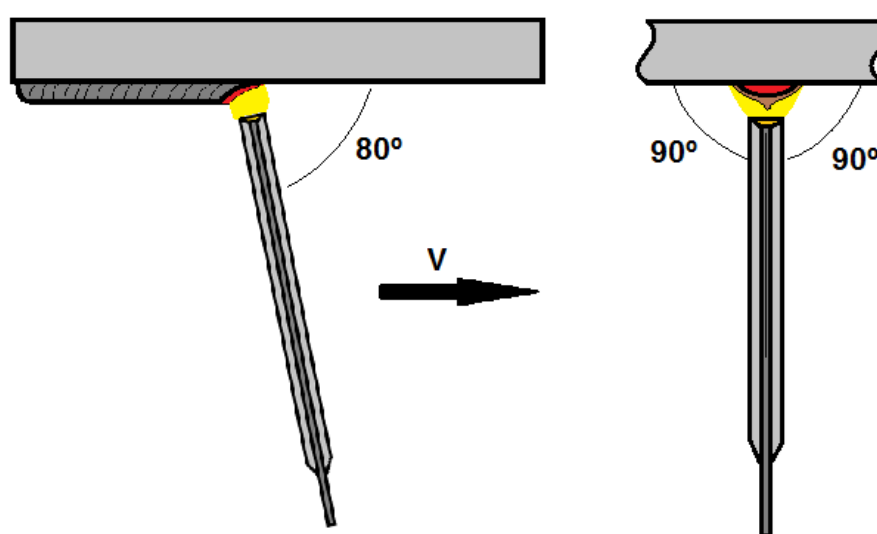


Figura 14: Orientação do elétrodo em soldadura no teto

8. Saúde e Segurança em Soldadura por Arco Elétrico Manual

Em soldadura, muitos fatores devem ser considerados do ponto de vista da segurança. Estes perigos são causados tanto pelo próprio processo de soldadura (calor, gás, salpicos, eletricidade, radiação ultravioleta ...) como pelo ambiente onde se desenvolve a atividade (oficina de soldadura, no local, altura ou subaquática, etc.).

Para evitar ferimentos é muito importante seguir algumas regras básicas de prevenção de riscos. Algumas orientações a serem seguidas são expostas neste capítulo com o objetivo de serem seguidas por todas as pessoas envolvidas na soldadura.

8.1 Identificação dos Riscos Associados a Operações de Soldadura

A identificação de riscos é o resultado da pesquisa de elementos ou situações que podem afetar a saúde do trabalhador. A identificação de riscos ocupacionais é uma ferramenta fundamental para implementar as medidas de segurança adequadas.

Tabela 3: Tipos de risco comuns a serem considerados em operações de soldadura.

Salpicos e projeções	As projeções de partículas incandescentes produzidas durante a soldadura, podem atingir até 10 metros horizontalmente. Além disso, durante o corte surgem partículas de escória, das quais o trabalhador deve ser protegido.
Fumos e gases tóxicos	Aparecem por reação química de diferentes componentes do processo. Os diversos químicos perigosos possuem características diferentes dependendo de sua origem, podendo-se destacar as seguintes fontes: • Produzido pelo material/metall base. • Fabricado a partir do material de base revestido (galvanizado, níquel, cromado, banhado a cádmio, pintado, plastificado, oleado). • Produzido por desengorduramento ou limpeza de produtos utilizados na base e no material de adição. • Produzido pelo material de adição. • Produzido pela reação com o ar envolvente. • Produzido a partir de líquidos ou gases contidos nos tanques a serem soldados.
Choque elétrico	Causado por mau estado de cabos e/ou conexões ou manuseamento incorreto de equipamentos elétricos.
Temperatura alta	A temperatura atingida no processo de soldadura deve ser suficiente para fundir o metal base e o eletrodo. As elevadas temperaturas afetam diretamente o soldador.
Fogo	Produzido geralmente por projeções de partículas incandescentes que atingem uma área onde artigos inflamáveis se encontram. Também pode ser produzido por soldadura em áreas onde há grandes quantidades de combustíveis.
UV	Ocorre quando os eletrodos revestidos são usados
Acidentes com ferramentas e equipamentos	Os processos de soldadura a arco produzem radiação visível, infravermelha e ultravioleta, que produz lesões oculares e a pele sendo a radiação ultravioleta mais perigosa.
Ruído	O ruído produzido pela ação de operações complementares à soldadura como retificação, corte, martelamento, etc.

Posições Erradas

Às vezes, o soldador deve operar com posturas inadequadas devido à má acessibilidade da junta. Estas posições prolongadas podem causar lesões.

8.2 Medidas de Prevenção

Quando os potenciais riscos já foram identificados, deve-se tomar medidas preventivas e de proteção contra estes.

Estas medidas dividem-se em dois ramos: medidas de proteção individual e medidas de proteção coletiva.

8.2.1 Proteção Pessoal

Destinam-se à proteção de pessoas diretamente envolvidas nas tarefas de soldadura e dos seus auxiliares.

8.2.1.1 Vestuário de Proteção

O objetivo da proteção individual é reduzir as consequências dos riscos, sendo a prioridade descobrir os riscos particulares, pois estes não podem ser removidos nem medidas de proteção coletiva podem ser adaptadas, apenas quando se utiliza EPIs (Equipamentos de Proteção Individual). É importante lembrar que as proteções pessoais não eliminam os riscos; são simplesmente barreiras físicas que se interpõem entre os riscos e as pessoas. As roupas de proteção recomendadas apresentadas de seguida, sendo selecionadas aquelas que são aprovadas pelo Ministério do Trabalho e possuem a marcação da CE.

Vestuário de algodão não é recomendado porque é degradado por ultravioleta num período de quinze dias. Couro e lã são dois dos materiais que oferecem melhores resultados contra a radiação ultravioleta.

Tabela 4: Equipamento de proteção recomendado.

Capacetes de segurança para proteção contra queda de objetos pesados ou pontiagudos.	
Botas de segurança.	

Viseiras ou capacetes providos de filtros de radiação escolhidos conforme detalhado a seguir.	
Luvras, mangas, calças e aventais de couro.	
Luvras isolantes de eletricidade para manusear fontes de energia de soldadura.	
Cintos de segurança para trabalhos em altura.	
Proteção auditiva, que pode ser abafador de ruído, tampões de ouvido ou capacetes antirruído.	

8.2.1.2 Proteção Visual

Para proteger os olhos das radiações prejudiciais durante a operação de soldadura, é necessário o uso de óculos ou viseiras com filtros adequados.

Os filtros são classificados de acordo com o grau de proteção contra radiação ultravioleta e infravermelha. No caso de soldadura com eletrodo revestido, a radiação será uma função direta da corrente, ou seja, quanto maior a amperagem utilizada, maior a radiação emitida.

8.2.2 Prevenção no Uso de Materiais e Equipamento

A soldadura a arco com eletrodo revestido, bem como as operações relacionadas com esse processo, envolve o uso de corrente elétrica. O manuseio impróprio ou a manutenção

inadequada destes equipamentos podem causar acidentes por contacto direto ou indireto com a eletricidade.

8.2.3 Proteção Contra Fumos

Para evitar o contacto com os fumos prejudiciais das operações de soldadura, tanto do soldador como dos trabalhadores que circulam pela área, devem ser tomados dois tipos de ações:

- Reduzir ao máximo atividades nos elementos que possam emitir estes fumos.
- Se emitidos, evitar que eles não atinjam o soldador, utilizando aspiradores, extratores, correção da postura do soldador, etc.

8.3 Riscos e Cuidados com Operações Associadas a Soldadura

A soldadura não envolve apenas a fusão do material de base e de adição. Para fazer uma junta com garantias, é necessária uma série de operações para anular ou limitar o número de defeitos da solda. Essas operações também trazem uma série de perigos que devem ser tomados em consideração.

8.3.1 Retificação

Para limpeza de passagens de soldadura ou preparação dos bordos, são usadas retificadoras. Existem retificadoras fixas e portáteis (ver figura 15). Os riscos associados às retificadoras são:

- Choque elétrico.
- Acidentes oculares.
- Desprendimento ou quebra do disco.
- Queimaduras e ferimentos nas mãos.
- Inspiração de poeira e partículas.

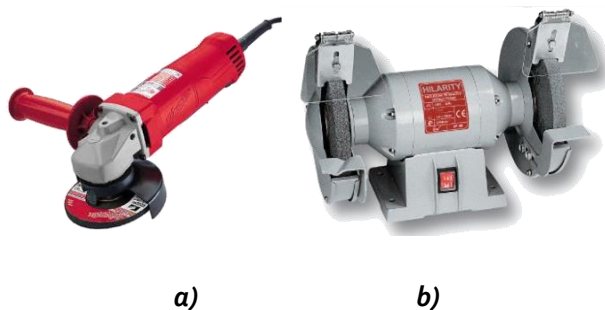


Figura 15: a) retificadora portátil. b) retificadora fixa.

Para evitar os perigos associados às retificações, deve-se verificar o correto estado dos cabos elétricos e terra, trabalhar sempre com vidros ou viseiras de proteção, utilizar discos de

retificação apropriados ao material a ser trabalhado, não apertar demasiado as porcas danificando os discos, evitar a vibração nos discos uma vez montados, usar dispositivos de fixação para trabalhar com peças pequenas, usar sempre luvas e sistemas de extração de fumos e partículas.

8.3.2 Remoção de Escória

Na remoção da escória produzida pela soldadura com elétrodo revestido, são utilizadas picaretas. Os riscos associados à remoção de escória são:

- Queimaduras.
- Lesões oculares.



Figura 16: Picareta e óculos de proteção

As queimaduras podem ser evitadas com o uso de luvas e vestuário de proteção no manuseamento das peças ainda quentes. Também é necessário arrefecer a escória. Para evitar possíveis lesões oculares, deve-se usar óculos ou viseiras.

BIBLIOGRAFIA

- [1] [General Course on Welding Technology. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994.](#)
- [2] [Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995.](#)
- [3] [UNE-EN ISO 17633:2006, Welding consumables. Tubular wires and rods for arc welding with or without gas protection of stainless and heat-resistant steels. Classification.](#)
- [4] [AWS A5.1-04: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.](#)
- [5] [AWS A5.4-06: Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding.](#)
- [6] [AWS A5.30-07: Specification for Consumable Inserts](#)

GLOSSÁRIO

Inclui os conceitos principais, novos e/ou complexos vistos na unidade, como um dicionário. Este tipo de recurso é importante especialmente quando o curso é destinado a alunos sem qualquer conhecimento da matéria. As entradas do glossário estão ordenadas por ordem alfabética.

- Amostra** – Exemplar de um teste sujeito a estudo e testes.
- Calibração** - Comparação de leituras de uma ferramenta de medição com uma medida padrão de modo a verificar a precisão de um instrumento.
- Conformidade** - Correspondência com padrões, regras ou leis.
- Escória** - Camada superficial presente na soldadura deixada pelo fluxo.
- Imperfeição** - Uma falha, defeito ou característica indesejável.
- Junta** - Junção de membros ou bordos de membros que devem ser unidos ou foram unidos.
- Junta de Suporte** - Material colocado na raiz da junta de soldadura que suporta o material soldado fundido.
- Manufatura** – O fabrico de artigos em larga escala usando maquinaria.
- Material de Adição** - Material a ser adicionado durante soldadura por fusão.
- Metal/Material Base** - É o material base da peça a ser soldada.
- MMA** – *Manual Metal Arc Welding*, soldadura manual por arco elétrico de metais.
- Modelo** – Algo que é usado como padrão para produzir outras coisas semelhantes.

Passagem Final – Passagem final no entalhe de uma soldadura de passagens múltiplas.

Passe de Raiz – Uma passagem feita para produzir o primeiro cordão de soldadura.

Peça de Teste - Peças exemplares que representam uma peça a ser testada.

Procedimento – Uma série de ações conduzidas numa certa ordem ou maneira.

PTI – Plano de Teste de Inspeção

Remoção do Passo de Raiz- Remoção de material soldado e material base do lado da raiz da soldadura de modo a facilitar a fusão completa e penetração completa da junta de soldadura, soldando subsequentemente esse mesmo lado.

Salpicos – Gotículas de metal fundido geradas no ou perto do arco de soldadura.

Soldadura Oscilatória - Técnica de soldadura na qual a fonte de energia é oscilada transversalmente à medida que progride ao longo da trajetória de soldadura.

Soldadura por Fusão - A fusão conjunta de material de adição e material base, ou apenas de material base, de modo a produzir uma soldadura.

Subcontratação - Empregar uma empresa ou pessoa fora da empresa de uma certa entidade trabalhadora como parte de um projeto superior.

Temperatura Interpasse – Temperatura à qual passagens subsequentes são depositadas.

NDT – *Non-destructive Testing*, Testes não destrutivos

Tratamento Térmico - Uso de calor para alterar as propriedades do metal.

Valores de Dureza – Valor dado por um resultado de um teste de dureza (e.g. Vickers).

Welding Processes - TIG

1.1 Nome do curso

Processo de Soldadura por Soldadura com Gás Inerte e Tungsténio (TIG)

1.2 Duração do curso

5 horas

1.3 Finalidade do curso

Nesta unidade correspondente à soldadura TIG iremos dar a conhecer o equipamento do processo de soldadura, de que forma os parâmetros (corrente, voltagem, velocidade, etc.) afeta o processo, as tecnologias do processo TIG e uma seção dedicada a saúde e segurança. Quando são necessários requisitos de acabamento superior, é necessário usar o sistema TIG para atingir uma soldadura homogênea, com uma boa aparência e um acabamento completamente suave.

1.4 Objetivos do curso

Objetivos específicos		
Conhecimentos	Competências	Atitudes
Usar e explicar a terminologia associada ao processo de soldadura TIG. Descrever as vantagens e limitações do processo de soldadura TIG. Identificar o equipamento de soldadura como eletrodos de tungsténio, barras de material de enchimento, tochas e elementos dos componentes específicos usados no processo de soldadura TIG.	Identificar, selecionar e preparar o equipamento para o processo de soldadura TIG.	Colaborar com os membros do grupo de trabalho de forma a cumprir com a tarefa. Assumir responsabilidades no grupo de trabalho para a realização de uma tarefa.
Explicar a importância de reunir o equipamento correto, preparar a fonte de energia/alimentação e	Identificar fontes de alimentação, ferramentas e acessórios usados para a soldadura TIG.	

escolher o eletrodo e as consequências de uma seleção incorreta.		
Inspecionar e preparar a peça de acordo com desenhos e práticas de trabalho para soldadura TIG. Explicar a espessura dos materiais em relação ao tamanho e tipo de eletrodos de soldadura usados, e a influência que têm na manipulação durante o processo de soldadura. Reparar o ambiente de soldadura TIG usando um simulador/equipamento real.	Identificar que tipo de eletrodo usar com corrente DC ou AC. Selecionar e usar consumíveis de soldadura em linha com os requisitos para a soldadura de aço carbônico, alumínio e placas de aço inoxidável. Usar o processo de Gás Inerte e Tungstênio (TIG) em todas as posições. Soldar a peça de acordo com instruções de trabalho e requisitos específicos usando o simulador/equipamento real. Aplicar verificações de qualidade no processo. Inspecionar a peça soldada em busca de defeitos (usar testes visuais e ensaios não destrutivos) de acordo com especificações refletidas no desenho ou requisitos do trabalho. Identificar defeitos da soldadura e tomar medidas corretivas.	
Identificar e retificar possíveis perigos da soldadura de acordo com as práticas normais no local de trabalho.	Observar práticas seguras de trabalho durante a soldadura. Aplicar outras medidas a ter em conta relativamente	

Explicar os requisitos de segurança relacionados com produtos de soldadura.	à prevenção de acidentes relacionados com ruído, fumo, fogo ou choques elétricos.	
Dar exemplos de falhas e explicar as suas causas e consequências.		

1.5 Conteúdos

- 1. Introdução**
- 2. Fonte de Alimentação/Potência**
- 3. Fonte de Alimentação AC. Transformadores**
- 4. Fonte de Alimentação DC. Retificador**
- 5. Iniciação do Arco em TIG**
- 6. Cabos**
- 7. Dispositivos Terra**
- 8. Quedas de Tensão**
- 9. Afiamento do Eléctrodo**
 - 9.1 Variações Geométricas da Ponta do Eléctrodo
 - 9.2 Ponta do Eléctrodo
- 10. Defeitos de Soldadura Típicos**
- 11. Eléctrodos Não-Consumíveis**
 - 11.1 Seleção do Eléctrodo
- 12. Classificação de Material de Adição**
- 13. Classificação de Gases de Protecção Para Soldadura por Arco Eléctrico e Corte. EN ISO 14175**

14. Influência dos Parâmetros de Soldadura

15. Posições de Soldadura

16. Saúde e Segurança em Soldadura TIG

16.1 Riscos Relacionados com o Processo

16.2 Riscos Relacionados com o Manuseamento dos Gases Comprimidos

1.6 Participantes

Características do aluno:

Competências técnicas básicas

1.7 Condições de entrada

Grau de escolaridade exigido:

Alunos de escolas de EFP

Conhecimentos prévios necessários

Conhecimentos básicos em soldadura

Requisitos de idade:

16 e 20 anos

1.8 Atividades de avaliação

Avaliação sumativa

Exame teórico usando um simulador/computador ou a sala de aula virtual SIMTRANET.

1.9 Bibliografia (usada ou suplementar)

[1] General Course on Welding Technology. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994.

[2] Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995.

[3] UNE-EN ISO 6848:2005, Tungsten electrodes for arc welding in inert atmosphere with refractory electrode, and for welding and plasma cutting. Symbolization.

[4] AWS A5.12-98: Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting.

[5] AWS C5.5-03, Recommended Practices for Gas Tungsten Arc Welding.

[6] AWS Z49.1-05, Safety in Welding, and Cutting and Allied Processes.

