Designação da UFCD: Soldadura e soldobrasagem

Código: 898

Carga Horária: 50 horas

Objetivos

Identificar e caracterizar os diferentes processos de soldadura.

Identificar os equipamentos de soldadura.

Conteúdos

Classificação dos processos de soldadura

Soldadura por elétrodo revestido

Soldadura MIG/MAG/FF

Soldadura TIG

Brasagem e soldobrasagem

Definição e caracterização dos diferentes processos

Soldadura por fusão

Soldadura com proteção gasosa

Fundamentos dos processos de brasagem e soldobrasagem

Seleção do processo

Materiais utilizados

Constituição das máquinas de soldadura

Fonte de energia

Acessórios

Gases inertes utilizados

Características das máquinas de soldadura

Máquinas de intensidade constante

Máquinas de tensão constante

Cuidados a ter e manutenção das máquinas

Constituição do conjunto oxiacetilénico

Maçaricos tipos

Manómetros

Mangueiras

Sistemas de segurança

Cuidados a ter no seu manuseamento

i - Introdução histórica

Na idade do bronze começaram a fabricar-se utensílios em que as diferentes partes eram unidas por forjamento. Existem inúmeros exemplos dessa época em que foi utilizado este método de ligação, em particular armas e objetos de adorno feminino.

Embora a soldadura, na sua forma atual, seja um processo recente, com cerca de 100 anos, a brasagem e a soldadura por forjamento têm sido utilizadas desde épocas remotas. Existe no museu do Louvre (em Paris), um pingente de ouro com indicações de ter sido soldado e que foi fabricado na Pérsia, por volta de 4000 AC.

O ferro, cuja fabricação se iniciou em torno de 1500 AC, substituiu o cobre e o bronze na confeção de diversos artefatos. O ferro era produzido por redução direta e conformado por martelamento na forma de blocos com um peso de poucos quilogramas. Quando peças maiores eram necessárias, os blocos eram soldados por forjamento, isto é, o material era aquecido ao rubro, colocava-se areia entre as peças para escorificar impurezas e martelava-se até a soldadura.

A soldadura foi usada, na antiguidade e na idade média, para a fabricação de armas e outros instrumentos cortantes. Como o ferro obtido por redução direta tem um teor de carbono muito baixo (inferior a 0,1%), este não pode ser endurecido por têmpera. Por outro lado, o aço, com um teor maior de carbono, era um material escasso e de alto custo, sendo fabricado pela cementação de tiras finas de ferro. Assim, ferramentas eram fabricadas com ferro e com tiras de aço soldadas nos locais de corte e endurecidas por têmpera. Espadas de elevada resistência mecânica e tenacidade foram fabricadas no oriente médio utilizando-se um processo semelhante, no qual tiras alternadas de aço e ferro eram soldadas entre si e deformadas por compressão e torção. O resultado era uma lâmina com uma fina alternância de regiões de alto e baixo teor de carbono.

Assim, a soldadura foi, durante este período, um processo importante na tecnologia metalúrgica, principalmente, devido a dois fatores:

- a) a escassez e o alto custo do aço
- b) o tamanho reduzido dos blocos de ferro obtidos por redução direta.

Esta importância começou a diminuir, nos séculos XII e XIII, com o desenvolvimento de tecnologia para a obtenção, no estado líquido, de grandes quantidades de ferro fundido com a utilização da energia gerada em rodas d'água e, nos séculos XIV e XV, com o desenvolvimento do alto-forno. Com isto, a fundição tornou-se um processo importante de fabricação, enquanto a soldadura por forjamento foi substituída por outros processos de união, particularmente a rebitagem e aparafusamento, mais adequados para união das peças produzidas.

A soldadura permaneceu como um processo secundário de fabricação até o século XIX, quando a sua tecnologia começou a mudar radicalmente, principalmente, a partir das experiências de Sir

Humphrey Davy (1801-1806) com o arco elétrico, da descoberta do acetileno por Edmund Davy e do desenvolvimento de fontes produtoras de energia elétrica que possibilitaram o aparecimento dos processos de soldadura por fusão. Ao mesmo tempo, o início da fabricação e utilização de aço na forma de chapas tornou necessário o desenvolvimento de novos processos de união para a fabricação de equipamentos e estruturas.

A primeira patente de um processo de soldadura, obtida na Inglaterra por Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky em 1885, foi baseada em um arco elétrico estabelecido entre um eléctrodo de carvão e a peça a ser soldada.

Por volta de 1890, N. G. Slavianoff, na Rússia, e Charles Coffin, nos Estados Unidos, desenvolveram independentemente a soldadura a arco com eléctrodo metálico nu. Até o final do século XIX, os processos de soldadura por resistência, por aluminotermia e a gás foram desenvolvidos.

Em 1904, Oscar Kjellberg, um engenheiro sueco, precisava melhorar a qualidade dos trabalhos de reparação em navios e caldeiras em Gothenburg, o que resultou na invenção do primeiro eléctrodo revestido, onde o revestimento era constituído, originalmente, de uma camada de material argiloso (cal), cuja função era facilitar a abertura do arco e aumentar sua estabilidade. Logo após, Oscar Kjellberg fundou a ESAB. Em 1907 patenteia o processo de soldadura a arco com eléctrodo revestido.

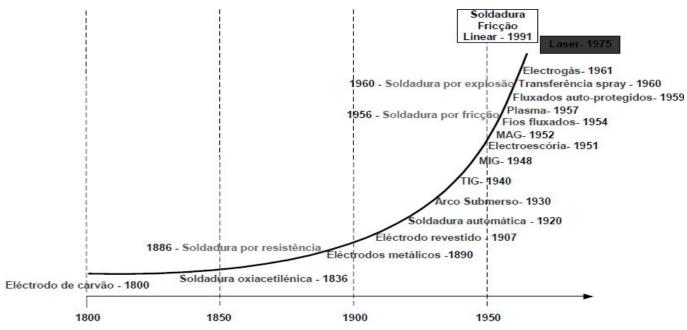


Imagem 1 - História da soldadura desde 1800. Fonte - Altino Loureiro

ii - Soldadura na construção metálica

As ligações soldadas merecem atualmente particular relevo porque são usadas nos materiais metálicos, em particular nos aços que representam a maior fatia de construção metálica a nível mundial.

Os aços são basicamente materiais estruturais que apresentam uma boa combinação de resistência à tração e tenacidade, o que justifica a sua utilização nas grandes estruturas como pontes, edifícios, navios, etc.

A utilização do aço e a tecnologia da soldadura proporcionaram a produção de estruturas mais esbeltas.

As construções atuais mais altas apresentam uma menor base de apoio. Exemplos disso são a torre dos correios de Londres, a torre Eifel, as plataformas offshore e mais recentemente o edifício Burj Dubai, nos Emiratos Árabes Unidos, que terá entre 800 e 1000 m de altura.

iii -Ligações soldadas

Uma ligação soldada ideal é aquela em que se garante a continuidade das partes a unir, sem alteração das propriedades físicas e mecânicas dos materiais unidos. Essa ligação é conseguida teoricamente quando se colocam em contacto dois pedaços de metal perfeitamente limpos e com um grau de rugosidade ínfimo.

1 - Classificação dos processos de soldadura

1.1 - Processos de soldadura

Os processos de soldadura podem ser divididos em três classes fundamentais:

- a) Soldadura por fusão
- b) Soldadura no estado sólido
- c) Brasagem e soldobrasagem

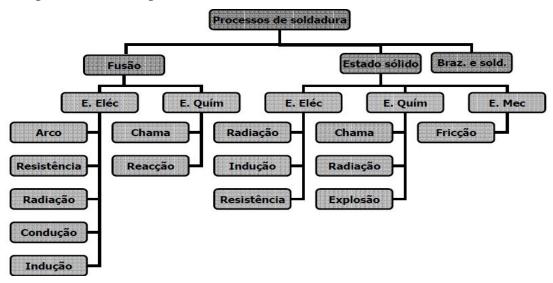


Imagem 2 - Processo de soldadura. Fonte - Altino Loureiro

- **1.1.1 Soldadura por fusão -** engloba os processos de soldadura nos quais a fusão dos materiais base a soldar é essencial para a realização da soldadura. O metal base (MB) e o metal de adição (MA), caso exista, encontram-se no estado líquido.
- **1.1.2 Soldadura no estado sólido -** agrupa os processos de soldadura nos quais a ligação de peças ocorre a temperaturas muito inferiores à de fusão dos materiais (MB), nalguns casos mesmo próximo da temperatura ambiente, e sem uso de metais de adição (MA).

1.1.3 - Brasagem e Soldobrasagem - englobam os processos de soldadura em que a ligação dos metais a soldar (MB) é conseguida aquecendo-os até uma temperatura inferior à de *solidus* e em que se utiliza um material de adição (MA) com uma temperatura *liquidus* inferior à T *solidus* dos materiais de base.

2 - Soldadura por arco eléctrico.

Dentro da soldadura por fusão temos a soldadura por arco eléctrico que é a mais utilizada na indústria.

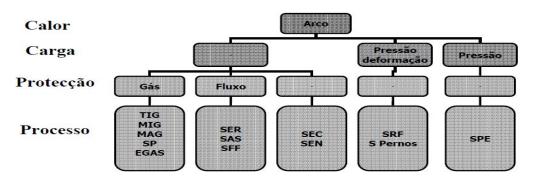
A soldadura envolve geralmente a aplicação de uma determinada quantidade de calor na zona que se pretende ligar.

O arco eléctrico pode ser considerado um condutor gasoso que transforma energia eléctrica em calorífica.

É a fonte de calor utilizada em muitos dos principais processos de soldadura.

O arco eléctrico é estabelecido através de uma descarga eléctrica entre os eléctrodos, a qual é mantida devido ao desenvolvimento de um meio condutor gasoso.

O eléctrodo negativo, a partir do qual são emitidos os eléctrões que passam através do gás, é chamado cátodo. O eléctrodo positivo é conhecido como ânodo.



SP – soldadurs plasma; EGAS – electro-gas; SER – eléctrodo revestido; SAS – arco submerso; SFF – fio fluxado; SEC – eléctrodo de carvão; SEN – eléctrodo nu; SRF – faiscamento; SPE - percussão

Imagem 3 – soldadura por arco. Fonte – Altino Loureiro

2.1 - Escorvamento do arco eléctrico

Formas de escorvamento do arco eléctrico (ignição):

- a) Escorvamento por curto-circuito
- b) Escorvamento por faiscamento de alta frequência

2.1.1 - Curto-circuito - consiste em tocar com o eléctrodo na peça provocando um curto-circuito, ao qual estão associados uma corrente eléctrica de muito alta intensidade e uma elevada resistência de contacto, que vão provocar uma elevada libertação de calor no ponto de contacto com consequente fusão e alguma vaporização de metal. Nessa altura afasta-se o eléctrodo da peça o que vai dar origem a uma ponte de

metal em fusão entre o eléctrodo e a peça, a qual devido à elevada intensidade de curto-circuito e ao afastamento vai romper aparecendo então um arco eléctrico transitório. Se a tensão em vazio da fonte de potência for suficiente estabelecer-se-á um verdadeiro arco eléctrico.

2.1.2 - Faiscamento de alta frequência - Consiste na aplicação aos terminais da fonte de potência, de uma tensão muito elevada (pode ser maior que 10 kV) e de alta frequência, a qual é suficiente para provocar uma faísca eléctrica entre o eléctrodo e a peça afastados um do outro. Logo que esta faísca ocorre, verifica-se um rápido abaixamento da tensão e a intensidade de corrente começa a aumentar, atingindo-se cerca de 1 ms, depois as condições são correspondentes a um arco eléctrico estável.

3 - Soldadura por elétrodo revestido (ER)

Princípios de Funcionamento:

- a) Processo de Soldadura por Fusão.
- b) A Fusão do material de adição e do material de base é obtida através do calor desenvolvido por um arco eléctrico. NB Este arco deve ter um comprimento menor que a alma.
- c) A protecção do banho em fusão e das gotas de material de adição é obtida através de uma protecção gasosa, através da decomposição do revestimento.

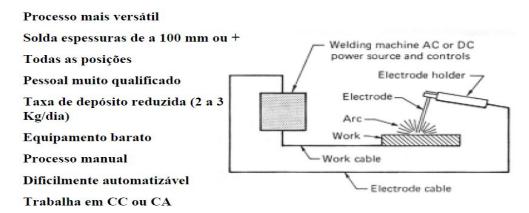


Imagem 4 – soldadura a ER. Fonte – Altino Loureiro

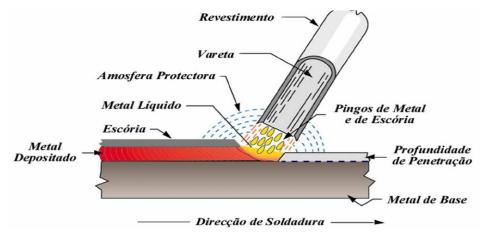


Imagem 5 - soldadura a ER. Fonte - ISQ

3.1 - Equipamentos de soldadura a ER:

Fonte AC ou DC;

Cabos de corrente em cobre flexíveis, geralmente com a secção de 50 mm² ou mais;

Porta eléctrodo e garra de terra;

Máscara de UV e EPIs ver no final do manual;

Escova de aço;

Martelo de soldadura, para picar a escória (Picadeira para Soldadura);

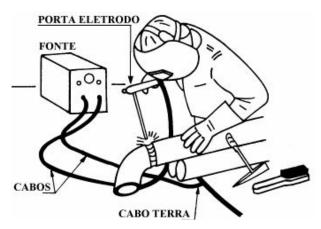


Imagem 6 - Equipamento para soldadura a ER. Fonte - Paulo Modenesi et al

3.2 - Parâmetros de soldadura a ER

Os parâmetros de soldadura seguintes são variáveis essenciais:

- 1 Intensidade de soldadura (corrente eléctrica) [A] (Ampére);
- 2 Tensão do arco eléctrico (voltagem) [V] (volt);
- 3 Velocidade de soldadura [m/s];
- 4 Tipo de eléctrodo e seu diâmetro (da alma metálica) [mm];

Intensidade:

- Determina a taxa de Depósito
- Profundidade da Penetração
- ➤ Volume de metal Fundido
- ►I ↑ ⇒ Implicam Bordos queimados, cordões "altos" e estreitos
- $ightharpoonup I \quad \psi \Rightarrow \text{Arcos Instáveis}$

Tensão:

- ➤ Determina a largura e a convexidade do Cordão
- ➤ Melhora a resistência à porosidade (óleos e húmidade)
- ►V ↑ ⇒ Cordões muito largos (2 x a penetração) pode originar fissuração
- V ♥ ♥ ⇒ Difícil remoção da escória, aumento exagerado de elementos liga no depósito podendo originar fissuração

Velocidade de Soldadura Excessiva:

- Diminui o efeito de molhagem, aumenta a convexidade
- ➤ Aumenta a probabilidade de bordos queimados
- Aumenta a probabilidade da porosidade e da fissuração

Velocidade de Soldadura muito Baixa:

- Aumenta a probabilidade de fissuração pelo efeito de aumentar a largura do cordão
- Aumenta a probabilidade de inclusões de escória devido a volumes de material fundido muito grandes e baixa velocidade
- Morfologia do cordão muito rugosa

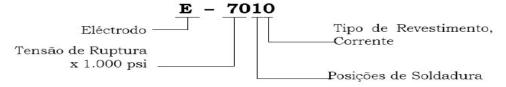
Eletrodo	AWS	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Valor ótimo (A)	TX. dep. (kg/h)	Ef. dep. (%)
		2,5	60 - 80	75	0,7	72
OK 22.45P	E6010	3,2	80 - 140	100 / 130	0,9 / 1,0	76 / 69
OK 22.50	E6010	4,0	90 - 180	140 / 170	1,3 / 1,3	74 / 64
	6M603-60013-6640	5,0	120 - 250	160 / 190	1,5 / 1,6	75 / 70
	W.	2,5	40 – 75	75	0,6	61
OK 22 CED	E6044	3,2	60 - 125	120	1,0	71
OK 22.65P	E6011	4,0	80 - 180	150	1,7	77
		5,0	120 - 230	180	1,9	73
THE STREET		2,0	50 - 70	50	0,6	73
OK 46.00		2,5	60 - 100	85	0,7	73
OK 46.13	E6013	3,2	80 - 150	125	1,0	73
OK 43.32		4,0	105 - 205	140 / 160 / 180	1,2 / 1,4 / 1,6	76 / 74 / 71
		5,0	155 - 300	180 / 200 / 220	1,5 / 1,7 / 1,9	74 / 71 / 73
		3,2	130 - 170	140 / 180	1,9 / 2,3	72 / 71
OK 22 00	E7004	4,0	140 - 230	180 / 210 / 240	2,4/2,9/3,3	71 / 73 / 69
OK 33.80	E7024	5,0	210 - 350	245 / 270 / 290	3,4/3,8/4,1	69 / 71 / 68
		6,0	270 - 430	320 / 360	4,3 / 5,3	72 / 69
OK 48.04	E7018	2,5	65 - 105	90	0,8	66
OK 48.06	E7018	3,2	100 - 150	120 / 140	1,2 / 1,2	72 / 71
OK 48.07	E7018-1	4,0	130 - 200	140 / 170	1,4 / 1,7	75 / 74
OK 55.00	E7018-1	5,0	185 - 270	200 / 250	2,2/2,4	76 / 75

Tabela 1 - Diâmetro e corrente em função do eléctrodo. Fonte - ESAB

3.3 - Classificação dos eléctrodos

Norma AWS A5.1-91 - Aços não ligados. Tipo de posição de soldadura, corrente de soldadura e revestimento.