NÚMERO DA UNIDADE: Unidade Didática 2

TÍTULO DA UNIDADE: Soldadura com Gás Inerte e Tungsténio (TIG)

APRESENTAÇÃO DA UNIDADE

Nesta unidade correspondente à soldadura TIG iremos dar a conhecer o equipamento do processo de soldadura, de que forma os parâmetros (corrente, voltagem, velocidade, etc.) afeta o processo, as tecnologias do processo TIG e uma seção dedicada a saúde e segurança. Quando são necessários requisitos de acabamento superior, é necessário usar o sistema TIG para atingir uma soldadura homogênea, com uma boa aparência e um acabamento completamente suave.

OBJETIVOS

Os objetivos da unidade de ensino são:

- Usar e explicar a terminologia associada ao processo de soldadura TIG
- Descrever as vantagens e limitações do processo de soldadura TIG
- Identificar o equipamento de soldadura como elétrodos de tungsténio, barras de material de enchimento, tochas e elementos dos componentes específicos usados no processo de soldadura TIG
- Inspeccionar e preparar a peça de acordo com desenhos e práticas de trabalho para soldadura TIG

ÍNDICE

1. Introdução
2. Fonte de Alimentação/Potência
3. Fonte de Alimentação AC. Transformadores
4. Fonte de Alimentação DC. Retificador
5. Iniciação do Arco em TIG
6. Cabos
7. Dispositivos Terra
8. Quedas de Tensão
9. Afiamento do Eléctrodo
 - 9.1 Variações Geométricas da Ponta do Eléctrodo
 - 9.2 Ponta do Eléctrodo

10. Defeitos Típicos de Soldadura

11. Eléktodos Não-Consumíveis

11.1 Seleção do Eléktrodo

12. Classificação de Material de Adição

**13. Classificação de Gases de Proteção Para Soldadura por Arco Eléétrico e Corte.
EN ISO 14175**

14. Influência dos Parâmetros de Soldadura

15. Posições de Soldadura

16. Saúde e Segurança em Soldadura TIG

16.1 Riscos Relacionados com o Processo

16.2 Riscos Relacionados com o Manuseamento dos Gases Comprimidos

Bibliografia

Glossário

DESENVOLVIMENTO DOS CONTEÚDOS

1. Introdução

A soldadura TIG (*Tungsten Inert Gas*, Soldadura com Gás Inerte e Tungsténio) é um processo de soldadura por fusão protegido por gás que usa como fonte de energia um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo não consumível e a peça de trabalho, enquanto um gás inerte protege o banho de fusão. O material de adição, quando utilizado, é aplicado através de hastes, da mesma forma que na soldadura oxiacetileno.

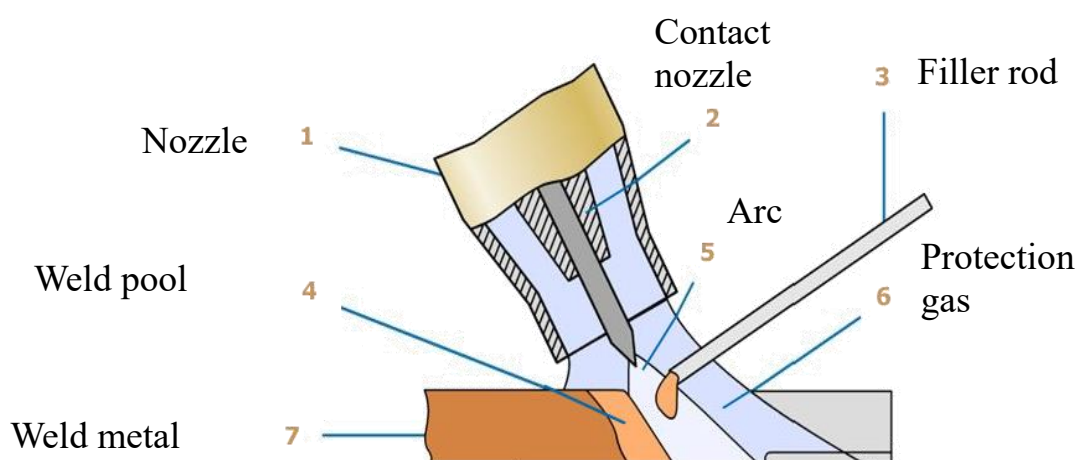


Figura 2. Esquema do processo TIG

O processo de soldadura TIG também é denominado de:

- GTAW, *Gas-shielded Tungsten Arc Welding*, soldadura de arco e tungsténio protegida por gás.
- Soldadura a arco com proteção de gás com eletrodo de tungsténio não consumível (EN ISO 4063: 2011)
- Soldadura a arco com eletrodo de tungsténio não consumível (EN 14610: 2006)

A tabela a seguir mostra as principais vantagens e limitações do processo:

Tabela 1. Vantagens e limitações da soldadura TIG.

Vantagens	Limitações
É um processo adequado para a maioria dos metais	A taxa de deposição é menor do que com outros processos de soldadura a arco
Fornecer um arco estável e concentrado	Por se tratar de uma aplicação manual exige, em geral, grande habilidade por parte do soldador
Embora este seja um processo essencialmente manual, ele foi	Não é económico para espessuras maiores que 10 mm

automatizado para alguns fabricos em série, como tubos de pequena espessura, longitudinais ou espirais, e para a fixação de tubos a placas em permutadores de calor	
Nenhuma há projeções de partículas/salpícos (porque não existe transporte de metal no arco)	Na presença de correntes de ar, pode ser difícil conseguir a proteção adequada da área de soldadura
Escória não é produzida	Produz mais radiação ultravioleta do que outros processos, exigindo proteção adequada
São obtidas soldaduras suaves e regulares	
Pode ser usado com ou sem metal de adição, dependendo da aplicação	
Pode ser usado em todos os tipos de juntas e posições	
É possível obter alta velocidade de soldadura em espessuras abaixo de 3-4 mm	
É possível obter soldaduras de alta qualidade	
Fornece excelente controlo da penetração do passe de raiz	
Não é necessário o uso de fontes de alimentação caras	
Permite o controlo independente da fonte de alimentação e do metal de adição	
Não produz fumos	

2. Fonte de Alimentação/Potência

A soldadura TIG é, principalmente, um processo de soldadura manual, o que implica que a fonte de alimentação forneça condições de trabalho estáveis, independentemente das pequenas variações no comprimento do arco que ocorrerão durante a soldadura.

Isto porque na soldadura TIG são utilizadas fontes de alimentação de corrente constante ou de característica vertical.

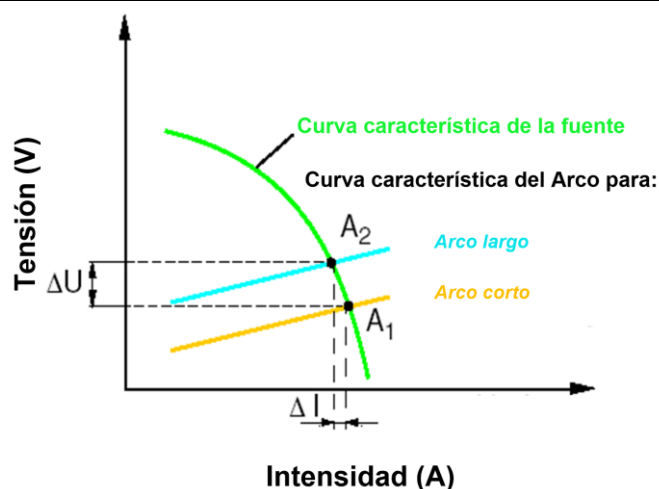


Figura 2. Curva característica de declive descendente

Como podemos observar na Figura 2, trabalhar com este tipo de fonte de alimentação (com a curva característica apresentada) implica que variações significativas na tensão de soldadura significam variações muito pequenas de corrente. Isto é crítico em processos de soldadura manual, como a soldadura TIG, uma vez que a tensão de soldadura está profundamente relacionada à variação do comprimento do arco. Num processo manual é impossível para o soldador obter constantemente o mesmo comprimento de arco, de forma que este irá variar ao longo da soldadura. Porém, com este tipo de fontes de soldadura consegue-se que essas variações no comprimento do arco e, portanto, na tensão de soldadura, não acarretem variações na corrente de soldadura, evitando assim problemas como fusão e penetração incompletas, perfurações na peça de trabalho, etc. Além disso, a soldadura TIG pode ser realizada tanto com AC como com DC, o que exige características diferentes da fonte de alimentação.

3. Fonte de Alimentação AC: Transformadores

A principal função das fontes de alimentação é obter uma corrente elétrica adequada para soldadura, ou seja, uma corrente elétrica de baixa tensão e alta intensidade. A corrente fornecida pela rede é alternada (AC) com intensidade baixa e tensão alta, o que a torna inadequada para soldadura. Portanto, é necessário modificá-la para se adequar à soldadura. Este é o objetivo dos transformadores elétricos, que é transformar a corrente alternada da rede, de alta tensão e baixa corrente, em corrente alternada com alta intensidade e baixa tensão, apropriada para soldadura. As fontes de alimentação para soldadura TIG com corrente alternada são compostas por:

- Transformador
- Pulsos de alta frequência do gerador
- Protetor
- Filtro capacitivo
- Gás de soldadura de válvula magnética
- Módulo de controlo.

4. Fonte de Alimentação DC: Retificador

Quando a soldadura TIG é realizada com DC, a fonte de alimentação deve realizar duas alterações à corrente da rede elétrica à qual está ligada:

1. Transformar a rede AC (alta tensão e baixa intensidade) em corrente alternada adequada para soldadura (baixa tensão e alta intensidade).
2. Retificar de corrente alternada para a corrente contínua adequada a soldadura.

As fontes de alimentação para soldadura TIG de corrente contínua são formadas principalmente por:

- transformador
- Retificador
- Ventilador
- Controlador de arrefecimento a água
- Gás de soldadura de válvula magnética
- Módulo de controlo
- Controlo da corrente de soldadura

Quando a corrente de soldadura é regulada através do potenciómetro da fonte de alimentação TIG, o que fazemos é variar a curva característica da fonte com que se trabalha.

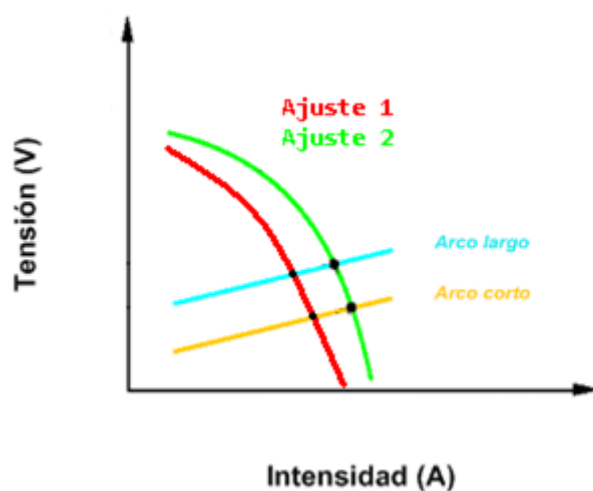


Figura 3. Diferentes configurações de corrente de soldadura.

Para entender como controlar a curva característica da fonte de alimentação é importante entender dois parâmetros: **tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito**.

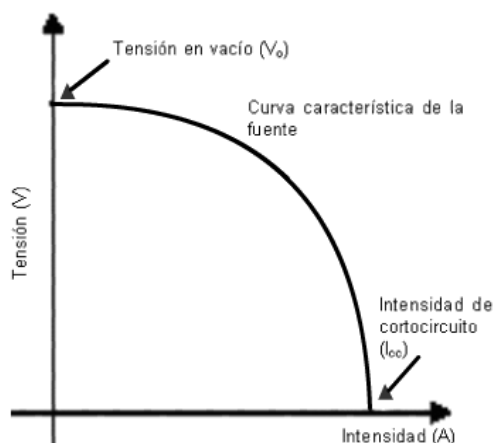


Figura 4. Curva característica da fonte de alimentação de soldadura

Tensão de circuito aberto

A tensão de circuito aberto (V_0) é a tensão máxima que a fonte de alimentação pode fornecer e é a tensão nos terminais da fonte quando não se está a soldar. A tensão de circuito aberto é geralmente mais do dobro da tensão de soldadura. É utilizada principalmente para garantir a facilidade de iniciação e estabilidade do arco, portanto, devido ao aumento da instabilidade do arco na soldadura com AC, os transformadores têm maior tensão de circuito aberto do que os retificadores.

Corrente de curto-circuito

A corrente de curto-circuito é a corrente máxima fornecida pela fonte de alimentação. Para iniciar o arco, é produzido um curto-circuito, neste momento a tensão desaparece e a corrente que flui é máxima, graças a isto o eletrodo é aquecido e pode estabelecer o arco.

Estes dois parâmetros são de particular relevância na soldadura TIG, ajudando a estabelecer o arco.

Geralmente, os equipamentos de soldadura permitem atuar na curva característica, para que se possa adaptar o comportamento da fonte de alimentação às necessidades de soldadura.

A maneira de atuar na curva característica é variando a tensão de circuito aberto e/ou a inclinação da curva.

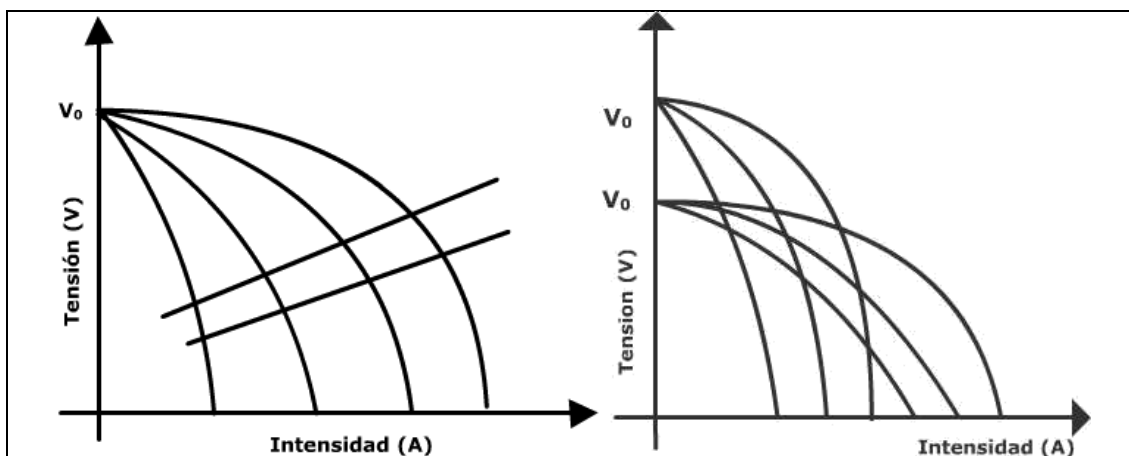


Figura 5. Variação das curvas características da fonte de alimentação

Geralmente podemos dizer que a **variação na inclinação da curva é alcançada atuando no campo magnético gerado pelo transformador**, enquanto que as variações da tensão no circuito aberto são realizadas no circuito primário ou secundário, variando por derivações o número de voltas nas bobinas primárias ou secundárias.

5. Iniciação do Arco em TIG

O método mais simples de iniciação do arco é através da raspagem do eletrodo, cuidadosamente, contra o metal base. No entanto, o risco de inclusões de tungstênio no metal base é alto. Para evitar isto, o arco pode ser ligado a uma placa de cobre, denominada de peça inicial. Outra desvantagem de ligar raspando o eletrodo é a facilidade com que o pode danificar. Na figura 6 observa-se o que foi descrito.

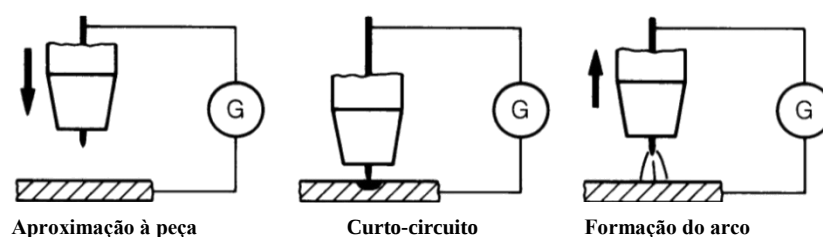


Figura 63. O arco ligado por raspagem. G = fonte de alimentação

Para evitar as desvantagens da iniciação por raspagem (figura 6) é utilizada uma corrente de alta frequência e alta tensão. Este método é sempre usado para corrente alternada e às vezes para corrente contínua.

Portanto, quando for utilizada corrente AC não é necessário tocar com o eletrodo na peça para estabelecer o arco, mas sim carregar o circuito de soldadura e segurar a tocha, de forma que o eletrodo fique aproximadamente na horizontal e a 50 mm da peça. Então, girando o pulso, trazer a ponta do eletrodo até a peça de trabalho, até cerca de 2 ou 3 mm desta. Nesse ponto, a corrente de alta frequência supera a resistência do ar e o arco é estabelecido. O movimento de aproximação do eletrodo deve ser realizado rapidamente; obtê-lo atinge o fluxo máximo de gás de proteção para a área de soldadura.

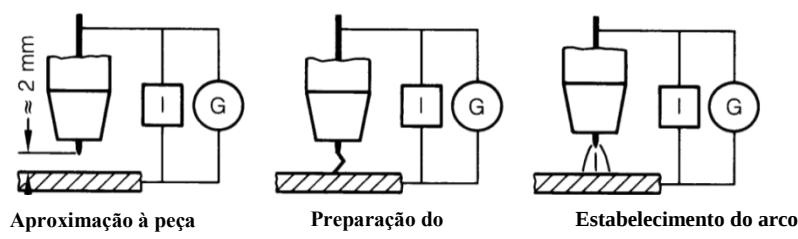


Figura 7. Arco ligado por corrente de alta frequência. G = fonte de alimentação. I = Gerador de pulso de alta frequência

Existem outros sistemas de iniciação de arco, tais como:

- Aplicação de um pulso de alta tensão entre o eletrodo não consumível e a peça de trabalho, que geralmente é usado com corrente contínua.
- Descarga do condensador.
- "Lift-Arc"™: Este método envolve bater suavemente (sem raspar) na peça de trabalho com o eletrodo, mantendo a tocha perpendicularmente à peça. Neste momento, a máquina detecta um curto-circuito e estabelece uma corrente de baixa tensão no circuito. Essa corrente não é suficiente para estabelecer o arco, mas contribui para aquecer o eletrodo. Quando o eletrodo é levantado, a máquina não detecta nenhum curto-circuito e automaticamente o arco é estabelecido, o que é auxiliado pelo pré-aquecimento do eletrodo.
- Tocha de soldadura.