3.3.1 - Tipo de posições de soldadura



Posições de Soldadura

1	Baixo; Horizontal; Vertical; Tecto	
2	Baixo e Horizontal	
4	Baixo; Horizontal; Vertical descendente; Tecto	

Tabela 2 - Classificação dos eléctrodos. Fonte - ISEC

3.3.2 - Tipos de corrente eléctrica

A fonte de alimentação pode ser de corrente alternada (AC) ou contínua (CC) e nesta qual a polaridade. O eléctrodo escolhido funcionará apenas com a fonte apropriada. A Tabela seguinte relaciona o tipo de corrente para o qual cada eléctrodo foi desenvolvido.

Classificação AWS	Corrente
EXX10-X	CC+
EXX11-X	CA ou CC+
EXX13-X	CA ou CC+ ou CC
EXX15-X	CC+
EXX16-X	CA ou CC+
EXX18-X	CA ou CC+
EXX20-X	CA ou CC- (horizontal em ângulo) CA ou CC+ ou CC- (plana)
EXX27-X	CA ou CC- (horizontal em ângulo) CA ou CC+ ou CC- (plana)

Tabela 3 - Tipos de corrente (fonte de alimentação). Fonte - ESAB

3.3.3 - Tipos de revestimento

Digito	Revestimento	Corrente de Soldadura
0	Celulósico de Sódio	DCEP
1	Celulósico de Potássio	AC; DCEP e DCEN
2	Titania de Sódio	AC e DCEN
3	Titania de Potássio	AC e DCEP
4	Titania com pó de ferro	AC; DCEP e DCEN
5	Básico de Sódio	DCEP
6	Básico de Potássio	AC e DCEP
7	Ácido com pó de ferro	AC; DCEP e DCEN
8	Básico com pó de ferro	AC e DCEP
E6020	Ácido de Sódio	AC e DCEP

Tabela 4 - Tipo de revestimento e corrente de soldadura. Fonte - ISEC

Tipos de eléctrodos:

Oxidantes (óxidos de Fe, Mn, Si)

Ácidos (óxidos e silicatos)

Básico (carbonato de cálcio e fluoretos)

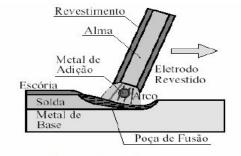
Rutilo (TiO₂)

Celulósico (produtos orgânicos)

Dimensões:

Diâmetro - 1.6; 2; 2.5; 3.25; 4; 5; 6 e 8

Comprimento - 300 a 500 mm



Critério de selecção

A resistência mecânica do metal depositado deve ser igual ou superior à do metal de base e composição química idêntica.

Imagem 7 - Resumo da soldadura a ER. Fonte - Altino Loureiro

3.3.3.1 - Eléctrodos Celulósicos (EXXX0 e EXXX1): Possuem elevada quantidade de material orgânico (celulose) no revestimento, cuja decomposição pelo arco gera gases que protegem o metal líquido. A quantidade de escória produzida é pequena, o arco é muito violento, causando grande volume de respingos e alta penetração em comparação com outros tipos de eléctrodo.

O cordão tende a apresentar escamas irregulares. A solda apresenta propriedades mecânicas adequadas para várias aplicações, contudo, não devem ser usados na soldadura de aços de teor elevado de carbono, de aços ligados e na soldadura de peças de maior espessura devido a possibilidade de fragilização pelo hidrogênio proveniente do revestimento. São particularmente adequados para soldadura fora da posição plana, tendo grande aplicação na soldadura circunferencial de tubulações e na execução de passes de raiz em geral. Devido à sua grande penetração e perda por respingos não são adequados para o enchimento de chanfros.

3.3.3.2 - Eléctrodos Rutílicos (EXXX2, EXXX3 e EXXX4): Contém quantidades significativas de rutilo (TiO₂) no revestimento e produz uma escória abundante, densa e de fácil remoção. São eléctrodos de fácil uso, que podem ser usados em qualquer posição exceto quando têm uma elevada quantidade de pó de ferro no revestimento (para aumentar a produtividade). Podem operar tanto em CA como em CC e produzem um cordão com bom aspecto visual e de penetração baixa ou média. Sua resistência à formação de fendas na solidificação da poça de fusão é relativamente pequena o que pode ser um problema na soldadura de peças contaminadas com óleo. São eléctrodos de grande versatilidade e de uso geral.

3.3.3.3 - Eléctrodos Básicos (EXXX5, EXXX6 e EXXX8): Possuem quantidades apreciáveis de carbonatos (de cálcio e de outros elementos) e de fluorita, formam uma escória básica que, juntamente com o CO₂ gerado da decomposição dos carbonatos, protege o metal líquido. Esta escória exerce uma ação metalúrgica benéfica sobre a solda, dessulfurando-a e reduzindo o risco de formação de fendas de solidificação. Não possui substâncias orgânicas em sua formulação e, se manuseado corretamente, produz soldas com baixo teor de hidrogênio, minimizando os riscos de fragilização e fissuração por este elemento. A penetração é média e o cordão apresenta boas propriedades mecânicas, particularmente quanto à tenacidade. É indicado para aplicações de grande responsabilidade, na soldadura de juntas de grande espessura ou de grande rigidez e na soldadura de aços de maior teor de carbono, de aços de maior resistência mecânica e de aços de composição química desconhecida. Este tipo de eléctrodo é altamente hidroscópico, requerendo cuidados especiais na sua armazenagem.

3.3.3.4 - Eléctrodos Oxidantes (EXX20 e EXX27): Possuem revestimento constituído principalmente de óxidos de ferro e manganês que produz escória oxidante, abundante e de fácil destacamento. O metal

depositado possui baixos teores de carbono e manganês e grande quantidade de inclusões. Este tipo de eléctrodo é pouco utilizado atualmente, embora exista em certo interesse na sua utilização como eléctrodo para a soldadura subaquática.

3.4 - Características individuais dos eléctrodos revestidos

E6010 foram originalmente desenvolvidos para proporcionar uma atividade de soldadura e um metal de solda melhor. O revestimento é, predominantemente, uma pasta de celulose modificada com silicatos minerais, desoxidantes e silicato de sódio. A quantidade de revestimento desses eléctrodos é pequena, cerca de 10-12% em peso. Como a massa de celulose se queima durante a soldadura, a escória é mínima e é normalmente de fácil remoção. O arco tem uma penetração profunda e, com manipulação adequada do arco, cordões de solda de boa qualidade podem ser depositados em todas as posições. A maioria dos navios construídos nos Estados Unidos durante a II Guerra Mundial foi soldada com esses eléctrodos. Formulações especiais deles são empregadas na soldadura de dutos na progressão descendente. Soldas razoavelmente íntegras podem ser executadas em juntas de topo com abertura de raiz utilizando esses eléctrodos.

E6011 são similares aos E6010 exceto que compostos de potássio em quantidade suficiente são adicionados ao revestimento para estabilizar o arco e permitir que o eléctrodo seja utilizado com corrente alternada. A penetração é ligeiramente menor que a do eléctrodo E6010.

E6012 possuem vários nomes comuns. Na Europa são chamados de eléctrodos rutílicos. O revestimento contém grandes quantidades do mineral rutilo (dióxido de titânio, TiO₂). O arco possui baixa penetração, e com manipulação adequada podem ser fechadas grandes aberturas de raiz. Embora a especificação permita a soldadura com CA ou CC, o arco é mais suave e a quantidade de respingos é menor quando é empregada corrente contínua.

E6013 também contêm um grande percentual de dióxido de titânio (rutilo - TiO₂) em seu revestimento. Eles são projetados para ter um arco de baixa penetração, permitindo que metais de pequena espessura sejam soldados sem furar a peça. O revestimento contém compostos de potássio suficientes para estabilizar o arco na soldadura com corrente alternada (CA).

E7014 são parecidos com os Eléctrodos E6013, exceto que foi adicionado o pó de ferro e é aplicado à alma do eléctrodo um revestimento mais espesso. Isso resulta em taxas de deposição mais altas com o eléctrodo E7024 que com o E6013.

E7015 foram os primeiros eléctrodos de baixo hidrogênio. Eles foram desenvolvidos na década de 1940 para soldar aços temperáveis. Todos os eléctrodos previamente analisados têm quantidades consideráveis de hidrogênio em seus revestimentos na forma de água ou de hidrogênio quimicamente combinado em compostos químicos. Quando um aço temperável é soldado com qualquer eléctrodo que contenha quantidades consideráveis de hidrogênio ocorre normalmente fissuração a frio. Essas trincas aparecem no metal de base bem abaixo do cordão de solda e paralelas a ele. O calcário e outros ingredientes que são baixos em humidade são empregados no revestimento, eliminando esse hidrogênio que induz à fissuração (trincas ou fissuração induzida pelo hidrogênio — hydrogen induced cracking — HIC). O revestimento é do tipo baixo hidrogênio à base de sódio, o que limita o uso desses eléctrodos somente a CC+. Os eléctrodos E7015 não estão mais disponíveis no mercado de uma maneira geral, tendo sido substituídos pelos tipos E7016 e E7018.

E7016 são bem similares ao tipo E7015, exceto que o uso do potássio no revestimento permite que esses eléctrodos possam ser empregados tanto com CA como com CC+.

E7018 são a versão mais moderna do eléctrodo de baixo hidrogênio. A adição de quantidades consideráveis de pó de ferro ao revestimento resulta num arco mais suave e com menos respingos. Esse moderno balanço de ingredientes do revestimento resulta numa grande melhoria na estabilidade do arco, na direção do arco e na facilidade de manuseio em todas as posições.

E6020 possuem um revestimento que consiste principalmente em óxido de ferro, compostos de manganês e sílica. Eles produzem um arco do tipo spray e uma escória pesada que proporciona proteção extra ao metal de solda fundido, que é muito fluido, limitando seu uso às juntas em ângulo nas posições plana ou horizontal.

E6022 servem para a soldadura de chapas finas sob altas correntes e altas velocidades de soldadura. Não estão mais disponíveis de uma maneira geral.

E7024 possuem um revestimento similar aos tipos E6012 e E6013, porém apresentam um revestimento muito pesado que contém 50% de pó de ferro em peso. Sob correntes relativamente altas apresenta altas taxas de deposição. As soldas são limitadas às posições plana e horizontal em ângulo. A penetração é relativamente baixa. Podem ser empregadas as correntes de soldadura CA, CC+ e CC-.

E6027 são também do tipo de alto teor de pó de ferro, consistindo o revestimento de 50% de pó de ferro em peso. As correntes de soldadura podem ser CA, CC+ ou CC-. A penetração é média e os cordões de

solda são levemente côncavos com boa fusão nas paredes laterais do chanfro. Como em todos os eléctrodos de alto teor de pó de ferro, a taxa de deposição desses eléctrodos é alta.

E7028 são bem semelhantes os do tipo E7018, exceto que o revestimento é mais pesado e contém 50% em peso de pó de ferro. Diferentemente dos eléctrodos E7018, são adequados apenas às posições plana e horizontal em ângulo. A taxa de deposição é muito alta.

E7048 são bem similares aos do tipo E7018, exceto que são desenvolvidos para condições de soldadura excecionalmente boas na progressão vertical descendente.

3.5 - Armazenagem de ER

Todos os eléctrodos de baixo hidrogênio absorverão alguma humidade do ar após a abertura da lata ou embalagem plástica. Por isso, os eléctrodos que não forem consumidos dentro de um determinado intervalo de tempo, devem ser armazenados em uma estufa e mantidos a temperatura constante.

Devem ser tomadas certas precauções na armazenagem dos eléctrodos revestidos, principalmente os eléctrodos básicos de baixo teor de hidrogênio, que são muito higroscópicos e necessitam de cuidados especiais para que suas características não sejam afetadas.

Um eléctrodo húmido poderá causar inúmeros defeitos na solda: porosidade no início ou mesmo em todo o cordão de solda, fendas ao lado e sob o cordão, porosidade vermiforme, arco instável, respingos abundantes e acabamento ruim.

Part per 1	Umidade relativa	Temperatura
Celulósicos	70% máx.	+18 °C a +50 °C
Demais tipos	50% máx.	+18 °C mín.

Tabela 5 - Condições de armazenagem dos eléctrodos revestidos. Fonte – ESAB Br

Tipo de eletrodo	Temperatura efetiva no pacote de eletrodos	Tempo real à temperatura efetiva	
Alfalida Constitutiva III	(°C)	(h)	
Básicos	325 ± 25	1,5 ± 0,5	
Altíssimo Rendimento	275 ± 25	1,5 ± 0,5	
Rutílicos	80 ± 10	1,5 ± 0,5	
Ferro Fundido	80 ± 10	1,5 ± 0,5	
Inoxidáveis Rutílicos	275 ± 25	1,5 ± 0,5	
Inoxidáveis Básicos	225 ± 25	1,5 ± 0,5	

Tabela 6 - Secagem dos eléctrodos revestidos. Fonte - ESAB Br

Tipo de eletrodo	Temperatura efetiva na estufa de manutenção	
	(°C)	
Básicos	125 ± 25	
Altíssimo Rendimento	110 ± 10	
Rutílicos	60 ± 10	
Ferro Fundido	60 ± 10	
Inoxidáveis	110 ± 10	

Tabela 7 – temperatura da estufa para eléctrodos revestidos. Fonte – ESAB Br

Vantagens e limitações	Aplicações	
 Equipamento simples, portátil e barato. Não necessita fluxos ou gases externos. Pouco sensível à presença de correntes de ar (trabalho no campo). Processo muito versátil em termos de materiais soldáveis. Facilidade para atingir áreas de acesso restrito. Aplicação difícil para materiais reativos. Produtividade relativamente baixa. Exige limpeza após cada passe. 	 Soldagem de produção, manutenção e em montagens no campo. Soldagem de aços carbono e ligado. Soldagem de ferro fundido. Soldagem de alumínio, níquel e suas ligas. 	

Tabela 8 - Vantagens, limitações e aplicações da soldadura a ER. Fonte - Paulo Modenesi et al

Martelamento - trabalho mecânico, aplicado à zona fundida da solda por meio de impactos, destinado a controlar deformações da junta soldada.

Nota - Na soldadura de ferro fundido é necessário o martelamento.

3.6 - Fontes de energia

A soldadura com eléctrodos revestidos pode empregar tanto corrente alternada (CA) quanto corrente contínua (CC), porém em qualquer caso a fonte selecionada deve ser do tipo corrente constante. Esse tipo de fonte fornecerá uma corrente de soldadura relativamente constante independentemente das variações do comprimento do arco causadas pelas oscilações da mão do soldador. A corrente de soldadura determina a quantidade de calor proveniente do arco elétrico e, desde que ele permaneça relativamente constante, os cordões de solda serão uniformes em tamanho e em forma.

Tensão em vazio (fontes CA) - A tensão em vazio do equipamento de soldadura deve ficar preferencialmente na faixa de 50 V a 100 V. Quanto maior for a tensão em vazio, maior será a facilidade de abertura do arco.

Tipos de corrente - A corrente contínua confere melhor estabilidade ao arco. CC+ significa polaridade reversa, isto é, o eléctrodo é ligado ao polo positivo e a peça ao negativo. CC- é polaridade direta, isto é, o eléctrodo é ligado ao polo negativo e a peça ao positivo.

Na corrente alternada não existe polaridade definida. Há uma tendência a maior instabilidade do arco e a perda nos cabos é menor.

3.6.1 - Tipos de fontes

Os transformadores fornecem somente corrente alternada. A máquina mais fraca tanto em potência como qualidade é a monofásica de regulação por entreferro, tem uma manivela que quando afasta o entreferro do meio do transformador, reduz a intensidade eléctrica. Será melhor se for bifásica (funciona a 400 VAC) e ainda será melhor se for de regulação por seletor rotativo.