As tochas têm a missão de: conduzir corrente para o eletrodo não consumível e o gás de proteção para a área de soldadura. Podem ser arrefecidas a ar ou de arrefecimento forçado (a água). O primeiro é usado na soldadura de materiais finos que não requerem altas correntes, e o arrefecimento forçado é recomendado para trabalhos que requerem intensidades de corrente acima de 150-200 amperes. Nestes casos, a circulação de água dentro da tocha evita o sobreaquecimento. Em obras onde são necessários 300 amperes ou mais, mesmo que seja no modo descontínuo, é necessário que o *nozzle* também seja arrefecido a água.

A figura 8 mostra várias configurações de tochas TIG.

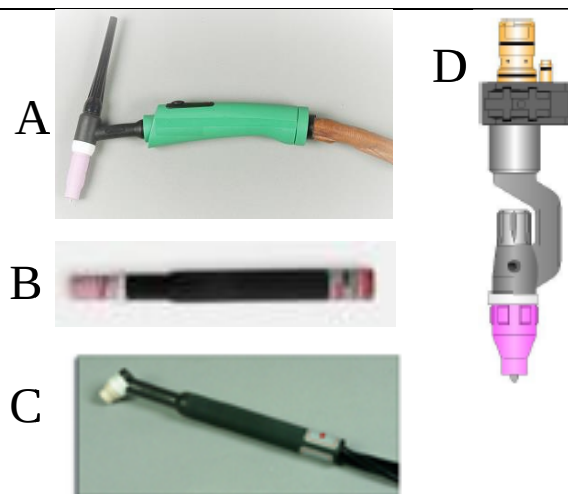


Figura 8. Configurações das tochas TIG. (A) Normal, (B) reta, (C) com topo curto, (D) para robô

O eletrodo de tungstênio que transporta a corrente de soldadura para a área de soldadura é preso por uma pinça acoplada à tocha. Cada tocha possui um conjunto de pinças, de diferentes tamanhos, permitindo a fixação de eletrodos de diferentes diâmetros. É muito importante ter um bom contato elétrico entre o eletrodo e a pinça.

6. Cabos

Os cabos são responsáveis por transportar a corrente elétrica da fonte de alimentação até à peça de trabalho e devolvê-la à fonte de alimentação de soldadura. O tamanho dos cabos deve ser selecionado de acordo com a corrente que deve ser suportada, em função do diâmetro do eletrodo e do tamanho da fonte de alimentação.

É preferível que tanto as pinças como a tocha tenham o mesmo diâmetro, entretanto, ocasionalmente, um dos cabos, geralmente a conexão à terra, pode ter maior diâmetro, mas nunca menor.

É aconselhável ter bons condutores na corrente de soldadura. Normalmente nas oficinas, barras, canos de água e todos os tipos de elementos metálicos são usados para fechar o circuito, levando frequentemente a falhas nas soldaduras.

7. Dispositivo Terra

É um dispositivo de conexão da terra à peça de trabalho e está disponível em vários tamanhos e configurações para diferentes aplicações. **Deve estar em boas condições e deve ter um bom contato com o metal base.** Uma pinça gasta não oferece a segurança de uma boa condução elétrica, causando instabilidade no arco durante a soldadura.

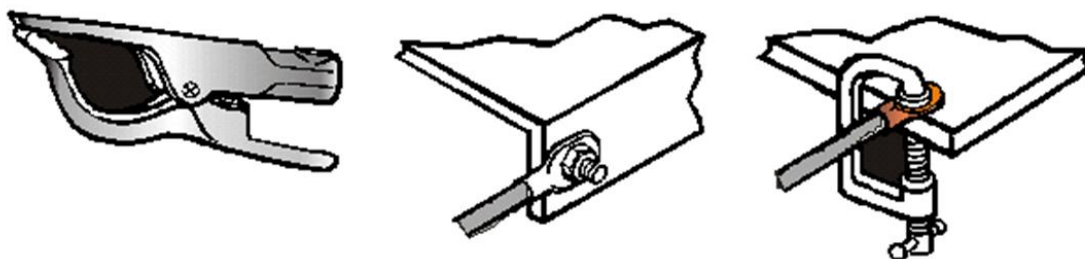


Figura 9. Diferentes dispositivos de terra

8. Quedas de Tensão

A queda de tensão de um condutor é a diferença de tensão entre as extremidades do mesmo.

Quando uma tensão V é indicada no *display* do equipamento de soldadura, esta tensão não é exatamente a tensão de soldadura. Isto porque a tensão indicada pelo voltímetro da máquina é a tensão total de saída, que é a tensão do arco mais as quedas de tensão nos cabos, elétrodo, suporte do elétrodo, peça de trabalho e conexão terra. Essas quedas de tensão são diretamente proporcionais à corrente, portanto entende-se que como a soldadura é um processo que requer uma corrente alta, essas quedas de tensão terão um valor considerável.

Para que essas quedas de tensão não prejudiquem a soldadura, são limitadas a 2 volts.

Os pontos mais comuns de quedas de tensão e aquecimento das resistências são:

- Cabo de alimentação muito pequeno ou danificado.
- Ligação terra (peça de trabalho) solta ou danificada.
- Conexões de cabos de alimentação soltas.

Conexões soltas produzem uma queda de tensão maior do que o permitido para estabilidade do arco (2 V), desde a fonte de alimentação ao suporte do eletrodo. Por este motivo, não devem ser utilizados maus elementos de ligação ou elementos de aço, tubos ou barras como condutores em vez de ligações à terra com pinças em bom estado, para o fixar de forma adequada à chapa ou estrutura a soldar.

9. Afiamento do Eletrodo

A forma da ponta do eletrodo é muito importante pois, se não for correta existe o risco de o arco elétrico instabilizar. Conclui-se que o eletrodo de afiado tem uma grande influência no resultado final da soldadura, de forma que:

- Um eletrodo bem afiado resultará num arco estável, com o calor focado e boa penetração.

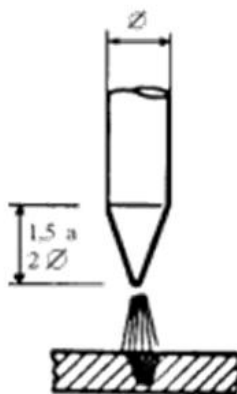


Figura 10. Eletrodo bem afiado

- Um eletrodo mal afiado resulta num arco irregular, gerando um grande banho de fusão e má penetração.

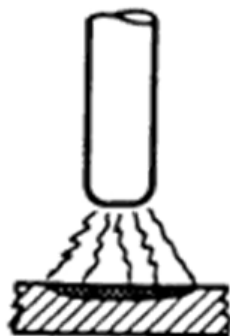


Figura 11. Eletrodo mal afiado

- Os eletrodos muito afiados apresentam riscos acrescidos na ocorrência de inclusões de tungstênio.



Figura 12. Eletrodo muito afiado

9.1 Variações Geométricas da Ponta do Eletrodo

Dependendo do tipo de corrente utilizada no processo de soldadura a ponta do eletrodo deve ter uma dada geometria:

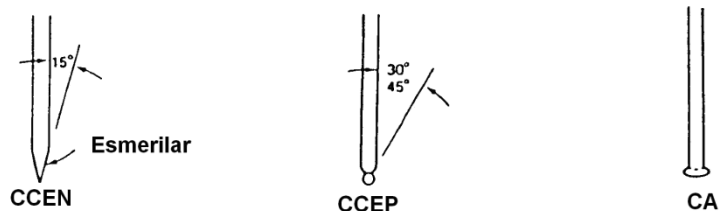


Figura 13. Variações da geometria da ponta do eletrodo de acordo com o tipo de fluxo

9.2 Ponta do Eléctrodo

Os eléctrodos para soldadura com DC devem ser pontiagudos. Quando a retificação é utilizada para obter a geometria adequada do eléctrodo, deve ser feita com um disco ou correia abrasiva de grão fino, utilizada apenas para a preparação dos eléctrodos de tungsténio, evitando assim a sua contaminação. É importante que a retificação seja feita corretamente, esta deve ser feita no sentido longitudinal do eléctrodo. Um comprimento correto da ponta do eléctrodo é duas vezes seu diâmetro. A extremidade excessivamente pontiaguda do eléctrodo deve ser removida pela retificadora, uma vez que pode derreter e originar inclusões no banho de fusão.

Na soldadura com corrente alternada, a extremidade da ponta deve ser ligeiramente arredondada. A ponta é arredondada por si só se o eléctrodo for cuidadosamente sobrecarregado, não sendo necessário retificá-lo.

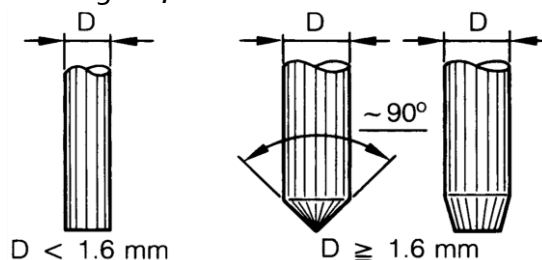


Figura 14. Eléctrodo de ponta para soldadura com corrente alternada

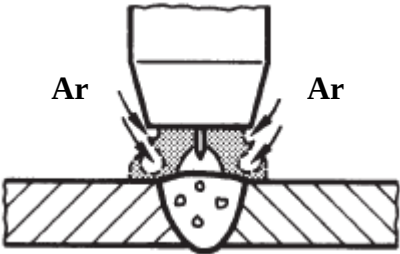
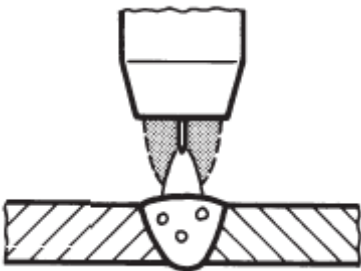
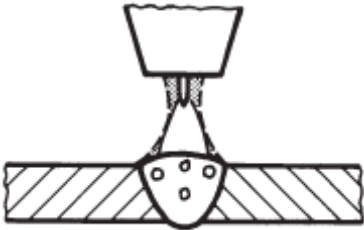
10. Defeitos Típicos de Soldadura

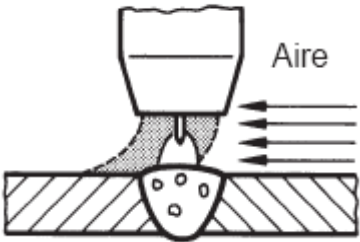
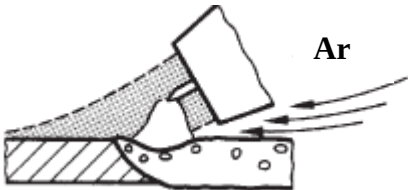
Durante o processo TIG vários defeitos de soldadura podem aparecer, o que pode fazer com que a peça fique com defeituosa.

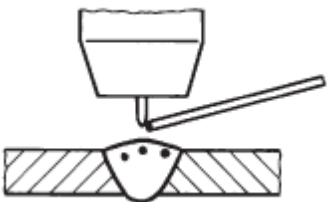
Falta de Penetração	
Aparência: Entalhe ou fenda de raiz	
Causa	Solução

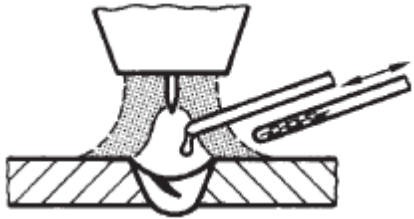
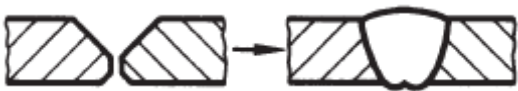
Corrente de soldadura muito baixa.	Aumentar a corrente.
Velocidade de deslocamento muito alta.	Retardar a soldadura.
Preparação de junta incorreta	Aumentar o ângulo de chanfro, reduzir o comprimento da face da raiz ou aumentar a separação na raiz.
Arco muito longo.	Reduzir o comprimento do arco.
Aparência: raiz côncava	Reduzir o tamanho das soldas descontínuas.
Os pontos de solda não fundiram completamente durante a soldadura.	Reduzir o fluxo de gás de suporte.
Em posição plana, fluxo de gás de suporte muito alto.	Usar preparações em U e garantir que o metal fundido não seja uma ponte entre as faces dos bordos da junta.
Preparação da junta inaceitável.	
Bordos Queimados	
Aparência: Canal ao longo do bordo de soldadura	
Causa	Solução
Corrente de soldadura muito baixa.	Aumentar a corrente.
Velocidade de deslocamento muito alta.	Retardar a soldadura.
Tocha inclinada lateralmente.	Colocar a tocha perpendicularmente à placa.
Falta de Penetração	
Aparência: geralmente não é visível, apenas detetável por NDT ou curvatura lateral	
	
Causa	Solução

– Corrente de soldadura muito baixa. – Velocidade de deslocamento muito alta.  – Ângulo de tocha errado. – Posição não centralizada em relação às arestas.  – Preparação errada da junta. – Diâmetro excessivo da haste para espessura da chapa de soldadura. – Limpeza deficiente.	– Aumentar a corrente. – Retardar a soldadura. – Aumentar o ângulo de chanfro, para reduzir a face de raiz ou para aumentar a separação na raiz. – Reduzir o comprimento do arco – Inclinar a tocha para trás e manter o arco no bordo de ataque da deposição de metal fundido – Posicionar a tocha centralizada em relação aos bordos da junta. – Aumentar o chanfro da junta. – Reduzir o diâmetro da raiz. – Limpar as peças de trabalho.
Porosidades	
Aparência: Superfície e subsuperfície normalmente detetáveis por radiografia. 	
Causa	Solução

– Proteção insuficiente. – Turbulências no gás de proteção.  – Distribuição errada do gás de proteção. – Sujidade, óleo, tinta, etc. na placa – Sujidade na haste de material de adição. – Gás de proteção contaminado.	– Aumentar o fluxo do gás de proteção. – Reduzir o fluxo do gás de proteção. Usar um fluxo laminar ou trocar o <i>nozzle</i>, se possível. – Proteger toda a área de soldadura. – Limpar e desgordurar as superfícies. – Limpe e desgordure a haste de material de adição. – Trocar as botijas de gás. – Purgar a rede de gás antes de soldar. – Verificar as conexões. – Usar tubos de cobre ou neopreno.
– A tocha está separada da peça de trabalho.  – Proximidade ao <i>nozzle</i>.  – Soldadura no local. Elevada velocidade do vento.	- Reduzir a distância tocha-peça. - Selecionar o <i>nozzle</i> apropriado. - Proteger a área de soldadura do vento.

 - Ângulo de inclinação à pistola demasiado pequeno (elevado ângulo de deslocamento).	- Aumentar o ângulo de inclinação.
 - Entrada de água de arrefecimento no gás de proteção.	- Verificar periodicamente o equipamento de soldadura.
Fissuração na Soldadura	
Aparência: Fenda ao longo do centro da soldadura.	
Causa	Solução

- Tensões transversas excessivas em soldaduras constrangidas. - Relação profundidade / largura muito baixa. - Contaminação da superfície. - Mau ajuste entre as peças em soldas de ângulo, havendo grandes separações.	- Modifique o processo de soldadura para reduzir as tensões por efeito térmico. - Definir os parâmetros para trabalhar com uma proporção de profundidade / largura 1: 1. - Limpar as superfícies, removendo especialmente os lubrificantes de corte. - Melhorar o encaixe das placas na junta.
Inclusões de Tungsténio	
Aparência: é visível em radiografias. As inclusões de tungsténio têm o mesmo efeito que os entalhes, sendo áreas de potencial e rápida corrosão. 	
Causa	Solução
- Contato entre a peça de trabalho e o eletrodo de tungsténio. - Contato entre a haste de material de adição e o eletrodo de tungsténio. 	- Separar a tocha da peça. Para reduzir o comprimento livre do eletrodo de tungsténio. - Introduzir a haste de material de adição no banho de fusão, sem tocar no eletrodo.
- Corrente excessiva 	- Usar corrente adequada
Inclusões de Óxidos	
Aparência: inclusões irregulares. Visível radiograficamente. 	
Causa	Solução

– Limpeza insuficiente das superfícies do metal base e da haste, principalmente em materiais óxidos refratários: alumínio e magnésio.	– Efetuar limpeza mecânica e / ou química. Também deve ser escovado entre passagens.
– Técnica de soldadura inadequada. Puxar repetidamente a haste para fora da coluna de gás de proteção no movimento recíproco da haste durante a soldadura.  – Preparação inadequada da junta. Face de raiz excessiva 	– Usar técnica apropriada. – Reduzir a face de raiz. 
Raiz Enferrujada	
Aparência: Óxidos na raiz da soldadura. 	
Causa	Solução

- Falta de gás de proteção na raiz. - Oxidação da raiz.	- Usar gás de suporte. 
--	---

Figura 15. Defeitos típicos de soldadura

11. Eléttodos Não-Consumíveis

A tarefa do eléttodo neste processo é manter o arco sem fornecer material de adição. Por este motivo e para evitar desgaste, é muito importante que tenha uma temperatura de fusão elevada.