Imagem 8 - Máquina de soldar a ER com regulação por entreferro. Fonte - www.soldaeletrica.com.br

Os retificadores transformam a corrente alternada da rede em corrente contínua disponível para a soldadura. Os geradores (rotativos) podem fornecer corrente contínua ou corrente alternada.

Os inversores fornecem corrente contínua e podem ser portáteis. Tem as vantagens de serem muito eficientes, leves e poder regular a intensidade. Há modelos acessíveis como o seguinte ou da *Vito*.



Imagem 9 - Inverter, MMA 180.IGBT. Fonte - www.expondo.pt

4 - Soldadura MIG/MAG

A Soldadura a Arco Gás-Metal (Gas Metal Arc Welding - GMAW) é um processo de soldadura a arco que produz a união dos metais pelo seu aquecimento com um arco elétrico estabelecido entre um eléctrodo metálico contínuo (e consumível) e a peça.

A proteção do arco e poça de fusão é obtida por um gás ou mistura de gases. Se este gás é inerte (Ar/He), o processo é também chamado MIG (Metal Inert Gas). Por outro lado, se o gás for ativo (CO₂ ou misturas Ar/O₂/CO₂), o processo é chamado MAG (Metal Active Gas). Gases inertes puros são, em geral, usados na soldadura de metais e ligas não ferrosas, misturas de gases inertes com pequenas quantidade de gases ativos são usadas, em geral, com aços ligados, nas misturas mais ricas em gases ativos ou CO₂ puro são usados na soldadura de aços carbono.

O equipamento básico para a soldadura consiste de fonte de energia, tocha de soldadura, fonte de gás e alimentador de arame. A fonte de energia tem, em geral, uma saída de tensão constante, regulável entre 15 e 50 V, que é usada em conjunto com um alimentador de arame de velocidade regulável entre cerca de 1 e 20 m/min. Este sistema ajusta automaticamente o comprimento do arco através de variações da corrente, sendo mais simples do que sistemas alternativos. Na soldadura utiliza-

se, em praticamente todas as aplicações, corrente contínua com o eléctrodo ligado ao polo positivo (CC+). Recentemente, o processo tem sido utilizado com corrente alternada (CA) para a soldadura de juntas de pequena espessura de alumínio.

Eléctrodo consumível

Processo semi-automático ou automático

Taxa de depósito elevada (até 5 Kg/h)

Solda todos os materiais

Espessura 2 a 100 mm

Aprendizagem simples

Investimento reduzido

Sensível ao ambiente (vento)

Acessibilidade pior que ER

Imagem 10 - Resumo de soldadura MIG/MAG. Fonte - Altino Loureiro

A velocidade de avanço do arame tem no mínimo de ser aquela que o arame não recue até ao bico aquando a soldadura. Nota - Quando a velocidade está boa, o zumbido da soldadura é constante.

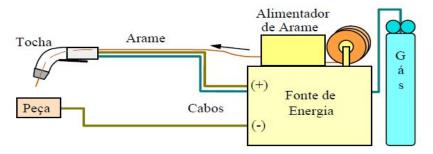


Imagem 11 - Equipamento MIG/MAG - Fonte - Paulo Modenesi et al



Imagem 12 - Máquina MIG, Stamos Basic, S-MIG 250 (não inclui garrafa) - Fonte - www.expondo.pt

4.1 - Fontes de alimentação

As fontes de alimentação de máquinas portáteis são por tecnologia inverter. Retificam a alimentação da rede eléctrica, 230 VAC, e depois geram impulsos a alta frequência, cerca de 100 kHz, para transformador de núcleo em ferrite, assim tem a vantagem de ter grande eficiência e ser leve em comparação com um transformador de chapa Fe-Si, mas avariam com facilidade e é difícil a sua reparação, pois a avaria é geralmente no circuito electrónico feito com componentes SMD (Surface Mounted Device).

Há ainda fontes que podem ser feitas com tirístores comandados o que permite controlar a tensão de saída a ter um valor constante, como acontece nas máquinas de soldadura por resistência.

As fontes de alimentação de máquinas com rodas são por transformador trifásico e com retificação por 6 díodos, conforme imagem seguinte.

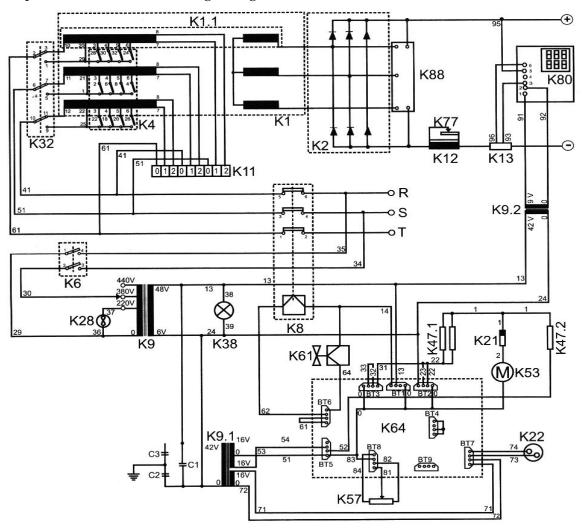


Imagem 13 - Esquema eléctrico da ESAB Smashweld 315. Fonte - Manual de Instruções desta máquina

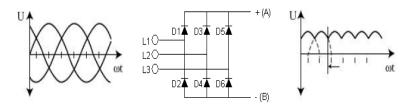


Imagem 14 – Forma de tensão com a retificação trifásica. Fonte - https://memt.com.br

4.2 - Funcionamento

Quando se pressiona o botão da tocha que opera a tensão reduzida, esta liga a válvula de gás (K61), o relé de potência (K77) e o motor (K53) que empurra o arame de aço cobreado.

Vantagens e limitações	Aplicações	
Processo com eletrodo contínuo. Permite soldagem em qualquer posição. Elevada taxa de deposição de metal. Elevada penetração. Pode soldar diferentes ligas metálicas. Exige pouca limpeza após soldagem. Equipamento relativamente caro e complexo. Pode apresentar dificuldade para soldar juntas de acesso restrito. Proteção do arco é sensível a correntes de ar. Pode gerar elevada quantidade de respingos.	 Soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas. Soldagem de carrocerias e estruturas de veículos. Soldagem de tubulações, etc. 	

Tabela 9 - Vantagens, limitações e aplicações. Fonte - Paulo Modenesi et al

Nota – A manga da tocha com o tempo é normal ficar com fugas de gás, pelo que a melhor solução é comprar uma tocha nova, recomendação do autor e de Frederico Ferreira, gerente da Consistente Lda.

5 - Soldadura TIG

O equipamento básico consiste numa fonte de energia (CC e/ou CA), tocha com eléctrodo de tungstênio (W), fonte de gás de proteção (Ar ou He) e um sistema para a abertura do arco (geralmente um ignitor de alta frequência e de 10 kV). Este ignitor ioniza o meio gasoso, dispensando a necessidade de tocar o eléctrodo na peça para a abertura do arco (o que pode causar a mútua contaminação do eléctrodo e do metal base). A alta frequência é automaticamente desligada imediatamente após o início do arco.

O eléctrodo não é consumível - Tungsténio puro, W+Th (tório), W+Zr (Zircônio).

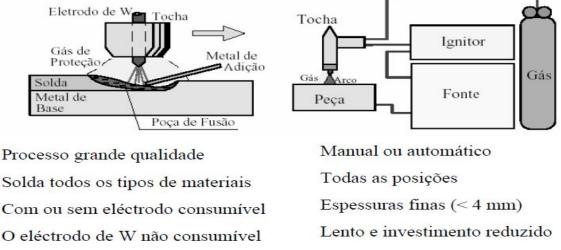


Imagem 15 - Resumo da soldadura TIG. Fonte - Altino Loureiro



Imagem 16 - Máquina TIG - 250 A/230 V, portátil, S-WIGMA 250. Fonte - www.expondo.pt

5.1 - Gases de protecção:

Árgon puro (todos os materiais);

Árgon + hidrogénio (aços inoxidáveis);

Árgon + hélio (aços, alumínios - maior velocidade e mais caro);

5.1.1 - Caudal do gás. O caudal (L/min) deve ser forte o suficiente para deslocar o ar para longe da área da solda e assim proteger a poça de fusão. Caudal elevado pode causar turbulência no fluxo do gás, resultando em descontinuidade ou defeitos no cordão e instabilidade do arco, sem falar no custo maior de soldadura. Um caudal baixo não oferece proteção adequada à poça de fusão, causando também descontinuidades.



Imagem 17 - manómetro, o 1º indica a pressão de gás existente, o 2º afina o caudal de gás. Fonte www.telwin.com/pt

Fase de pós-purga de gás. Há um tempo após o fim do processo de soldadura em que o gás continua a fluir para fora do maçarico, arrefecendo-o e protegendo a soldadura da oxidação. Tem de estar afinado com o tempo mínimo para proteger o eléctrodo.

5.2 - Eléctrodo

Preparação do eléctrodo. A ponta do eléctrodo de tungstênio para melhor garantir a passagem de eléctrões, recomenda-se o afinamento da ponta do eléctrodo através do rebolo, fixada num berbequim

em rotação. Na soldadura de corrente continua o ideal a ser utilizado é uma ponta pontiaguda, tendo a altura da parte esmerilhada duas vezes maior que o diâmetro do eléctrodo, ver imagem seguinte. O eléctrodo é fixado entre 5 – 10 mm da extremidade da tocha.

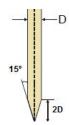


Imagem 18 - Angulo do bico do eléctrodo

5.3 - Parâmetros/cuidados

Limpeza das peças - Antes de iniciar qualquer procedimento de soldadura, garanta que tudo está livre de impurezas.

Habilidade do operador - O processo manual de soldadura TIG é considerado um dos mais difíceis de todos os processos comuns utilizados pela indústria devido à necessidade de habilidade e destreza do operador em manter um pequeno arco eléctrico sem que o eléctrodo encoste à peça de trabalho. A utilização das duas mãos dificulta ainda mais o processo (uma mão segura a tocha de soldadura, a outra, o arame do metal de adição).

Formação da poça de fusão - Afim de pré-aquecer o metal e provocar o aparecimento da poça de fusão deve ser efetuado um movimento circular com arco mantido a uma distância media de 2 a 3 mm. Formada a poça de fusão a tocha deve ser posicionada em um ângulo de 15° a 20° obedecendo à direção da soldadura.

Material de adição - O material de adição é adicionado, se frio, no início da poça. Deve-se tomar um cuidado especial para manter sempre a ponta do arame de adição dentro do fluxo do gás de proteção. O metal de adição deve ser depositado na borda dianteira da poça de fusão em um ângulo de 15° a 20° em relação à superfície do metal base.

Comprimento do arco - O comprimento do arco é definido pela ponta do eléctrodo até o metal de base. Este parâmetro define o perfil do cordão de solda, quanto maior esse comprimento, mais largo será o cordão. Um arco muito curto ou muito largo gera instabilidade, propiciando descontinuidades como porosidade, mordeduras e falta de fusão.

Inclinação da tocha - A inclinação da tocha é outra variável que influencia na penetração no cordão. A inclinação da tocha no sentido positivo (puxando a solda) consegue-se maior penetração devido à maior

atuação do arco. No sentido negativo (empurrando a solda), o cordão se torna com menor influência tendo menor penetração. A figura abaixo mostra a diferença no cordão, de acordo com a angulação da inclinação da tocha.

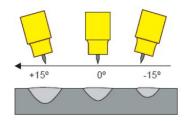


Imagem 19 - influência na inclinação da tocha

Ver exemplo de soldador a TIG em https://www.youtube.com/watch?v=ogLmng_tAEM

Vantagens e limitações	Aplicações	
Excelente controle da poça de fusão. Permite soldagem sem o uso de metal de adição. Permite mecanização e automação do processo. Usado para soldar a maioria dos metais. Produz soldas de alta qualidade e excelente acabamento. Gera pouco ou nenhum respingo. Exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem. Permite a soldagem em qualquer posição. Produtividade relativamente baixa. Custo de consumíveis e equipamento é relativamente elevado.	 Soldagem de precisão ou de elevada qualidade. Soldagem de peças de pequena espessura e tubulações de pequeno diâmetro. Execução do passe de raiz em tubulações. Soldagem de ligas especiais, não ferrosas e materiais exóticos. 	

Tabela 10 - Vantagens, limitações e aplicações. Fonte - Paulo Modenesi et al

6 - Soldadura por arco submerso

A Soldadura por Arco Submerso (Submerged Arc Welding, SAW) é um processo no qual a coalescência dos metais é produzida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eléctrodo metálico contínuo e a peça. O arco é protegido por uma camada de material fusível granulado (fluxo) que é colocado sobre a peça enquanto o eléctrodo, na forma de arame, é alimentado continuamente. O fluxo na região próxima ao arco é fundido, protegendo o arco e a poça de fusão e formando, posteriormente, uma camada sólida de escória sobre o cordão. Este material pode também ajudar a estabilizar o arco e desempenhar uma função purificadora sobre o metal fundido. Como o arco ocorre sob a camada de fluxo, ele não é visível, daí o nome do processo.

As propriedades mecânicas da soldadura são determinadas pela combinação eléctrodo - fluxo.

O mesmo eléctrodo com fluxos diferentes pode originar propriedades mecânicas muito diferentes.

Processo automático

Soldadura de excelente qualidade

Taxa de depósito elevada (4 a 5 Kg/h)

Soldadura na horizontal

Treino reduzido

Soldadura sob protecção de fluxo

Espessuras acima de 5 mm

Investimento elevado

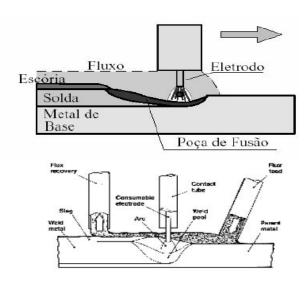


Imagem 20 - Resumo de soldadura por arco submerso. Fonte - Altino Loureiro

Eléctrodos:

Sólidos de 2; 3; 4; 5 e 6 mm

Fluxos:

Fundidos, aglomerados (rutilo, básicos, mistos)

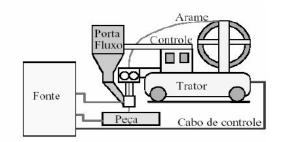


Imagem 21 - soldadura por arco submerso. Fonte - Altino Loureiro

Vantagens e limitações	Aplicações	
Altas velocidades de soldagem e taxas de deposição. Produz soldas uniformes e de bom acabamento superficial. Ausência de respingos e fumos. Dispensa proteção contra radiação devido ao arco não visível. Facilmente mecanizado. Elevada produtividade. Soldagem limitada às posições plana e filete horizontal. Aporte térmico elevado pode prejudicar propriedades da junta em alguns casos. Necessário retirar a escória entre passes.	 Soldagem de aços carbono e ligados Soldagem de níquel e suas ligas. Soldagem de membros estruturais e tubos de grande diâmetro. Soldagem em fabricação de peças pesadas de aço. Recobrimento, manutenção e reparo. 	

Tabela 11 - Vantagens, limitações e aplicações. Fonte - Paulo Modenesi et al

7 - Soldadura de pinos

Pinos metálicos, ou componentes similares podem ser soldados a uma peça metálica de diversas maneiras, incluindo por arco elétrico, resistência, fricção e percussão (descarga de condensadores).

O presente item apresenta o processo de soldadura a arco de pinos (Stud Welding, SW) que trabalha com equipamentos desenvolvidos especificamente para este tipo de aplicação. Assim, na UFCD 898 - Soldadura e soldobrasagem, Mário Loureiro, Escola Secundária da Anadia, 2020/2021 22

soldadura de pinos, este é unido a uma peça pelo seu aquecimento e da peça por um arco estabelecido entre ambos. Quando as superfícies a serem unidas estão adequadamente aquecidas, elas são colocadas em contato com uma leve pressão. Bocais cerâmicos são comumente usados entre o pino e a peça para concentrar o calor do arco e limitar a entrada de ar na região aquecida.

O processo é muito rápido, apresentando tempo de operação inferior a um segundo, e simples, utilizando, em geral, pistolas semiautomáticas.

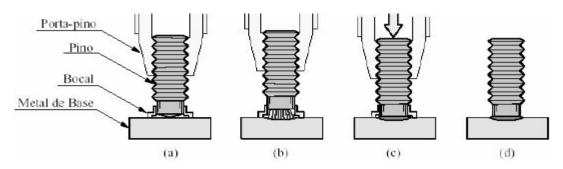


Imagem 22 - soldadura de pinos. Fonte - Altino Loureiro

a) Posicionamento da tocha; b) Estabelecimento do arco e levantamento do pino; c) Pressão do pino contra peça; d)soldadura concluída.