Em geral, cinco tipos de eléttodos, que são classificados de acordo com sua composição, são usados:

- Tungsténio puro
- Tungsténio com liga de tório
- Tungsténio com liga de zircónio
- Tungsténio com liga de cério
- Tungsténio com liga de lantânio

No início os eléttodos eram de tungsténio puro, mas posteriormente verificou-se que com a adição de óxidos metálicos de tório ou zircônio, cério ou lantânio, o comportamento do eléttodo foi melhorado em vários aspetos:

- Maior capacidade de emissão de eletrões, o que favorece a estabilidade do arco e a facilidade de iniciá-lo.
- Aumentar a temperatura de fusão do eléttodo, permitindo trabalhar com correntes de soldadura mais elevadas.

A norma que define a classificação dos eléttodos de tungsténio é a EN ISO 6848 onde são especificadas a partir das várias dimensões com que os podemos encontrar e a simbologia dos eléttodos de acordo com sua composição química, passando os dados a serem exibidos nos pacotes de eléttodos.

11.1. Seleção do Eléctrodo

A seleção do eléctrodo é feita principalmente com base no tipo de corrente usada, que é determinada pelo material de base. De um modo geral, podemos dizer que DC + é empregue com todos os tipos de materiais, exceto aqueles que formam uma camada de óxido refratário, como ligas de alumínio e magnésio, nos quais é utilizada corrente alternada.

12. Classificação de Material de Adição

Nem sempre o material de adição de soldadura TIG é necessário na soldadura de peças finas (inferiores a 3 mm de espessura), para as quais se usa uma preparação de aresta reta ou com arestas elevadas. Quando for necessário usar material de adição, podemos fazê-lo manualmente ou automaticamente.

Para utilizar juntas sem defeitos, é muito importante manter o metal de adição livre de qualquer contaminação, seja na forma de humidade, poeira ou sujidade. Devemos, portanto, mantê-lo embalado até o momento de usá-lo. Ao soldar, prestar atenção ao facto de que a parte quente da haste está sempre próxima o suficiente do banho de fusão para ser coberta pelo gás de proteção.

Como o TIG é um processo isento de escória e realizado em atmosfera inerte que não provoca reações no banho, o material de adição, quando for necessário utilizá-lo, deve ter uma composição química semelhante à do material de base.

Normalmente, encontraremos hastes de diâmetros diferentes: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; e 5,0 mm, com comprimento de 1000 mm.

13. Classificação de Gases de Proteção Para Soldadura por Arco Elétrico e Corte. EN ISO 14175

A classificação dos gases de proteção, de acordo com EN ISO 14175, é baseada na reatividade do gás ou mistura de gases e na sua composição química.

Árgon

As características deste gás são:

- **É inerte. Não reage** durante a soldadura.
- É inodoro, incolor, insípido e **não tóxico**
- **Proteção eficiente devido à sua alta densidade.** O árgon é 1,4 vezes mais pesado que o ar, o que ajuda na sua função de proteção, ao remover o ar da área de solda. O hélio, ao contrário, é muito mais leve que o ar e, portanto, requer taxas de fluxo mais altas para fornecer o mesmo nível de proteção do que o árgon.

- **Fácil iniciação e boa estabilidade do arco.** O árgon possui baixa energia de ionização (7,15 eV), o que facilita as características citadas.
- **Custo-benefício.** É obtido na destilação do ar na proporção de aproximadamente 1%. O árgon é muito menos caro do que o hélio, por esta e outras vantagens; o árgon é muito usado na soldadura TIG.
- **Adequado para pequenas espessuras.** Por possuir baixa energia de ionização, pode ser soldado com baixas tensões e baixa entrega térmica, adequado para soldadura de peças de pequenas espessuras.
- **Forma e penetração do cordão.** O árgon tem uma condutividade térmica mais baixa do que o hélio, sendo o calor concentrado na área central do arco formando penetrações de aparência característica semelhante à mostrada na Figura 16.

Hélio

As características mais importantes do hélio são:

- Alta energia de ionização (24,5 eV)
- Alta condutividade para que a coluna de plasma seja ampla
- Densidade muito baixa

Portanto, as propriedades mais importantes do hélio são:

- Entrada de calor muito alta
- Cordões de solda largos e de alta penetração são obtidos
- A soldadura pode ser realizada a alta velocidade

Devido a essas características, as principais aplicações do hélio são:

- Soldadura de altas espessuras
- Soldadura automatizada em que altas velocidades podem ser usadas
- Soldadura de materiais de alta condutividade, por exemplo cobre, reduzindo a necessidade de pré-aquecimento
- Embora na soldadura de alumínio seja usado o gás árgon, o hélio pode ser usado na soldadura CC automatizada. O hélio produz maior penetração e velocidade de soldadura, mas para isso é necessário limpar a superfície dos óxidos.

No entanto, o hélio tem as seguintes desvantagens:

- Má estabilidade do arco em comparação ao árgon, devido à sua alta energia de ionização.
- Devido à sua baixa densidade, é necessária uma taxa de fluxo em torno de 2 a 2,5 vezes maior do que a necessária com o árgon. Isso significa que, em princípio, seja economicamente menos rentável, mas antes de descartar seu uso, deve haver um cálculo económico.

Frequentemente, o hélio é adicionado ao árgon para aumentar a penetração e a entrega de calor.

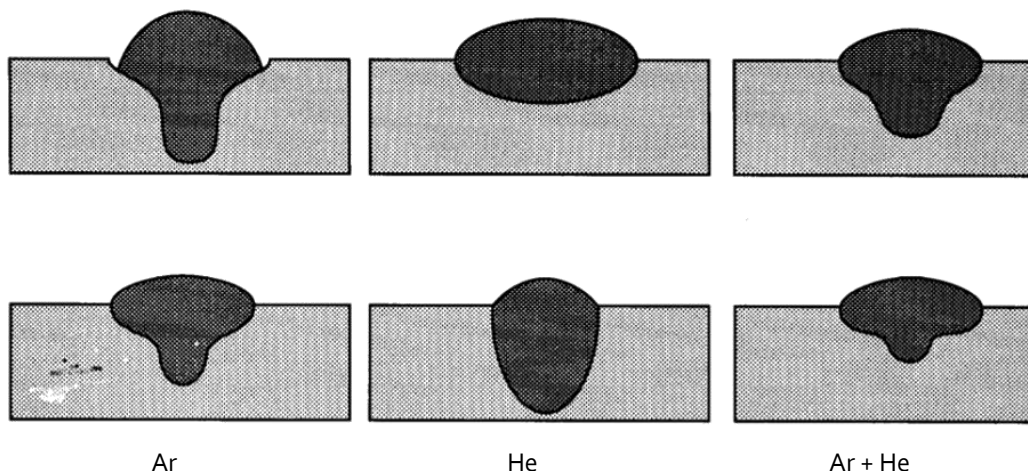


Figura 16. Forma do grânulo com base no gás de proteção

Misturas He / Ar

A mistura destes dois gases inertes fornece **benefícios adicionais sob a taxa em que cada um intervém.**

A penetração é intermédia entre as típicas de cada gás puro, conforme mostrado na figura 16.

14. Influência dos Parâmetros de Soldadura

Basicamente, os principais parâmetros que você deve controlar são os seguintes:

- Diâmetro do eletrodo.
- Seleção do tipo de corrente.
- Intensidade de soldadura.
- Comprimento do arco.
- Velocidade de soldadura.

É essencial que se tenha um entendimento claro da influência destes parâmetros antes de se iniciar qualquer soldadura. Recomendamos também que se realize testes em oficina com valores diferentes, para que se possa verificar por a informação que está a ser apresentada.

Diâmetro do eletrodo.

O primeiro parâmetro que se precisa de ajustar é o diâmetro do eletrodo.

O diâmetro determina a intensidade da soldadura. Se usarmos uma intensidade baixa para um determinado diâmetro de eletrodo, isso causará instabilidade do arco. Se pelo contrário usarmos uma intensidade excessiva podemos causar erosão e fusão da ponta do eletrodo, bem como inclusões de tungsténio no metal soldado.

Com corrente contínua, os elétrodos têm capacidade máxima de condução de corrente. Com corrente inversa, apenas 10% da quantidade que poderia ser conduzida nas condições acima pode ser aplicada. No caso de corrente alternada, podemos obter 50% da capacidade máxima de corrente.

Seleção do tipo de corrente.

O processo TIG pode ser usado com corrente contínua e alternada. A escolha de corrente e da polaridade é feita de acordo com o material a ser soldado. Para fazer essa escolha corretamente, destaca-se alguns aspetos de ambas as alternativas.

- **Arco de corrente contínua:**

Ao usar polaridade direta, ou seja, o eletrodo conectado ao polo negativo, a energia do arco é concentrada principalmente na peça, resultando num desempenho térmico relativamente aceitável, velocidade de soldadura mais rápida e boa penetração. Por outro lado, o eletrodo suporta intensidades de corrente 8 vezes maiores do que se estivesse conectado ao polo positivo, sem derreter ou deteriorar.

Se invertermos a polaridade, eletrodo ligado ao polo positivo, a distribuição térmica é menos favorável, o que se traduz em um banho relativamente amplo, com pouca penetração e uma acumulação excessiva de calor no eletrodo, o que provoca sobreaquecimento e rápida deterioração, inclusive com baixas intensidades de corrente. A polaridade recomendada em corrente contínua é a polaridade direta.

- **Arco de corrente alternada:**

A corrente alternada combina, embora reduzida, as vantagens das duas polaridades: o bom comportamento durante o meio ciclo de polaridade direta e o efeito de limpeza do banho durante o ciclo de polaridade inversa, para que possa ser utilizada na soldadura de ligas leves, como Al e Mg. Como principais desvantagens, apresenta dificuldades na iniciação e estabilidade do arco, o que torna necessária a incorporação de um gerador de alta frequência no equipamento.

Com a corrente alternada, o arco é desligado cada vez que a tensão for inferior à tensão de iniciação, duas vezes a cada ciclo. Para melhorar a estabilidade, devemos aumentar a tensão de vácuo. Para evitar este inconveniente, adiciona-se uma fonte de alta frequência.

Intensidade de soldadura.

A intensidade da corrente de soldadura é o único parâmetro que deve ser regulado no equipamento de soldadura, uma vez ajustada a polaridade. Deve-se sempre selecionar um valor de corrente conforme o indicado na especificação do procedimento de soldadura.

Quando se solda, há indicações que permitem saber se a intensidade que se está a usar é adequada:

- **Se a intensidade da soldadura for muito baixa**, observa-se:
 - Dificuldade de iniciação do arco,
 - que o arco emite pouca luz,
 - que é difícil avançar sem cortar o arco,
 - que o banho de fusão é desconfortavelmente pequeno,
 - que é difícil para a haste de material de adição derreter.
- **Se a intensidade da soldadura for muito alta**, observa-se:
 - que o arco é muito energético e emite muita luz,
 - que o banho de fusão é grande, fluido e tem uma grande agitação,
 - que aumenta o entalhe no passe de raiz,
 - que o banho de fusão tende a cair,
 - que projeções e respingos podem ocorrer (não é comum),
 - o elétrodo a derreter e inclusões de tungsténio aparecem no cordão.

Que problemas podem ocorrer se a intensidade de soldadura NÃO for adequada?

Como regra geral, um elétrodo não deve ser usado com correntes fora da gama recomendada pelo fabricante. Além das indicações descritas na seção anterior, que se pode observar durante a soldadura, também se pode encontrar defeitos no cordão de soldadura quando a intensidade não é adequada:

- **Se se soldou com uma intensidade muito baixa:**
 - O cordão ficará apertado e excessivamente volumoso, com possibilidade de fusão incompleta nos bordos, sobreposições, etc.
- **Se se soldou com uma intensidade muito alta:**
 - Na posição PA, o cordão tende a ser muito largo e plano e podem aparecer fendas nos bordos.
 - Na posição PB, PC e PD, o cordão tende a cair, deixando marcas na placa superior e sobreposições na parte inferior.
 - Na posição PF e PE, o cordão tende a cair em direção ao centro da solda, tornando-se volumoso na parte central e com fendas nas laterais. Na posição PE, o banho pode até cair.
 - A peça pode apresentar fissuras.
 - A peça pode apresentar excesso de penetração, relaxação e até perfurações na raiz.
 - A forma das águas terá um aspeto alongado, formando picos.

Comprimento do arco.

O comprimento do arco é um parâmetro que se deve controlar continuamente para obter a soldadura mais homogénea possível.

Qual comprimento de arco adequado?

O comprimento do arco depende principalmente do tipo de eletrodo e de seu diâmetro. Geralmente, deve ser igual ao diâmetro do eletrodo.

É conveniente manter sempre o mesmo comprimento de arco, a fim de evitar oscilações na tensão e na intensidade da corrente e com ela uma penetração desigual.

Quando o comprimento do arco utilizado não é adequado ou quando é modificado durante a soldadura (por exemplo, devido a um movimento do soldador ou falta de destreza), podem ocorrer defeitos no cordão.

Velocidade de soldadura

A velocidade de soldadura é outro parâmetro que o soldador deve controlar manualmente. Novamente, o soldador deve usar a velocidade de soldadura especificada no WPS. Normalmente é dado um intervalo, mas é essencial que o soldador mantenha uma velocidade uniforme.

Como a velocidade de soldadura influencia?

Quanto maior a velocidade de soldadura, menor a largura do cordão, menor a entrega de calor e mais rápido o arrefecimento da soldadura.

Se a velocidade for muito rápida, haverá fendas no cordão.

Orientação da tocha

A orientação do eletrodo pode ser definida por dois ângulos:

- **Ângulo de avanço:** é o ângulo que forma a tocha com a direção da solda. Cerca de 100°.
- **Ângulo de trabalho:** o ângulo formado pela tocha em relação às superfícies das peças que compõem a junta. Depende da geometria, numa junta de topo a topo mantém-se na vertical.

O soldador deve ter em consideração, em todos os momentos, que o arco elétrico possui um importante caráter direcional em relação ao fornecimento de energia.

15. Posições de Soldadura

O soldador deve saber identificar as diferentes posições de soldadura, definidas na norma UNE EN ISO 6947: 2011.

A Figura 2 mostra as posições principais, PA, PB, PC, PD, PE, PF e PG, bem como alguns exemplos típicos dessas posições. Essas posições são aplicáveis a chapas e tubos. Também é importante observar que as posições PB e PD são exclusivas de juntas angulares e não se aplicam a juntas de topo a topo.

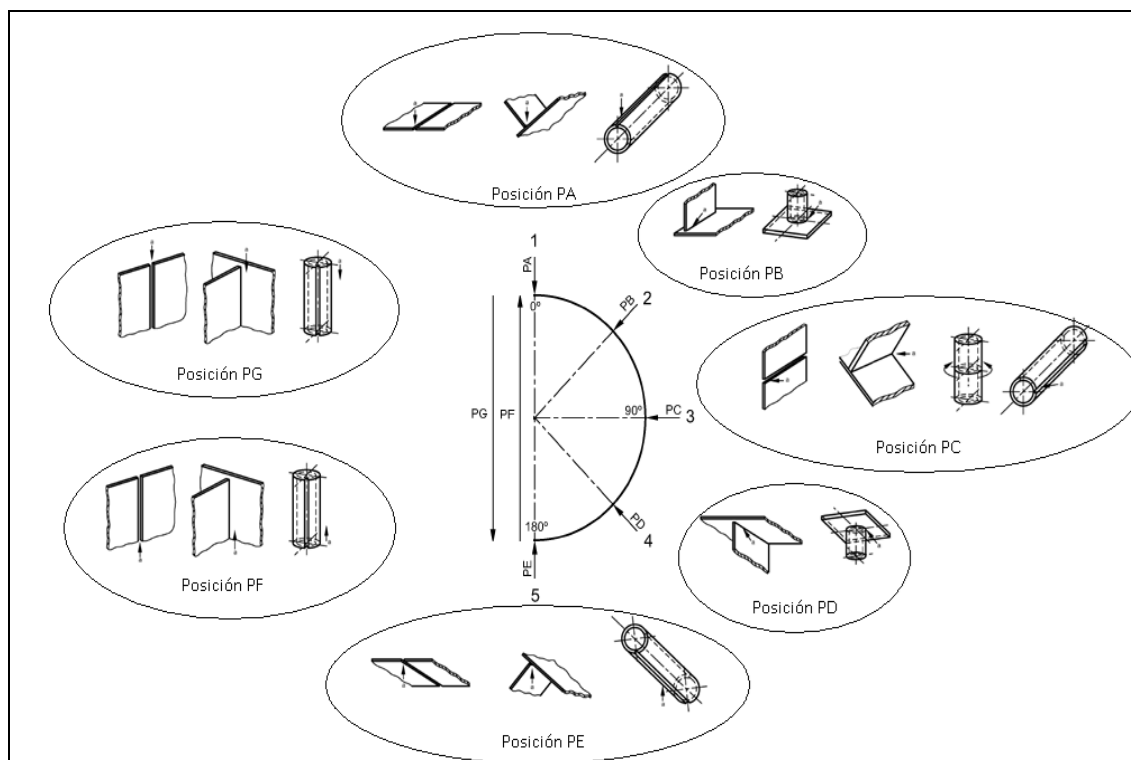


Figura 17: Principais posições de soldadura

Para além das anteriores, existem outras posições principais de soldadura que se aplicam exclusivamente a tubos e que são as posições PH (soldadura ascendente de tubos), PJ (soldadura descendente de tubos) e PK (soldadura orbital de tubos).

A Figura 18 mostra alguns exemplos dessas posições de soldadura.