8 - Soldadura laser

Sólidos (1 kW) YAG (ytrium aluminum garnet) (feixe laser transmitido por fibra óptica)

Gasosos (CO₂) (20 kW) (transmissão por espelhos

Elevada densidade de potência (10⁹ a 10¹¹ wm⁻²)

Processo automático

Preparação de juntas muito exigente

Espessuras até 20 mm (50 mm)

Soldaduras de elevada qualidade

Investimento elevado (até € 500 000)

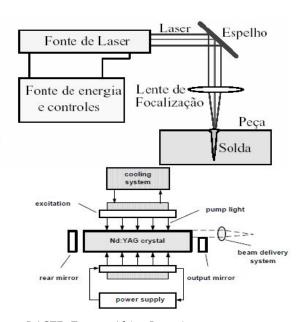


Imagem 23 - Resumo da soldadura a LASER. Fonte - Altino Loureiro

9 - Brasagem e soldobrasagem

9.1 - Brasagem

A brasagem é o mais antigo dos processos que utilizam a fusão para ligar peças metálicas.

Nesse processo, há sempre a adição de metal não ferroso, que se funde na região de soldadura, que estará aquecia a uma temperatura conveniente. Assim, a união é feita, aquecendo-se o material base, sem fundi-lo, até temperaturas correspondentes à fluidez do material de adição.

É adicionada uma solda de ponto de fusão mais baixo que os materiais a unir. Permite unir materiais com ponto de fusão diferente.

Dependendo do metal a ser soldado pode ser necessário a utilização de um fluxo que promove a remoção e a dissolução dos óxidos e impurezas superficiais. O fluxo normalmente levado até a região da soldadura com auxílio do arame do material de adição.



Imagem 24 - Exemplo de solda oxiacetilénica

9.1.1 - Brasagem forte e fraca:

Brasagem fraca – soldas com ponto de fusão inferior a 450 °C (à base de estanho).

Brasagem forte – soldas com ponto de fusão superior a 450 °C (soldas de prata, cobre e latão).

Utilizações de soldas fracas - Indústria eléctrica, para a soldadura de componentes em placas de circuitos impressos, ligações de terminais eléctricos, solda de radiadores em cobre, etc.

Utilizações de soldas fortes - Tubos de cobre por ligas de prata ou cobre na climatização e refrigeração, tubos de aço de canalizações hidráulicos por ligas de prata. Fixação de pastilhas de corte. Equipamentos para industria aeronáutica. Equipamentos elétricos, etc.

Solda de bronze - É feita com material de adição sob forma de varetas com liga de cobre e zinco. Estas varetas possuem usualmente a seguinte combinação 60% de cobre e 40% de zinco, podem conter também a adição de estanho, ferro, manganês e silício em proporções menores.

Meio de aquecimento variado (chama, forno, indução, resistência, onda, ...etc)



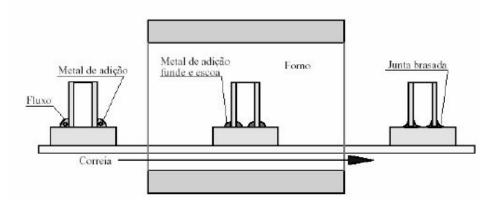


Imagem 25 – soldadura por brasagem manual e em forno. Fonte – Altino Loureiro



Imagens 26 a 28 - soldadura por onda e máquina de soldar circuitos impressos. Máquina de Mário Loureiro Enga Lda

9.2 - Soldobrasagem

Nesta soldadura o metal base (MB) funde-se. Por exemplo para soldar antimónio é necessário arranjar uma base que segure o material que vai fundir, passa ao estado líquido, pode ser em cobre ou aço que têm temperaturas de fusão mais elevadas e não ligam ao antimónio.

10 - Soldadura oxiacetileno ou oxiacetilénica

Este processo foi introduzido industrialmente em 1903.

Soldadura oxi-gás (Oxifuel Welding, OFW) compreende um grupo de processos de soldadura que utilizam o calor produzido por uma chama de combustível gasoso e oxigénio para fundir o metal de base e se usado, o metal de adição.

Diferentes gases combustíveis podem utilizados, mas o mais comum para a soldadura dos aços e de outras ligas metálicas é o acetileno (C₂H₂). Durante a operação, a chama resultante da mistura gásoxigénio na ponta do maçarico é usada para a fusão localizada do metal de base e a formação da poça de fusão. O soldador movimenta a tocha ao longo da junta para conseguir a sua fusão uniforme e progressiva, adicionando, se for o caso, metal de adição.

Este processo é mais usado na soldadura de chapas finas (em geral, com uma espessura inferior a 6 mm) e de tubos de pequeno diâmetro e na soldadura de reparo, podendo ser usado para aços, em particular aços carbono, e para ligas não ferrosas. Dependendo do material a ser soldado, é preciso usar um fluxo para garantir a escorificação de impurezas. A qualidade da solda tende a ser inferior à da soldadura a arco devido à menor eficiência da proteção.

A soldadura oxiacetilénica é um processo no qual a união das peças é obtida pela fusão localizada do metal por uma chama gerada pela reação entre o oxigénio e o acetileno.

Pode ser necessário a utilização de material de adição, que em forma de arames é aplicado pelo soldador com uma mão, enquanto que com a outra mão ele manipula o maçarico.

A proteção do metal fundido é proporcionada pelos gases resultantes da queima primária em uma chama corretamente ajustada.

As superfícies a serem soldadas são aquecidas pela chama até a fusão das bordas , formando uma poça de fusão, que estabelece a interação entre as duas peças. (autógena)

Conforme a espessura ou as condições de soldadura do material base há a necessidade de adição ao processo de mais material na forma de varetas (material de adição).

Soldadura oxiacetilénica

$$2C_2H_2+5O_2 \longrightarrow 4CO_2+2H_2O+Q$$

Processo antigo

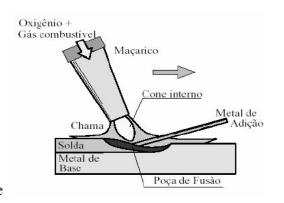
Soldadura de chapa fina

Grande aquecimento das peças

Temperatura da chama na ordem de 3000 °C

Equipamento barato

Soldadura com pouca qualidade



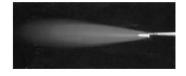


Imagem 29 - soldadura por fusão. Fonte - Altino Loureiro

O oxigénio é, em geral, fornecido em cilindros de gás comprimido (200 atm). Em locais onde este gás é muito utilizado, ele pode ser fornecido a partir de instalações centralizadas. O acetileno é fornecido em geral dissolvido em acetona dentro de cilindros próprios.

Geradores de acetileno, onde este é produzido pela reação de carbureto de cálcio e água também podem ser usados mas estão em Portugal estão desuso. Os maçaricos são dispositivos que recebem o oxigénio e o gás combustível, fazem a sua mistura na proporção correta e libertam esta mistura, no seu bico, com uma velocidade adequada para a sua queima. O equipamento para soldadura OFW é muito versátil, podendo ser utilizado, através de mudanças de regulação ou troca de bicos do maçarico, para corte a oxigénio, tratamento térmico de pequenas peças e para brasagem.

Uma alternativa mais barata ao acetileno é o propano.

Gás combustível	Temperatura de combustão	
	Com oxigênio	Com ar
Acetileno - (C ₂ H ₂)	3480	2650
Hidrogênio - (H ₂)	2980	2200
Propano - (C_3H_8)	2925	2090
Butano - (C_4H_{10})	2980	2150
Gás natural - (CH ₄ e H ₂)	2775	2090

Tabela 12 - Gases para soldadura

10.1 - Acetileno e tipo de chama

O acetileno industrial é um gás incolor, odor picante característico. Ele é mais leve que o ar e se dissolve facilmente em líquidos.

Muito instável, apresenta perigo de explosão quando comprimido a pressões entre 15 e 20 bar.

Devido à sua instabilidade a pressões elevadas, o acetileno é armazenado em cilindros dissolvido em acetona. Esta, para cada aumento de 1 atm de pressão, dissolve um volume de acetileno 25 vezes maior do que o seu.

O cilindro é cheio até uma pressão de cerca de 17,5 kgf/cm².

A vazão de consumo possui um limite acima do qual:

- a) a pressão interna cai rapidamente dando a impressão de que o cilindro está vazio.
- b) o acetileno tende a carregar, misturado consigo, uma certa quantidade de acetona.