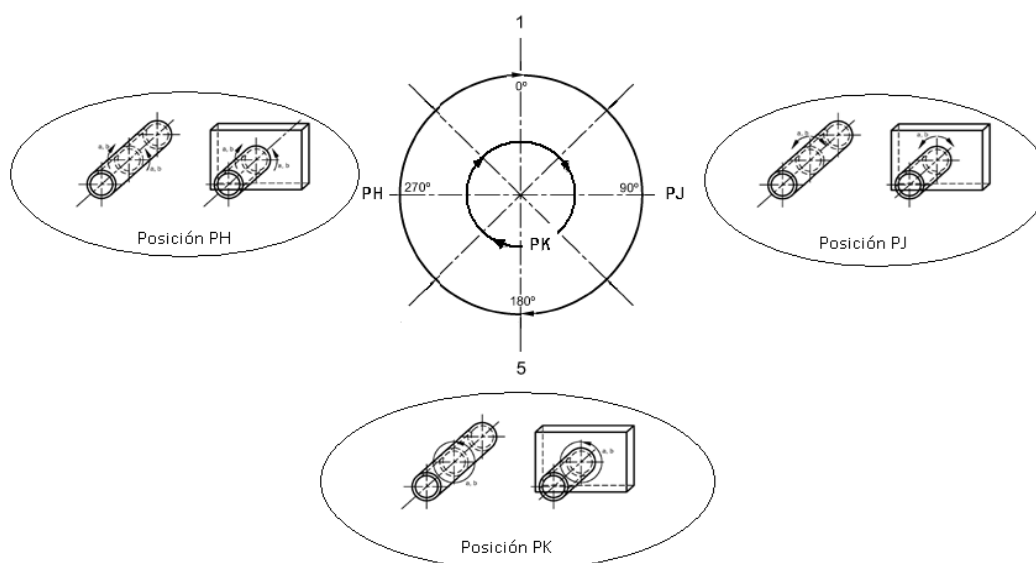


Figura 18: Principais posições de soldadura

A posição de soldadura é fundamental, pois é uma variável essencial na qualificação do soldador. Os soldadores precisam saber as posições de soldadura para ter certeza de que a qualificação que eles possuem obre as posições em que estão a soldar.

16. Saúde e Segurança em Soldadura TIG

A soldadura TIG acarreta os mesmos riscos que qualquer outro processo de soldadura a arco, que foram descritos em tópicos anteriores, além de outros riscos específicos deste processo e aos quais deve ser dada atenção especial.

16.1 Riscos relacionados com o Processo

Os principais riscos inerentes à soldadura TIG e que não estão presentes, ou estão presentes em menor grau que outros processos de soldadura, estão no aumento da radiação ultravioleta emitida pelo arco na soldadura TIG sobre outros processos de soldadura:

- A proteção ocular deve ser mais intensa porque o arco é mais radiante e a radiação ultravioleta mais intensa, de forma que os filtros devem ser mais escuros. As correntes dos cristais nº 6 a 30 amperes são usadas no nº 14 quando a corrente é maior que 400 amperes. Não deve usar cristais mais escuros do que o necessário.
- Um maior nível de radiação ultravioleta, maior formação de ozono e óxidos de nitrogênio, gases todos muito prejudiciais à saúde. Portanto, na soldadura TIG torna-se mais importante a proteção do sistema respiratório. Isso raramente é tido em conta, pois não gera uma quantidade excessiva de fumos, por isso muitas vezes assume-se, de forma errada, que para soldadura TIG não é necessário tomar medidas de proteção do aparelho respiratório do soldador.

16.2 Riscos relacionados com o manuseamento de Gases Comprimidos

O principal gás empregue na soldadura TIG é o árgon. Os riscos do manuseamento de gases comprimidos e as medidas de prevenção a serem tomadas para evitar tais riscos são:

- **Asfixia com gases inertes**, ou seja, quando a soldadura for realizada em espaços confinados, estes devem ser bem ventilados. Na impossibilidade de controlar o oxigénio atmosférico, a soldadura deve ser realizada com viseiras de soldadura com sistema de remoção de fumos.
- **Aprisionamento de gases no manuseamento de botijas.**

BIBLIOGRAFIA DA UNIDADE

- [1] General Course on Welding Technology. Training Fund-CESOL. Module 1 and 2. 1994.
- [2] Documentation of the course "European Welding Specialist". Modules 1 and 2. 1995.
- [3] UNE-EN ISO 6848:2005, Tungsten electrodes for arc welding in inert atmosphere with refractory electrode, and for welding and plasma cutting. Symbolization.
- [4] AWS A5.12-98: Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting.
- [5] AWS C5.5-03, Recommended Practices for Gas Tungsten Arc Welding.
- [6] AWS Z49.1-05, Safety in Welding, and Cutting and Allied Processes.

GLOSSÁRIO

Inclui os conceitos principais, novos e/ou complexos vistos na unidade, como um dicionário. Este tipo de recurso é importante especialmente quando o curso é destinado a alunos sem qualquer conhecimento da matéria. As entradas do glossário estão ordenadas por ordem alfabética.

- Amostra** – Exemplar de um teste sujeito a estudo e testes.
- Calibração** - Comparação de leituras de uma ferramenta de medição com uma medida padrão de modo a verificar a precisão de um instrumento.
- Conformidade** - Correspondência com padrões, regras ou leis.
- Escória** - Camada superficial presente na soldadura deixada pelo fluxo.
- Imperfeição** - Uma falha, defeito ou característica indesejável.
- Junta** - Junção de membros ou bordos de membros que devem ser unidos ou foram unidos.
- Junta de Suporte** - Material colocado na raiz da junta de soldadura que suporta o material soldado fundido.
- Manufatura** – O fabrico de artigos em larga escala usando maquinaria.
- Material de Adição** - Material a ser adicionado durante soldadura por fusão.

Metal/Material Base - É o material base da peça a ser soldada.

Modelo – Algo que é usado como padrão para produzir outras coisas semelhantes.

Passagem Final – Passagem final no entalhe de uma soldadura de passagens múltiplas.

Passe de Raiz – Uma passagem feita para produzir o primeiro cordão de soldadura.

Peça de Teste - Peças exemplares que representam uma peça a ser testada.

Procedimento – Uma série de ações conduzidas numa certa ordem ou maneira.

PTI – Plano de Teste de Inspeção

Remoção do Passo de Raiz- Remoção de material soldado e material base do lado da raiz da soldadura de modo a facilitar a fusão completa e penetração completa da junta de soldadura, soldando subsequentemente esse mesmo lado.

Salpicos – Gotículas de metal fundido geradas no ou perto do arco de soldadura.

Soldadura Oscilatória - Técnica de soldadura na qual a fonte de energia é oscilada transversalmente à medida que progride ao longo da trajetória de soldadura.

Soldadura por Fusão - A fusão conjunta de material de adição e material base, ou apenas de material base, de modo a produzir uma soldadura.

Subcontratação - Empregar uma empresa ou pessoa fora da empresa de uma certa entidade trabalhadora como parte de um projeto superior.

Temperatura Interpasse – Temperatura à qual passagens subsequentes são depositadas.

NDT – *Non-destructive Testing*, Testes não destrutivos

Tratamento Térmico - Uso de calor para alterar as propriedades do metal.

Valores de Dureza – Valor dado por um resultado de um teste de dureza (e.g. Vickers).

Quality Assurance in Welding

1.1 Nome do curso

Garantia de Qualidade em Soldadura

1.2 Duração do curso

5 horas

1.3 Finalidade do curso

Esta unidade é crucial para aprender como realizar um trabalho de soldadura que cumpra com todos os requisitos de qualidade. Desde imperfeições no material a ações de inspeção que levam à qualificação de um/a Soldador/a, esta Unidade cobre todas as normas específicas que permitem e garantem um bom trabalho de soldadura e, no geral, o sucesso do formando em Soldadura.

1.4 Objetivos do curso

Objetivos Gerais

- *Descrever normas específicas usadas em garantia da qualidade em soldadura para realizar uma boa soldadura,*
- *Interpretar uma Norma de Procedimento de Soldadura e um Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura para realizar um trabalho de soldadura compatível com todos os critérios,*
- *Inspecionar uma peça soldada usando as Normas específicas para identificar as imperfeições do material,*
- *Identificar provetes de teste e as suas ligações às normas de qualificação e validade.*

Objetivos Específicos

Conhecimentos	Aptidões	Responsabilidade e Autonomia
Descrever e explicar o papel e operacionalidade das Normas específicas sobre Qualidade em Soldadura: • ISO 3834 Grupo de Requisitos de Qualidade em Soldadura • ISO 9001:2015 – Sistemas de Gestão da Qualidade • ISO 14731:2019 – Coordenação de Soldadura – Tarefas e Responsabilidades	Usar termos e definições que sejam consistentes com a terminologia de Soldadura geralmente aceite como registada nas Normas de soldadura internacionais.	• Comunicar com outros, • Assumir responsabilidades no âmbito de tarefas de trabalho, dentro de um grupo de trabalho.

Descrever e explicar o papel da <i>Especificação de Procedimento de Soldadura e do Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura</i> para o nível de qualidade relativo a: • ISO 15607:2019 – Norma e qualificação de procedimentos de soldadura para materiais metálicos – Regras Gerais • ISO 15609-1:2019 – Norma e qualificação de procedimentos de soldadura para materiais metálicos – Norma de Procedimento de Soldadura – Parte1: Soldadura por Arco Elétrico • ISO 15614:2019 – Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Procedimento de Teste de Soldadura – Parte 1: Soldadura por Arco Elétrico e Gás de Aços e Soldadura por Arco Elétrico de Níquel e suas Ligas	• Identificar as regras gerais para a normalização e qualificação dos procedimentos de soldadura para materiais metálicos, • Compreender as terminologias e abreviaturas da Especificação de Procedimento de Soldadura, Preparação de trabalhos de acordo com a Especificação de Procedimento de Soldadura.	
• Identificar potenciais causas de defeitos em soldadura ou imperfeições antes da soldadura, e agir em consonância com os requisitos: • ISO 6520-1:2007 – Soldadura e Processos Similares – Classificação de Imperfeições Geométricas em Materiais Metálicos –	• Realizar inspeções pré-operacionais de acordo com as especificações dos fabricantes, • Identificar defeitos de soldadura e tomar ações corretivas.	

Parte 1: Soldadura por Fusão; • ISO 5817:2014- Soldadura – Juntas de Soldadura por Fusão em Aço, Níquel, Titânio e suas Ligas (Soldadura de vigas excluído) – Níveis de Qualidade das Imperfeições; • ISO 10042:2018 – Soldadura – Juntas de Soldadura por Arco Elétrico em Alumínio e suas Ligas – Níveis de Qualidade das Imperfeições.		
Descrever e explicar as normas para qualidade e coordenação de soldadura referentes a: • ISO 9606-1:2012 – Avaliação da Qualificação de Soldadores – Soldadura por Fusão – Parte 1: Aços	• Inspeccionar peças de trabalho soldadas em busca de defeitos (usar testes destrutivos), aplicando o controlo de qualidade, • Inspeccionar o produto final e a sua conformidade para com as normas, como refletido no desenho técnico ou no requisito de trabalho	

Conteúdos

1. Qualidade em Soldadura

1.1. Generalidades

1.1.1 Normalização e Atividades Relacionadas

1.2 Normas Específicas

1.2.1. ISO 3834 – (Requisitos de Qualidade para Soldadura)

1.2.1.1 ISO 3834 – Parte 1: 2005

1.2.1.2 ISO 3834 – Parte 2: 2005 e Parte 3:2005

1.2.1.3 ISO 3834 – Parte 4:2005

1.2.1.4 ISO 3834 – Parte 5:2015

1.2.1.4 ISO/TR 3834 – Parte 6:2007

1.2.2 ISO 9001:2015 – Sistemas de Gestão de Qualidade

- 1.2.2.1 (Contexto da Organização)
- 1.2.2.2 (Liderança)
- 1.2.2.3 (Planeamento)
- 1.2.2.4 (Suporte)
- 1.2.2.5 (Operações)
- 1.2.2.6 (Avaliação de Desempenho)
- 1.2.2.7 (Melhoria Contínua)

1.2.3 ISO 1473: 2019 – Coordenação de Soldadura – Tarefas e Responsabilidades

2. Especificações de Procedimento de Soldadura e Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura

2.1 Normas

2.1.1 ISO 15607:2019 – Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Regras Gerais

2.1.2 ISO 15609-1:2019 - Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Procedimento de Normalização de Soldadura – Parte 1: Soldadura por Arco Elétrico

2.1.3 ISO 15614-1:2017 - Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Procedimento de Teste de Soldadura – Parte 1: Soldadura por Arco Elétrico e Gás de Aços de Soldadura por Arco Elétrico de Níquel e suas Ligas

3. Imperfeições de Soldadura

3.1 ISO 6520-1:2007 - Soldadura e Processos Similares – Classificação de Imperfeições Geométricas em Materiais Metálicos – Parte 1: Soldadura por Fusão

3.2 ISO 5817:2014 - Soldadura – Juntas de Soldadura por Fusão em Aço, Níquel, Titânio e suas Ligas (Soldadura de vigas excluído) – Níveis de Qualidade das Imperfeições

3.3 ISO 10042:2018 - Soldadura – Juntas de Soldadura por Arco Elétrico em Alumínio e suas Ligas – Níveis de Qualidade das Imperfeições

4. Qualificação de Soldador e Inspeção

4.1 ISO 9606-1:2012- Avaliação da Qualificação de Soldadores – Soldadura por Fusão – Parte 1: Aços

1.6 Participantes

Características do aluno:	Competências técnicas básicas
---------------------------	-------------------------------

1.7 Condições de entrada

Grau de escolaridade exigido:	Alunos de escolas de EFP
Conhecimentos prévios necessários	Conhecimentos básicos em soldadura
Requisitos de idade:	16 e 20 anos

1.8 Atividades de avaliação

Avaliação contínua: nada necessário

1.9 Bibliografia (usada ou suplementar)

Institute of Risk Management (2019). About Risk Management. (www.theirm.org) Date of consultation: July, 2019

ISO (2003). ISO 15607:2003 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — General rules. (<https://www.iso.org/standard/28388.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-1:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35144.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-2:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 2: Comprehensive quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35145.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-3:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 3: Standard quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35146.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-4:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 4: Elementary quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35147.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2007). ISO 6520-1:2007 – Welding and allied processes -- Classification of geometric imperfections in metallic materials -- Part 1: Fusion welding. (<https://www.iso.org/standard/40229.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2012). ISO 9606-1:2012 Qualification testing of welders -- Fusion welding -- Part 1: Steels. (<https://www.iso.org/standard/54936.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). ISO 5817:2014 - Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). ISO 5817:2014 Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). ISO 3834-5:2015 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 5: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4. (<https://www.iso.org/standard/63729.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. (<https://www.iso.org/standard/62085.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2017). ISO 15614-1:2017 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys. (<https://www.iso.org/standard/51792.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2018). ISO 10042:2018 - Welding — Arc-welded joints in aluminium and its alloys — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/70566.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2019). ISO 15609-1:2019 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure specification — Part 1: Arc welding. (<https://www.iso.org/standard/75556.html>). Date of consultation: July, 2019

Lexico Dictionaries (2019). Definition of the word “Quality” in English. (<https://www.lexico.com/en/definition/quality>). Date of consultation: July, 2019

Wikipedia (2019). Picture of SS Schenectady. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/SS_Schenectady. Date of consultation: July, 2019

UNIDADE NÚMERO: Unidade Didática 3

TÍTULO DA UNIDADE: *Garantia de Qualidade em Soldadura*

APRESENTAÇÃO DA UNIDADE

Esta unidade é crucial para aprender como realizar um trabalho de soldadura que cumpra com todos os requisitos de qualidade. Desde imperfeições no material a ações de inspeção que levam à qualificação de um/a Soldador/a, esta Unidade cobre todas as normas específicas que permitem e garantem um bom trabalho de soldadura e, no geral, o sucesso do formando em Soldadura.

OBJETIVOS

Os objetivos da unidade de ensino são:

- *Descrever normas específicas usadas em garantia da qualidade em soldadura para realizar uma boa soldadura,*
- *Interpretar uma Norma de Procedimento de Soldadura e um Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura para realizar um trabalho de soldadura compatível com todos os critérios,*
- *Inspecionar uma peça soldada usando as Normas específicas para identificar as imperfeições do material,*
- *Identificar provetes de teste e as suas ligações às normas de qualificação e validade.*

ÍNDICE

1. Qualidade em Soldadura

1.1. Generalidades

1.1.1 Normalização e Atividades Relacionadas

1.2 Normas Específicas

1.2.1. ISO 3834 – (Requisitos de Qualidade para Soldadura)

1.2.1.1 ISO 3834 – Parte 1: 2005

1.2.1.2 ISO 3834 – Parte 2: 2005 e Parte 3:2005

1.2.1.3 ISO 3834 – Parte 4:2005

1.2.1.4 ISO 3834 – Parte 5:2015

1.2.1.4 ISO/TR 3834 – Parte 6:2007

1.2.2 ISO 9001:2015 – Sistemas de Gestão de Qualidade

1.2.2.1 (Contexto da Organização)

- 1.2.2.2 (Liderança)
- 1.2.2.3 (Planeamento)
- 1.2.2.4 (Suporte)
- 1.2.2.5 (Operações)
- 1.2.2.6 (Avaliação de Desempenho)
- 1.2.2.7 (Melhoria Contínua)

1.2.3 ISO 1473: 2019 – Coordenação de Soldadura – Tarefas e Responsabilidades

2. Especificações de Procedimento de Soldadura e Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura

2.1 Normas

2.1.1 ISO 15607:2019 – Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Regras Gerais

2.1.2 ISO 15609-1:2019 - Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Procedimento de Normalização de Soldadura – Parte 1: Soldadura por Arco Elétrico

2.1.3 ISO 15614-1:2017 - Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Procedimento de Teste de Soldadura – Parte 1: Soldadura por Arco Elétrico e Gás de Aços de Soldadura por Arco Elétrico de Níquel e suas Ligas

3. Imperfeições de Soldadura

3.1 ISO 6520-1:2007 - Soldadura e Processos Similares – Classificação de Imperfeições Geométricas em Materiais Metálicos – Parte 1: Soldadura por Fusão

3.2 ISO 5817:2014 - Soldadura – Juntas de Soldadura por Fusão em Aço, Níquel, Titânio e suas Ligas (Soldadura de vigas excluído) – Níveis de Qualidade das Imperfeições

3.3 ISO 10042:2018 - Soldadura – Juntas de Soldadura por Arco Elétrico em Alumínio e suas Ligas – Níveis de Qualidade das Imperfeições

4. Qualificação de Soldador e Inspeção

4.1 ISO 9606-1:2012- Avaliação da Qualificação de Soldadores – Soldadura por Fusão – Parte 1: Aços

Bibliografia

DESENVOLVIMENTO DE CONTEÚDOS

SECÇÃO 1. Qualidade em Soldadura

SUB- SECÇÃO: 1.1. Generalidades

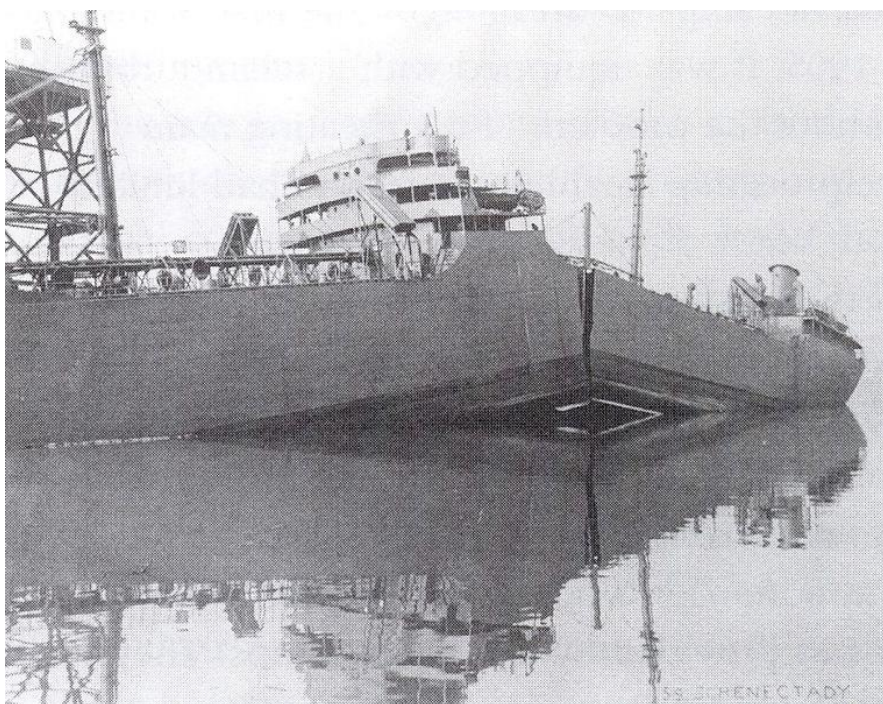
Qualidade é um conceito que acompanha a produção há muito tempo. É um tópico muito importante, uma vez que dita as especificações de como as juntas de soldadura se devem apresentar/comportar.

Qualidade, por definição, significa “a normalização de algo medido comparado a outras coisas similares; o grau de excelência de algo.” (in Lexico Dictionaries, 2019).

As consequências da falta de qualidade podem variar desde uma simples perda de “beleza” da peça a uma falha catastrófica do sistema inteiro que depende dessa peça. A soldadura também pode ser definida como um “processo especial” que, de acordo com a norma ISO 9000, se refere a processos cuja qualidade não pode ser prontamente ou economicamente verificada no fim do processo de fabrico. Por esta razão é importante estabelecer medidas de controlo e garantia de qualidade durante o processo de soldadura.

Para garantir a eficácia do controlo de qualidade, um plano de testes de inspeção (PTI) deve ser desenvolvido e implementado. As atividades do PTI incluem verificação documental e também ensaios destrutivos e não-destrutivos.

O/A soldador/a também desempenha um papel muito importante neste processo, dando provas das suas qualificações/experiência necessária para garantir uma boa soldadura e prevenir possíveis falhas no futuro.



Fonte: Wikipedia

Na imagem anterior é possível ver o petroleiro “SS Schenectady T2” naufragado. A causa do naufrago foi a localização de um defeito de soldadura numa zona de concentração de tensões. A rutura aconteceu enquanto o petroleiro estava atracado no cais de equipamentos, na zona de construção em Portland, após realizar os seus testes em mar.

SUB-SECÇÃO 1.1.1. Normalização e Atividades Relacionadas

Normalização é o processo de criação de normas que orientem a criação de um bem ou serviço baseado no consenso de todas as partes relevantes ligadas à indústria. As normas garantem que os produtos e serviços produzidos numa indústria específica vêm com qualidade consistente e são equivalentes a outros produtos e serviços da mesma indústria.

O objetivo da normalização é garantir a uniformidade de certas práticas dentro da indústria. A normalização concentra-se no processo de criação de produtos, operacionalização de negócios, tecnologia em uso, e como são distribuídos processos obrigatórios específicos.

Na sua essência, uma norma é uma forma estipulada de fazer algo. Pode ser sobre fazer um produto, gerir um processo, entregar um serviço ou fornecer materiais - as normas podem abranger uma larga variedade de atividades levadas a cabo por organizações e aplicadas pelos seus clientes.

As normas são a concentração das experiências das pessoas sobre o tema em questão e quem sabe as necessidades das organizações que representam – pessoas como os fabricantes, vendedores, compradores, clientes, associações de comércio, utilizadores e regulamentadores. As normas são conhecimento. São ferramentas poderosas que podem ajudar a orientar a inovação e aumentar a produtividade. Elas podem tornar as organizações mais bem-sucedidas e o quotidiano das pessoas mais fácil, seguro e saudável.

SUB-SECÇÃO: 1.2. Normas Específicas

Nos seguintes subcapítulos discutem-se as três normas de requisitos de qualidade: as séries ISO 3834, ISO 9001 e ISO 14731.

SUB-SECÇÃO: 1.2.1. ISO 3834:2005 *Requisitos de Qualidade em Soldadura*

A série ISO 3834 fornece os requisitos de qualidade aplicáveis a processos de soldadura de materiais metálicos por fusão. Estes requisitos podem, contudo, ser adotados por outros processos de soldadura. Eles relacionam-se apenas com aspetos relativos à qualidade de produto, não sendo alocados a um grupo de produtos específicos. Também oferece orientações para avaliar a capacidade de soldadura de um fabricante.

A norma está dividida em 5 normas e 1 relatório técnico (parte 6):

- Critério de seleção do nível apropriado dos requisitos de qualidade,
- Requisitos de qualidade compreensivos,
- Requisitos de qualidade normalizados,
- Requisitos de qualidade elementares,
- Documentação aplicável,
- Diretriz para implementação da ISO 3834.

A primeira parte é usada para escolher entre requisitos de qualidade – segunda, terceira e quarta partes (sendo a segunda a mais rigorosa, depois a terceira e por fim a quarta) – o que contém os requisitos de qualidade da norma, em diferentes níveis de qualidade. A quinta parte contém os documentos necessários para ir de encontro dos requisitos de qualidade, definidos em diferentes partes das séries da norma (partes dois, três e quatro). A sexta parte é um relatório técnico que pretende ajudar na implementação da norma.

Esta série da norma define os requisitos de qualidade necessários para atingir um certo nível de qualidade para uma certa construção soldada. Pode ser usada em situações contratuais (na especificação de requisitos de qualidade), por fabricantes (no estabelecimento e manutenção de requisitos de qualidade para a soldadura), por códigos de manufatura elaborados por comités (na especificação de requerimentos de qualidade da soldadura), ou por organizações que avaliam o desempenho da qualidade (e.g. clientes).

Se o critério para um dos níveis for atingido, assume-se que todos os outros critérios de níveis inferiores também o foram (e.g. se a produção estiver conforme a norma ISO 3834-2, também está conforme a norma ISO 3834-3 e ISO 3834-4).

SUB-SECÇÃO: 1.2.1.1 ISO 3834 - Parte 1:2005

Optar por que parte da norma a escolher para consultar deve ser feito com base nos seguintes tópicos, relacionados com o produto:

- Extensão e importância da criticidade de segurança do produto,
- Complexidade de fabrico,
- Variedade de produtos a produzir,
- Variedade de materiais usados,
- Dimensão de possíveis problemas metalúrgicos,
- Dimensão de imperfeições de fabrico, e.g. desalinhamentos ou distorção, efeitos no desempenho do produto.

SUB-SECÇÃO: 1.2.1.2 ISO 3834- Parte 2:2005 e Parte 3:2005

Estas partes da norma incluem (respetivamente) a compreensão e normalização dos requisitos para soldadura por fusão de materiais metálicos em oficinas e instalações. Fornece orientações baseadas nos seguintes requisitos:

- Propriedades dos materiais base e da junta soldada,
- Qualidade e aceitação dos requerimentos para soldadura,
- Localização, acessibilidade e sequência de soldadura, incluindo as soldaduras para inspeção e ensaios não destrutivos,
- A especificação de procedimentos de soldadura, incluindo ensaios não destrutivos e procedimentos de tratamentos térmicos,
- A abordagem a aplicar na qualificação dos procedimentos de soldadura,
- A qualificação das pessoas envolvidas,
- Seleção, identificação e/ou rastreamento do processo,
- Acordos de controlo de qualidade, incluindo qualquer envolvimento de entidades de inspeção,

- Inspeção e ensaios,
- Subcontratação,
- Tratamentos térmicos após a soldadura,
- Outros requisitos de soldadura, e.g. concentração de ferrite no metal soldado,
- Uso de métodos especiais, e.g. atingir penetração completa sem suporte na junta quando se solda de um só lado,
- Dimensões e detalhes da preparação da junta e soldadura completa,
- Soldaduras que podem ser feitas na oficina, ou noutro local,
- Condições ambientais relevantes à aplicação do processo (e.g. necessidade de fornecer proteção contra condições meteorológicas adversas),
- Manuseamento de não conformidades of welding procedures, non-destructive testing procedures and heat-treatment procedures,
- The approach to be used for the qualification of welding procedures,
- The qualification of personnel,
- Selection, identification and/or traceability of the process,
- Quality-control arrangements, including any involvement of an inspection body,
- Inspection and testing,
- Sub-contracting,
- Post-weld heat treatment,
- Other welding requirements, e.g. ferrite content of weld metal,
- Use of special methods, e.g. to achieve full penetration without backing when welded from one side only,
- Dimensions and details of joint preparation and completed weld,
- Welds which are to be made in the workshop, or elsewhere,
- Environmental conditions relevant to the application of the process (e.g. necessity to provide protection against adverse weather conditions),
- Handling of non-conformances.

SUB-SECÇÃO: 1.2.1.3 ISO 3834 - Parte 4:2005

Esta parte da norma inclui os requisitos elementares para soldadura por fusão de materiais metálicos. Fornece orientações baseadas nos requisitos do processo, como:

- Subcontratação,
- Qualificação de soldadores,
- Inspeção e qualificação de entidades que realizam os testes,
- Estado do equipamento,
- Técnicas de soldadura e disponibilidade de consumíveis,

- Não conformidade e ações corretivas,
- Período e retenção dos registos de qualidade,
- Inspeção e ensaios.

SUB-SECÇÃO: 1.2.1.4 ISO 3834 - Parte 5:2015

Esta parte da norma fornece informação sobre que documentos ISO são necessários à aplicação de normas no grupo ISO 3834.

SUB-SECÇÃO: 1.2.1.5 ISO/TR 3834 - Parte 6:2007

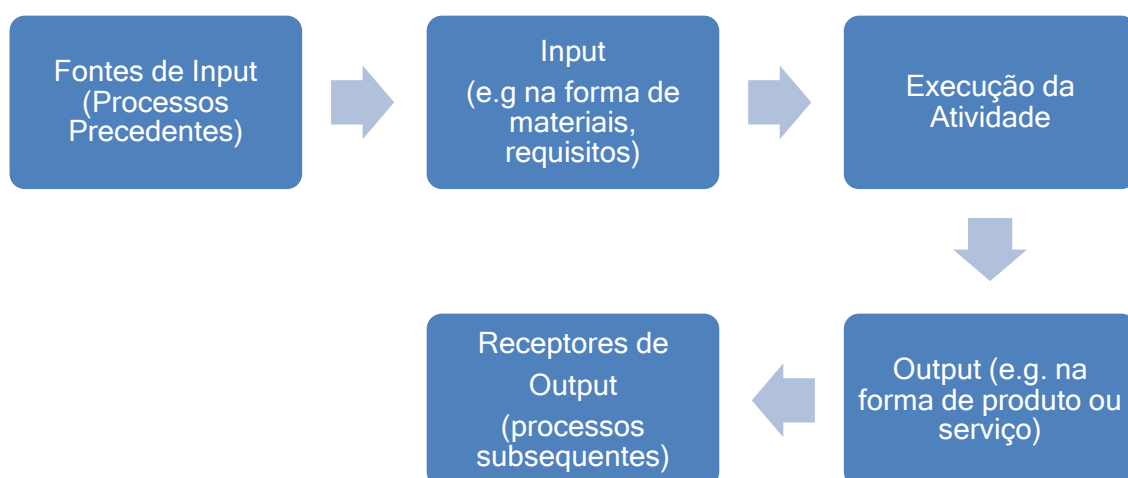
Esta secção diz respeito às orientações para implementação dos requisitos nas partes 2, 3 e 4 da ISO 3834. É pretendido que se auxilie os fabricantes na implementação de partes relevantes da ISO 3834.

SUB-SECÇÃO: 1.2.2. ISO 9001:2015 *Sistema de Gestão de Qualidade*

Esta norma refere os requisitos para um sistema de gestão da qualidade de uma empresa (gestão de toda a empresa). Pode ser empregue por organizações de todas as dimensões. A ISO 9001 pode ser dividida em sete principais grupos de requisitos:

- Contexto da organização,
- Liderança,
- Planeamento,
- Suporte
- Operação
- Avaliação do Desempenho,
- Melhoria contínua.

A figura seguinte, baseada na ISO 9001, mostra os passos necessários para implementar um projeto/atividade. De notar que todas estas as fases podem ser usadas para controlar/medir a qualidade e desempenho.



SUB-SECÇÃO: 1.2.2.1 ISO 9001 (Contexto da Organização)

Esta secção define os passos necessários às bases do sistema de gestão de qualidade da ISO 9001. Requer que a organização identifique os seus pontos fortes e as suas fragilidades, necessidades e expectativas, e que através do processo de abordagem se determine os processos da ISO 9001. É necessário que o sistema de gestão da qualidade seja implementado, mantido e continuamente melhorado.

A documentação neste sistema deve incluir procedimentos e instruções de trabalho, de modo a garantir o controlo eficaz de todos os processos. Devem também estabelecidos registos de modo a fornecer provas de uso e manutenção apropriada da ISO 9001.

Dica: Uma vez que esta norma depende de documentação própria, é aconselhado o uso de templates para alinhar os procedimentos.

SUB-SECÇÃO: 1.2.2.2 ISO 9001 (Liderança)

Esta secção incide sobre o envolvimento da gestão de topo no sistema de gestão da qualidade, e resume as suas várias responsabilidades (ISO 9001), tal como a sua integração do sistema nos processos operacionais da empresa.

A gestão de topo deve assumir a liderança no que se refere ao foco no cliente (determinando os requisitos do cliente e os riscos associados, e abordá-los, mantendo o foco na satisfação do cliente).

Por último, a norma indica que a gestão de topo é responsável pelo sistema de gestão de qualidade. Um representante da ISO 9001 pode, no entanto, ser destacado.

SUB-SECÇÃO: 1.2.2.3 ISO 9001 (Planeamento)

Esta secção da norma refere-se ao planeamento de operações, como o título sugere.

Primeiramente, aborda a forma como a organização deve interagir na gestão de riscos (compreender, analisar e abordar o risco para que a organização alcance os seus objetivos).

Em segundo lugar, devem estabelecer-se objetivos de qualidade assim como planos para os alcançar.

Por último, esta secção da norma refere-se às mudanças no planeamento, a serem efetuadas de forma sistemática.

SUB-SECÇÃO: 1.2.2.4 ISO 9001 (Suporte)

Esta secção refere-se às funções das operações de suporte/apoio, tal como os recursos, competências/formação, comunicação e documentação.

Em primeiro lugar, indica que a empresa deve determinar e fornecer, de forma atempada, os recursos necessários para implementar e melhorar os processos do sistema de gestão da qualidade. Estes recursos incluem os recursos humanos (pessoas), bem como as suas competências, e a formação necessária para alcançar as competências necessárias.

Depois, as infraestruturas necessárias para alcançar a conformidade de produtos/serviços devem ser identificadas, fornecidas e mantidas.

Equipamento, maquinaria, e ambiente de trabalho também devem ser mantidos. Os dispositivos de medição devem ser especialmente cuidados e calibrados.

O conhecimento organizacional (e.g. melhores práticas) deve ser determinado, mantido e partilhado. Mais importante, a empresa deve ter os canais de comunicação internos e externos devidamente estabelecidos.

Por último, deve assegurar que as pessoas certas têm ao seu dispor a versão atualizada da documentação correta a utilizar. Devem ser mantidos registos das várias atividades realizadas.

SUB-SECÇÃO: 1.2.2.5 ISO 9001 (Operações)

Esta secção aborda os requisitos para os processos necessários para atingir o produto ou serviço pretendido.

Ela coloca ênfase na forma como a empresa compreende, comunica e responde aos requisitos do cliente, e o caminho que deve seguir em caso de mudança. Afirma que a conceção e as revisões do desenvolvimento, bem como a verificação e validação, devem ser planeadas logo no início do processo.

Também especifica o controlo da produção atual e o serviço de aprovisionamento, deste instruções de trabalho às inspeções do controlo de qualidade.

Esta secção da norma também aborda a não conformidade do output com os requisitos.

SUB-SECÇÃO: 1.2.2.6 ISO 9001 (Avaliação de Desempenho)

Esta parte da norma aborda a medição e a avaliação de desempenho.

Ela discute a definição, planeamento e implementação das medidas e das atividades de monitorização necessárias para assegurar a conformidade e a melhoria do desempenho.

Também se foca na análise de dados resultantes das atividades, e auditorias internas sistemáticas para compreender se o sistema da ISO 9001 está a funcionar como planeado.

Por último, também aborda as revisões de gestão, que devem cobrir um largo conjunto de tópicos relacionados com a ISO 9001, desde a satisfação do cliente ao desempenho do fornecedor. Isto resulta em decisões e ações relacionadas com melhorias, mudanças e recursos necessários.

SUB-SECÇÃO: 1.2.2.7 ISO 9001 (Melhoria Contínua)

Esta secção da norma requer que a empresa identifique oportunidades para melhorar.

Ela incide sobre a necessidade de melhoria tanto ao nível dos produtos como ao nível dos serviços tendo em vista as tendências atuais e futuras do mercado. Também especifica que a não conformidade deve ser controlada e corrigida, se possível.

Por fim, os processos de melhoria contínua do Sistema de gestão de qualidade devem ser planeados e geridos, usando a informação recolhida nas secções anteriores.

SUB-SECÇÃO: 1.2.3. ISO 14731:2019 Coordenação de Soldadura – Tarefas e Responsabilidades

Esta Norma Internacional identifica as responsabilidades ligadas à qualidade e as tarefas inerentes à coordenação de atividades relacionadas com a soldadura.

De acordo com a ISO 3834, estas atividades incluem: revisão dos requisitos, revisão técnica, adequação da subcontratação, qualificação de soldadores, revisão de equipamento, planeamento da produção, qualificação dos procedimentos de soldadura, especificações dos procedimentos de soldadura, emissão das instruções de trabalho, revisão dos consumíveis de soldadura, revisão de materiais, inspeção e testes antes, durante e após a soldadura, não conformidade e ações corretivas, calibração e validação da medição, equipamento de inspeção e de testes, identificação e rastreamento, e finalmente preparação de registos de qualidade e manutenção.

Todas estas atividades podem ser associadas a algumas tarefas/responsabilidades, tais como:

- Especificação e preparação;
- Controlo;
- Inspeção;
- Verificação e testemunho.

Em ocasiões em que coordenação da soldadura é realizada por mais do que uma pessoa, as tarefas e responsabilidades devem ser alocadas de modo apropriado, de tal forma que as responsabilidades sejam claramente definidas e a qualificação para cada tarefa específica seja assegurada. Esta coordenação é a única responsabilidade do fabricante, que nomeia um/a coordenador/a.

Esta norma também especifica que é necessário haver uma descrição precisa do trabalho para os coordenadores, que deve incluir as suas tarefas e responsabilidades.

As tarefas devem ser atribuídas de acordo com a informação do Anexo B da norma.

As responsabilidades devem ser identificadas em linha com:

- A posição na organização de fabrico e respetivas responsabilidades;
- A extensão da autorização concedida aos coordenadores para aceitarem as tarefas atribuídas através de uma assinatura, em nome da organização de fabrico, necessária afim de cumprir com essas tarefas (e.g em especificações de procedimentos e relatórios de supervisão);
- A extensão de autorização concedida para que levem a cabo as tarefas atribuídas.

Por fim, esta norma também inclui o tópico do conhecimento técnico, especificando que os coordenadores devem ser capazes de demonstrar o seu conhecimento de modo a assegurar um desempenho satisfatório das tarefas. A extensão da experiência/formação/conhecimento necessário deve ser decidida pela organização fabricante e deve depender nas tarefas/responsabilidades atribuídas. Por exemplo, no que concerne ao Pessoal de Coordenação de Soldadura, há que ter em conta os níveis de conhecimento, que variam entre compreensivo, específico e básico.

SECÇÃO 2. Especificações de Procedimento de Soldadura e Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura

Tanto as Especificações de Procedimento de Soldadura (também referido como *WPS - Welding Procedure Specification*) como o Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura (também referido como *WPQR - Welding Procedure Qualification Record*) desempenham um papel crucial numa junta soldada porque é através deles que se assegura o nível de qualidade exigido.

As Especificações de Procedimento de Soldadura têm o mesmo papel para um/a soldador/a que uma receita tem para um cozinheiro. Elas permitem ao/à soldador/a (com conhecimentos suficientes em soldadura) realizar soldaduras de qualidade, como especificado, as vezes que forem necessárias.

O Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura compreende toda a informação necessária para a qualificação das Especificações de Procedimento de Soldadura preliminares (ou *pWPS – preliminary Welding Procedure Specification*), a serem abordadas nesta secção.

SUB-SECÇÃO: 2.1. Normas

Três normas devem ser referidas quando se abordam estes dois tópicos: ISO 15607:2019, ISO 15609-1:2019 e ISO 15614-1:2017.

SUB-SECÇÃO: 2.1.1 ISO 15607:2019 Especificações e Qualificações de Procedimentos de Soldadura para Materiais Metálicos – Regras Gerais

A norma ISO 15607 define as regras gerais para a especificação e qualificação de processos de soldadura para materiais metálicos. Ela fornece informações acerca das Especificações de Procedimento de Soldadura e dos Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura, assim como informações sobre a que normas se referir.

Primeiro, esta norma indica que uma Especificação de Procedimento de Soldadura preliminar deve ser elaborada pelo fabricante e que é aplicável às produções atuais com base na experiência adquirida nas produções anteriores.

Depois, que o Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura é feito utilizando um dos quatro métodos de qualificação possíveis, cada um com a sua respetiva aplicação:

- Teste de procedimento de soldadura, que pode ser aplicado sempre, exceto quando o teste de procedimento não corresponde à geometria da junta, limites ou acessibilidade das soldaduras. Estes testes são especificados na norma ISO 15614;
 - Consumíveis de soldadura testados, que são limitados a procedimentos de soldadura que fazem uso de consumíveis. Outras limitações a este método podem ser encontradas na norma ISO 15610;
 - Experiência prévia em soldadura, limitada a procedimentos usados com frequência no passado, em aspetos, juntas e materiais comparáveis. Os requisitos deste método são abordados de forma mais alargada na norma ISO 15611;
 - Procedimento de soldadura padronizado, que é como um “teste de procedimento de soldadura”, cujas limitações são especificadas na norma ISO 15612;
 - Teste de pré-produção de soldadura, cujo princípio pode ser sempre aplicado, mas requer o fabrico de uma peça teste sob condições de produção (tal como explicado na norma ISO 15613)
 - Especificação e Qualificação de Procedimentos de Soldadura para Materiais Metálicos – Qualificação baseada no teste de soldadura de pré-produção.
- Estas qualificações são válidas indefinidamente, a menos que seja especificado de outra forma.

SUB-SECÇÃO: 2.1.2 ISO 15609-1:2019 *Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Procedimento de Normalização de Soldadura – Parte 1: Soldadura por Arco Elétrico*

Esta norma especifica o conteúdo que deve figurar numa Especificação de Procedimento de Soldadura para processos de soldadura por arco elétrico.

Ela indica o que uma Especificação de Procedimento de Soldadura deve conter:

- Identificação do fabricante;
- Identificação da Especificação de Procedimento de Soldadura;
- Referência ao Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura;
- Designação do(s) material(ais) e normas de referência;
- Dimensão dos materiais;
- Variação da espessura da junta;
- Variação do diâmetro externo para tubos;
- Processos de soldadura usados de acordo com a norma EN ISO 4063 (Soldadura e processos da mesma família – nomenclatura dos processos e números de referência);
- Esboço do projeto/configuração da junta e dimensões ou referência a normas que forneçam essa informação;
- Sequências de passagens de soldaduras dadas ao esboço inicial se essencial às propriedades da soldadura;
- Posições de soldadura aplicáveis, em linha com a norma EN ISO 6947;
- Métodos de preparação da junta, limpeza, desengorduramento, incluindo métodos a usar;
- *Jigging*, fixações e pingo de soldadura;
- Soldadura oscilatória se aplicável:
 - Para soldadura manual: largura máxima da passagem
 - Para soldadura mecânica ou automática: oscilação máxima, frequência e tempo de espera da oscilação máximos;
- Tocha, eletrodo e/ou ângulo de fio;
- Remoção do passe de raiz:

- O método a ser usado, profundidade e geometria
- O método e tipo de junta de suporte, material da junta de suporte e dimensões (para gás de suporte, gás de acordo com a norma ISO 14175);
- Consumíveis de soldadura:
 - Designação, fabrico, dimensões e manuseamento;
- Tipo de corrente elétrica;
- Detalhes de soldadura pulsada, se aplicável;
- Gama de correntes;
- Soldadura mecanizada e automática
 - Gama de velocidades de soldadura, gama de velocidades de alimentação de fio;
- Temperatura mínima aplicada no início e durante a soldadura;
- Temperatura máxima e, se necessário, mínima;
- Temperatura mínima na zona de soldadura, que deve ser mantida caso a soldadura seja interrompida;
- Pós-aquecimento para libertação de hidrogénio
 - Gama de temperaturas,
 - Tempo de espera mínimo;
- Tempo mínimo e gama de temperaturas para tratamentos após soldadura ou envelhecimento, ou referência às respetivas normas;
- Gás de proteção
 - Designação de acordo com a norma ISO 14175:2008 e, sempre que aplicável, a composição, fabricante e nome comercial;
- Gama de inputs térmicos (se especificado).

Esta norma também inclui informação sobre alguns parâmetros específicos do processo para os seguintes processos: soldadura manual de metais por arco elétrico, soldadura por arco elétrico submerso, soldadura por arco elétrico com gás de proteção, soldadura por arco elétrico com eletrodo não consumível e gás de proteção, soldadura por plasma.

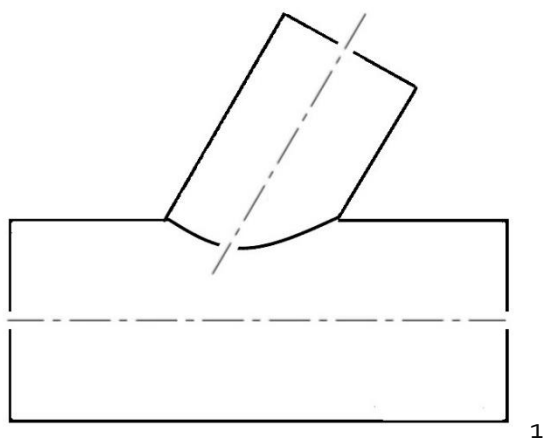
SUB-SECÇÃO: 2.1.3 ISO 15614-1:2017 Especificações e Qualificações de Processos de Soldadura para Materiais Metálicos – Procedimento de Teste de Soldadura – Parte 1: Soldadura por Arco Elétrico e Gás de Aços e Soldadura por Arco Elétrico de Níquel e suas Ligas

Esta norma especifica a forma como a Especificação de Procedimento de Soldadura preliminar (ou pWPS) é qualificada pelos testes de procedimento de soldadura com gás e arco elétrico de aços e soldadura por arco elétrico de níquel e as suas ligas, em todas as formas de produto. Ela indica quer “São dados dois níveis de testes de procedimento de soldadura de modo a permitir a aplicação a uma vasta gama de fabrico por soldadura”. Estes níveis designam-se Nível 1 e Nível 2, sendo que o Nível 1 se baseia nos requisitos da ASME (Secção XI – Qualificações de Soldadura) e o Nível 2 em aspetos anteriores desta norma. O Nível 2 qualifica automaticamente o Nível 1 (sendo que o contrário não se aplica). No Nível 2, a extensão dos testes é superior, e as gamas de qualificação são mais restritas que as do Nível 1. Todos os requisitos de nível 2 são aplicáveis quando nenhum nível é especificado no contrato ou norma de aplicação.

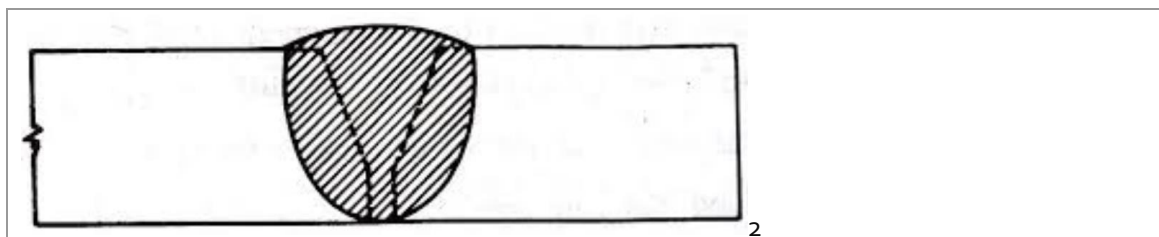
A norma ISO 15614-1:2017 refere que uma peça (ou peças) de teste normalizada deve ser feita primeiro para representar a junta de soldadura em questão. A norma ISO 15613:2004 deve ser consultada quando nenhuma peça de teste normalizada represente os requisitos geométricos de produção/da junta.

Estas peças de teste devem ser preparadas de acordo com os seguintes passos:

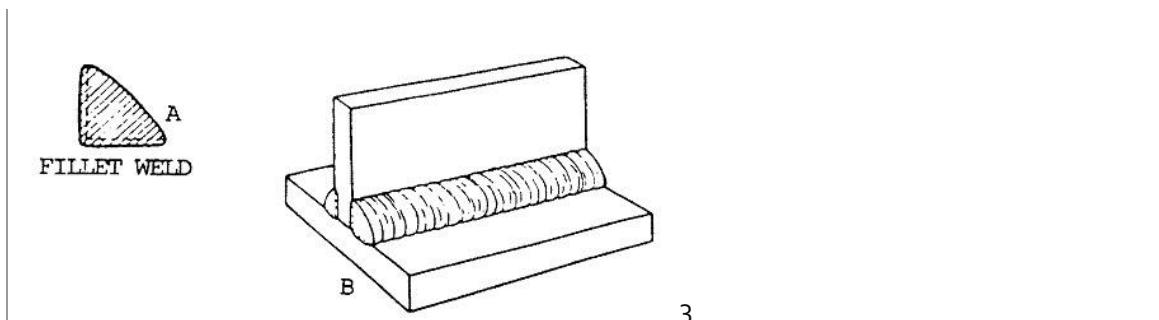
- O comprimento ou número de peças de teste deve ser o suficiente para permitir que todos os testes necessários sejam realizados;
- Devem ser preparadas peças de teste adicionais, ou peças de teste mais longas que o tamanho mínimo, de forma a permitir que haja amostras extra para testes ou para repetição de testes;
- A espessura de material, t , deve ser a mesma para as placas/tubos de soldar em todas as peças teste, exceto ramos de ligação e soldaduras de canto;
- Se exigido pela norma de aplicação, direção de rolamento da placa deve ser marcada na peça de teste quando são realizados testes de impacto na Zona Termicamente Afetada;
- A espessura e/ou diâmetro exterior do tubo das peças de teste devem ser selecionadas de acordo com as respetivas tabelas;
- Juntas topo a topo em chapas com penetração completa, juntas topo a topo em tubos com penetração completa, juntas em t , e ligações de ramos devem ser realizadas de acordo com as respetivas figuras da norma (cuja consulta é aconselhada).



Fonte: Tiago Nuncio



Fonte: ecoursesonline.com



Fonte: Quora.com

As imagens acima representam uma junta de ramos (1), uma junta topo a topo (2), e um fillet de uma junta em T (3).

As peças de teste devem ser soldadas de acordo com a Especificação de Procedimento de Soldadura preliminar (ou pWPS), e sob condições de soldadura de produção normais. A soldadura destas peças deve ser testemunhada por um/a examinador/a ou entidade examinadora.

Estas peças devem ser depois testadas através de métodos não destrutivos e destrutivos, tais como os testes visuais, testes radiográficos e ultrassónicos, testes de deteção de fendas superficiais, teste de tração transversa, teste de flexão transversa, teste de impacto, teste de dureza e examinação macroscópica. Algumas normas de aplicação podem especificar testes adicionais, tais como testes de tração de soldadura longitudinal, teste de flexão de metal de soldadura, testes de corrosão, análises químicas, micro examinação, examinação de ferrite delta, e/ou testes cruciformes.

Depois de todos os testes não destrutivos (NDTs) terem sido feitos com sucesso, as amostras dos testes devem ser removidas (de acordo com as respetivas figuras das normas). É aceitável retirá-las das áreas para evitar imperfeições, tal como é observável nos métodos NDT.

Estes métodos devem ser aplicados após quaisquer tratamentos térmicos de soldadura. No entanto, estes testes podem ser adiados no caso de materiais suscetíveis de fissuras por ação do hidrogénio sem pós-aquecimento/ tratamentos térmicos após a soldadura.

Fonte: Philip Carvalho



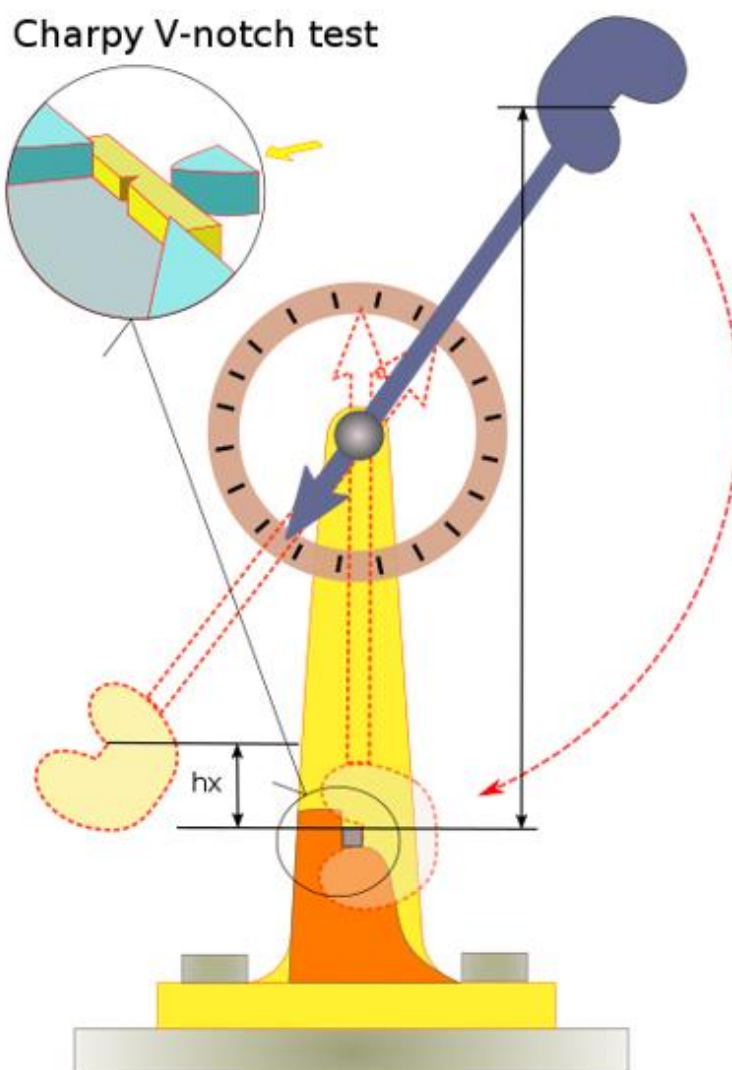
Nesta imagem, podemos ver o resultado do teste de penetração de tinta numa junta topo a topo de alumínio que foi maquinada.

Se a peça de teste não cumprir com quaisquer requisitos dos métodos NDT, uma peça de teste adicional deve ser soldada e sujeita à mesma examinação. Se a segunda peça também não cumprir, então o teste falhou.

Se alguma amostra falhar no cumprimento dos requisitos de testes destrutivos devido a imperfeições de soldadura, duas outras amostras devem ser testadas por cada uma que falhar. Estas amostras adicionais podem ser retiradas da mesma peça de teste se houver material suficiente ou de uma peça de teste diferente. Se algum destes dois não cumprir com os requisitos, considera-se então o teste falhado.

Se houver algum valor de dureza em zonas diferentes de teste acima do indicado, então podem ser realizados testes adicionais. Nenhum dos valores adicionais de dureza devem exceder os valores máximos indicados.

Para testes de impacto Charpy, onde os resultados de um grupo de três amostras não cumpram com os requisitos, com apenas um valor abaixo dos 70%, devem ser feitas três amostras adicionais. O valor médio destas amostras, em conjunto com os resultados iniciais, não deve ser mais baixo que a média exigida.



Fonte: Wikipedia

Esta imagem representa um teste de impacto Charpy.

A qualificação de uma Especificação de Procedimento de Soldadura preliminar (ou pWPS) por um teste de procedimento de soldadura, em linha com a norma ISO 15614-1, é válida para a soldadura em oficinas ou locais com as mesmas condições técnicas e o mesmo controlo de qualidade do fabricante (o fabricante que levou a cabo o teste de procedimento de soldadura é completamente responsável pela soldadura efetuada).

As gamas de qualificação para níquel e ligas, aço e para juntas dissimilares entre aços e ligas de níquel são fornecidas nas respetivas tabelas da norma ISO 15614-1.

As gamas de qualificação são então especificadas para variáveis essenciais que variam entre os níveis de qualidade 1 e 2. Elas referem-se a:

- Fabricante;
- Espessura do material, diâmetro do tubo e ângulo da ligação do ramo;
- Processos de soldadura;
- Posições de soldadura;
- Tipos de junta;
- Material base;
- Material de adição, tipo e dimensão;
- Tipo de corrente;
- Input térmico;
- Temperatura de pré-aquecimento;
- Temperature de interpass;
- Pós-aquecimento para libertação de hidrogénio;
- Tratamento térmico após soldadura;
- Alguns critérios específicos do processo.

O Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura (ou *WPQR - Welding Procedure Qualification Record*) é uma declaração dos resultados dos testes realizados, incluindo as repetições de testes.

Os itens mais importantes para a Especificação de Procedimento de Soldadura (ou WPS) listados na norma ISO 15609 devem ser também incluídos, com pormenores de quaisquer características que podem ser rejeitadas pelos requisitos da testagem. Caso não haja características rejeitáveis ou resultados inaceitáveis, então o Registo de Procedimento de Qualificação de Soldadura é qualificado e pode ser assinado pelo/a examinador/a ou entidade examinadora. Deve ser usado um formato da norma de modo a facilitar a apresentação e avaliação dos dados obtidos.

SECÇÃO 3. Imperfeições de Soldadura

Normalmente a qualidade de um produto depende das suas imperfeições. Por isso é necessário ligar ambas de modo a garantir que os produtos cumprem com os critérios de imperfeição e, dessa forma, com os níveis de qualidade especificados.

SUB-SECÇÃO: 3.1. ISO 6520-1:2007 Soldadura e Processos Similares – Classificação de Imperfeições Geométricas em Materiais Metálicos – Parte 1: Soldadura por Fusão

Esta norma tem como objetivo catalogar e ordenar as possíveis imperfeições em soldadura. Está dividida em duas partes: a primeira parte refere-se à soldadura de fusão, enquanto que a segunda parte se refere à soldadura por pressão.

Esta norma também divide as ditas imperfeições em seis grupos:

- 1 Fendas;
- 2 Cavidades;
- 3 Inclusões sólidas;
- 4 Fusão incompleta;
- 5 Geometria imperfeita;
- 6 Qualquer outra imperfeição não incluída nos grupos 1 a 5.

O código de identificação de cada imperfeição atribuído por este catálogo é aceite globalmente, fornecendo uma designação que permite que todas as entidades envolvidas comuniquem sem equívocos (pelo menos quando se refere à designação de imperfeições).

SUB-SECÇÃO: 3.2. ISO 5817:2014 - Soldadura – Juntas de Soldadura por Fusão em Aço, Níquel, Titânio e suas Ligas (Soldadura de vigas excluído) – Níveis de Qualidade das Imperfeições

A norma ISO 5817:2014 especifica as dimensões máximas permitidas para imperfeições típicas em fabrico normal. Estes limites dimensionais variam de acordo com o nível de qualidade escolhido. Este nível deve ser definido pelo designer responsável em conjunto com o fabricante, utilizador e/ou com outras partes envolvidas. Deve ter em conta as considerações do design, o processamento subsequente, modo de introdução de tensões, condições de serviço e as consequências da falha.

Os níveis e qualidade variam entre B e D, sendo que D é o nível menos rigoroso.

Esta norma é adaptada a processos de soldadura por fusão em juntas de aço, níquel, titânio e suas ligas, para espessuras de soldadura superiores ou iguais a 0.5mm. No entanto, pode ser também usada em outros processos de soldadura ou espessuras de soldadura.

O código de identificação das imperfeições pode ser encontrado na norma ISO 6520.



Fonte: Philip Carvalho



Nesta imagem podemos ver os resultados de um teste de partículas magnéticas numa junta de topo a topo que foi parcialmente maquinada (ver círculo a vermelho).

SUB-SECÇÃO 3.3. ISO 10042:2018 - Soldadura – Juntas de Soldadura por Arco Elétrico em Alumínio e suas Ligas – Níveis de Qualidade das Imperfeições

A norma ISO 10042 é o equivalente à norma ISO 5817, mas adaptada ao alumínio e suas ligas. Também segue o mesmo sistema de nível de qualidade B a D, assim como a numeração da norma ISO 6520.

SECÇÃO: 4. Qualificação e Inspeção de Soldador

A qualidade de juntas soldadas depende frequentemente, entre outros fatores, do nível de competência do operador. Por essa razão considera-se necessário assegurar essas competências antes de realizar a soldadura. De modo a garanti-las, foi criada de norma ISO série 9606 que define o método de qualificação a usar.

Esta família da norma está dividida em cinco partes para cada cinco grupos de materiais diferentes: aço, alumínio e suas ligas, cobre e suas ligas, níquel e suas ligas, titânio/zircónio e suas ligas.

Neste documento apenas a primeira parte é referida, pelo que a leitura das restantes partes é altamente recomendada.

SUB-SECÇÃO: 4.1. ISO 9606-1: 2012 *Avaliação da Qualificação de Soldadores – Soldadura por Fusão – Parte 1: Aços*

Esta norma especifica os requisitos para os testes de qualificação de soldadores para soldadura por fusão de aços, fornecendo o conjunto de regras técnicas para um teste, independentemente do tipo de produto, da localização e da entidade examinadora.

Ela cobre processos de soldadura por fusão manuais e parcialmente mecanizados não cobrindo, contudo, os processos de soldadura completamente mecanizados.

Esta norma oferece em primeiro lugar uma série de abreviaturas de números de referência, tal como listado na norma ISO 4063, para os diferentes processos de soldadura, peças de teste, materiais de adição, tipos de soldadura por arco elétrico, terminologia de testes de flexão, entre outros detalhes.

Depois, ela fornece uma série de variáveis essenciais para as quais é definida uma gama de qualificações. Caso se considere necessário que um/a soldador/a tenha de soldar fora do seu “intervalo de qualificação”, então é necessário fazer um novo teste.

Estas variáveis essenciais são: processos de soldadura, tipo de produto, tipo de soldadura, grupo do material de adição, consumível de soldadura, dimensões (espessura e diâmetro), posição de soldadura e alguns detalhes de soldadura (material de suporte, gás de suporte, fluxo de suporte, inserção do consumível, soldadura unilateral, soldadura em ambos os lados, uma só passagem, multipasse, soldadura de esquerda, soldadura de direita).

- Processos de Soldadura: cada teste qualifica apenas para um processo de soldadura, com apenas algumas exceções. Uma mudança no processo normalmente requer um novo teste de qualificação. É possível, no entanto, obter qualificação para dois ou mais processos através da soldadura de uma “junta de processos múltiplos” ou então realizando dois ou mais testes em separado.
- Tipo de Produto: os testes devem ser realizados em soldaduras de topo a topo ou soldaduras fillet, cada uma com o seu critério.
- Tipo de Soldadura: realizado quer em topo a topo ou em fillet, cada um com o seu critério.
- Grupo de Material de Adição: o teste deve ser realizado de acordo com o material de adição do grupo apropriado. A soldadura com material de adição de um grupo qualifica-se para soldadura de todos os outros materiais nesse grupo. Soldadura com material de adição qualifica-se também para soldadura sem material de adição.
- Dimensões: nas soldaduras topo a topo, o teste baseia-se na espessura depositada e no diâmetro exterior do tubo, enquanto que nas soldaduras fillets, o teste baseia-se na espessura da peça de teste.
- Posição de Soldadura: a peça de teste deve ser soldada de acordo com as posições de soldadura referidas na norma ISO 6947. Os tubos com diâmetros externos superiores a 150mm podem ser soldados em duas posições diferentes.

- Pormenores: A gama de qualificações varia de acordo com os seus pormenores.

Esta norma refere depois o tópico da examinação e teste, onde especifica que a soldadura das peças de teste deve ser testemunhada e verificada por uma entidade examinadora.

A peça, assim como a posição de soldadura usada, devem então ser identificadas pelo/a soldador/a e pelo/a examinador/a. Este último tem o direito de parar o teste se as condições de soldadura não forem corretas ou se o/a soldador/a aparentar não ter as competências necessárias para cumprir com os requisitos.

As peças de teste para placas devem ter pelo menos 200 mm de comprimento uma vez que o comprimento de examinação é de 150 mm. Para circunferências de tubos com menos de 150mm, devem ser usadas peças de teste adicionais, num máximo de três peças. Tratamentos pós-soldadura indicados na Especificação de Procedimento de Soldadura (ou WPS) ou na Especificação de Procedimento de Soldadura (pWPS) podem ser omitidos, ao critério do fabricante.

A peça de teste deve ser então submetida a testes, nomeadamente testes visuais, radiográficos, de flexão e fratura. Os restantes testes só serão necessários caso a peça passar na inspeção visual.

Depois, todos os resultados dos testes devem ser documentados de acordo com a norma relevante.

As peças de teste são então avaliadas de acordo com os requisitos de aceitação. Antes de qualquer teste, a peça deve ser verificada para confirmação dos seguintes elementos:

- Remoção de toda a escória e salpicos;
- Não há sinais de retificação na raiz e na face de soldadura;
- Identificação do "start and stop" na passagem de raiz e passagem final;
- Perfil e dimensões.

Os requisitos de aceitação devem estar de acordo com a norma ISO 5817, nível de qualidade B (C para algumas imperfeições, como por exemplo excesso de material de solda), exceto se especificado de outro modo. As amostras dos testes de flexão não devem revelar qualquer descontinuidade superior a 3mm em qualquer direção. Descontinuidades nas arestas devem ser ignoradas, a não ser que haja provas de fissuras devido a uma penetração incompleta, escória ou outra descontinuidade. A soma das maiores descontinuidades que excedam 1mm mas sejam inferiores a 3mm em qualquer amostra de flexão não deve exceder os 10mm.

Escusado será dizer que, se as imperfeições das peças de teste excederem os limites permitidos, então o teste falhou. Se o teste em si não cumprir com os requisitos para esta parte da norma ISO 9606, pode ser dada ao/a soldador/a uma nova oportunidade para repetir o teste de qualificação uma vez, sem formação adicional.

Quanto à validade destes testes, assumindo que os resultados foram aceitáveis, é de 6 meses. O certificado precisa ser confirmado pela pessoa responsável pelas atividades de soldadura ou pela entidade examinadora, sob pena de se tornar inválido.

A cada três anos, o/a soldador/a deve ser testado novamente ou, em alternativa, duas amostras de peças (soldadas por ele nos últimos 6 meses de certificado) podem ser testadas a cada dois anos.

Se houver uma razão específica para duvidar das capacidades do/a soldador/a em fazer soldaduras que cumpram com os critérios das normas para a sua qualificação, então essas qualificações devem ser revogadas. Sempre que o/a soldador/a tenha passado uma qualificação de acordo com os requisitos de qualificação, é emitido um certificado com todos os pormenores da soldadura.

BIBLIOGRAFIA DESTA UNIDADE

Institute of Risk Management (2019). About Risk Management. (www.theirm.org) Date of consultation: July, 2019
ISO (2003). ISO 15607:2003 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — General rules. (<https://www.iso.org/standard/28388.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-1:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35144.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-2:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 2: Comprehensive quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35145.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-3:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 3: Standard quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35146.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2005). ISO 3834-4:2005 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 4: Elementary quality requirements. (<https://www.iso.org/standard/35147.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2007). ISO 6520-1:2007 – Welding and allied processes -- Classification of geometric imperfections in metallic materials -- Part 1: Fusion welding. (<https://www.iso.org/standard/40229.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2012). ISO 9606-1:2012 Qualification testing of welders -- Fusion welding -- Part 1: Steels. (<https://www.iso.org/standard/54936.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). ISO 5817:2014 - Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2014). ISO 5817:2014 Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/54952.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). ISO 3834-5:2015 Quality requirements for fusion welding of metallic materials — Part 5: Documents with which it is necessary to conform to claim conformity to the quality requirements of ISO 3834-2, ISO 3834-3 or ISO 3834-4. (<https://www.iso.org/standard/63729.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. (<https://www.iso.org/standard/62085.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2017). ISO 15614-1:2017 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys. (<https://www.iso.org/standard/51792.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2018). ISO 10042:2018 - Welding — Arc-welded joints in aluminium and its alloys — Quality levels for imperfections. (<https://www.iso.org/standard/70566.html>). Date of consultation: July, 2019

ISO (2019). ISO 15609-1:2019 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure specification — Part 1: Arc welding. (<https://www.iso.org/standard/75556.html>). Date of consultation: July, 2019

Lexico Dictionaries (2019). Definition of the word “Quality” in English. (<https://www.lexico.com/en/definition/quality>). Date of consultation: July, 2019

Wikipedia (2019). Picture of SS Schenectady. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/SS_Schenectady. Date of consultation: July, 2019

GLOSSARY

It includes the main concepts, new and / or complex seen in the unit, as a dictionary. This type of resource is important especially when the course is aimed at students with no knowledge of the subject. Glossary entries are ordered alphabetically.

Back gouging - The removal of weld metal and base metal from the weld root side of a welded joint to facilitate complete fusion and complete joint penetration upon subsequent welding from that side.

Backing material - Material placed at the root of a weld joint to support molten weld metal

Calibrate - Correlate the readings of a measuring tool with those of a standard in order to check the instrument's accuracy.

Capping run - The final layer of a groove weld

Conformance - Compliance with standards, rules, or laws

Filler materials - Material to be added during fusion welding

Fusion welding - The melting together of filler metal and base metal, or of base metal only, to produce a weld

Hardness values - Value given by the result of a hardness test (e.g. Vickers)

Heat-treatment - Use of heat to change the properties of a metal

Imperfection - A fault, blemish, or undesirable feature

ITP - Inspection Testing Plan

Interpass temperature - Temperature at which subsequent weld runs are deposited

Joint - The junction of members or the edges of members that are to be joined or have been joined

Manufacturing - The making of articles on a large-scale using machinery

NDT – Non-destructive testing

Parent material - Parent material is the base material from the part to be welded

Procedure - A series of actions conducted in a certain order or manner

Root run - A weld pass made to produce the first weld bead

Slag - Coating left on the weld by the flux

Specimens - A sample of a test coupon subjected to testing

Spatters - Droplets of molten metal that are generated at or near the welding arc

Subcontracting - To employ a firm or a person outside one's own to work as part of a larger project

Template - Something that is used as a pattern for producing other similar things

Test piece - Example pieces that represent the piece being tested

Weaving - A welding technique in which the energy source is oscillated transversely as it progresses along the weld path