Nota - Nunca deve se deitar o cilindro. Nesta situação, a acetona sairá em grande quantidade misturada com acetileno.

A pressão de saída de acetileno não deve exceder 1,5 kgf/cm².

A reação química da chama oxiacetilénica pode ser ajustada pela variação da relação da mistura do oxigénio / gás combustível, modificando assim as características da chama:



Imagem 30 - os 3 tipos de chama

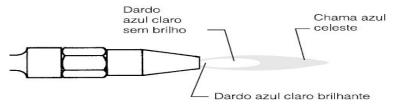


Imagem 31 - Chama Redutora – Fonte -Enbarco

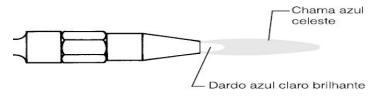


Imagem 32 - Chama Neutra - Fonte - Enbarco



Imagem 33 - CHAMA OXIDANTE - Fonte -Enbarco

10.1.1 - Aplicações do tipo de chama:

Chama neutra - Soldadura de aços ao carbono e nos materiais não ferrosos assegurando a protecção da oxidação e de ações químicas no metal em fusão;

Chama oxidante - Soldadura de cobre, bronzes, níquel e prata, com o fim de proteger o metal em fusão dos efeitos nocivos do hidrogénio;

Chama redutora - Soldadura de alumínio, onde a tendência à oxidação é muito grande ou em aços com elementos de liga.

10.2 - Constituição do conjunto oxiacetilénico

O equipamento básico para soldadura manual consiste de fontes de oxigénio e gás combustível, reguladores de vazão, mangueiras e do maçarico.

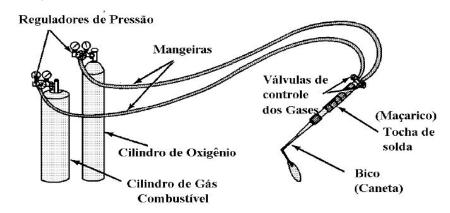


Imagem 34 - conjunto oxiacetilénico. Fonte - UTFPR



Imagem 35 - Equipamentos oxiacetilénicos e a propano/butano

10.2.1 - REGULADORES DE GÁS

A função principal desses equipamentos é o controlo da pressão do gás. Eles reduzem a pressão alta do gás que vem do cilindro para a pressão de trabalho do maçarico, mantendo-a constante durante toda a operação.

O princípio de construção de reguladores para diferentes gases é o mesmo, isto se deve sempre por causa da pressão que eles são submetidos para controlar diferentes soldagens de gás a gás (150 bar UFCD 898 - Soldadura e soldobrasagem, Mário Loureiro, Escola Secundária da Anadia, 2020/2021 28

para oxigénio e 17 bar para o acetileno) além do mais eles são designados para manter respetivamente diferentes pressões. Isto ocorre porque um regulador de gás é usado apenas para o gás para o qual ele é designado. Para evitar confusão e perigos, a conexão para gases combustíveis e tubos de oxigénio têm roscas diferentes e correspondentes ao filetes das válvulas, um tem rosca direita o outro com rosca esquerda.



Imagem 36 - Reguladores

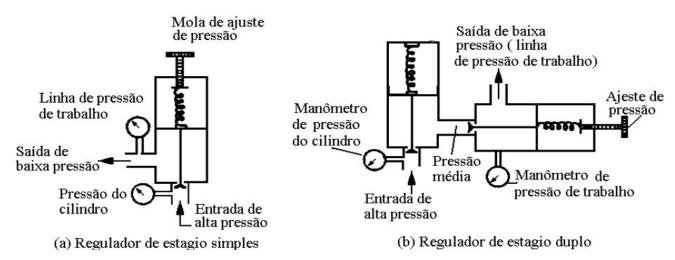


Imagem 37 - Funcionamento dos reguladores. Fonte - UTFPR

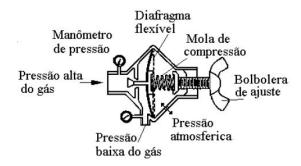


Imagem 38 - Operação de um regulador de gás de um estágio. Fonte - UTFPR

10.2.2 - Válvulas de retenção ou anti retrocesso

São válvulas colocadas nas linhas de oxigénio e acetileno para evitar o retorno de gás ou o refluxo da chama. Isso pode ocorrer quando a velocidade da chama é maior que a velocidade de fluxo do gás. Neste caso a chama pode atravessar a câmara de mistura em sentido contrário e avançar pela mangueira.



Imagem 39 - Válvulas anti retorno.

10.2.3 - Mangueiras

As mangueiras do equipamento oxiacetilénico obedecem a um código fixo de cores:

acetileno -vermelho

oxigénio -verde.

Mangueiras para o acetileno, gás LP, e combustíveis líquidos são projetados para trabalhar a uma pressão até 0.6 MPa e para o oxigénio para uma pressão de trabalho até 1.5 MPa.

10.2.4 - Maçarico

O equipamento básico é formado por:

- a) Corpo do maçarico
- b) Conexões das mangueiras
- c) Dois tubos separados para passagem dos gases
- d) Válvulas para controlo da vazão dos gases
- e) Câmara de mistura dos gases
- f) Bicos

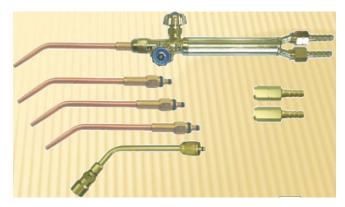


Imagem 40 - maçarico, ponteiras e vários bicos

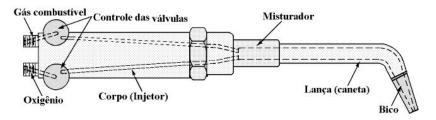


Imagem 41 - Tocha de oxiacetileno. Fonte - UTFPR

Para controlar a chama de oxi-combustível é essencial que o orificio do bico de solda esteja limpo, liso e paralelo. Se este orificio estiver sujo, gasto ou obstruído com salpico de metal etc, a chama será assimétrica e distorcida que pode ser difícil para usar. Se o bico estiver gasto com formato de um sino, será necessário corrigi-lo e se as partículas de metal forem depositadas dentro do orificio as mesmas devem ser removidas com a ajuda de um limpador de bico.

10.3 - Cuidados a ter no seu manuseamento

As mangueiras, de acetileno e de oxigénio, devem ser purgadas, nesta ordem, antes de acender o maçarico.

O maçarico deve ser aceso inicialmente com o fluxo de acetileno somente, e depois aberto o fluxo de oxigénio.

Nunca deve ser utilizado óleo ou massa nas roscas e nos reguladores, bicos, maçaricos, ou qualquer outro equipamento que entre em contato com o oxigénio.

O oxigénio nunca deve ser utilizado como ar comprimido, para limpeza, por exemplo.

A área de trabalho deve ser mantida livre de qualquer produto combustível.

Devem tomar as devidas precauções de não colocar ou deixar as mangueiras em cima de metais quentes e em temperaturas abaixo de -35 °C, é necessário que mesma seja constituída de borracha resistente para suportar baixas temperaturas.

10.4 - Materiais utilizados (há muitos fluxos para cada tipo de metal mas não indicam composição)

Metal	Material de adição	Tipo de chama	Fluxo pó a base de cloretos Fluxo de Bórax				
Alumínio	alumínio	Levemente redutora					
Latão	Latão amarelo	Levemente oxidante					
Bronze	Cobre-estanho	Levemente oxidante	Fluxo de Bórax				
Cobre	Cobre	Neutra	-				
Níquel-cobre	Níquel-cobre	Redutora	-				
"inconel" 76%N _i + 15%C _r + 9%F _e		Levemente redutora	Fluxo de flúor				
Ferro-fundido	Ferro-fundido	Neutra	Fluxo de bórax				
Ferro trabalhado	Aço	Neutra	_				
Chumbo	Chumbo	levemente redutora	-				
"Monel" 60-70%N _k 25-35%C _k F ₄ C		Levemente redutora	boratos e carbonatos				
Níquel	Níquel	Levemente redutora	-				
Niquel-prata	Níquel-prata	Redutora	-				
Aço baixa liga	Aço	Levemente redutora	-				
Aço de alto carbono	Aço	Redutora	-				
Aço de baixo carbono	Aço	Neutra	-				
Aço de médio carbono	Aço	Levemente redutora	-				
Aço inoxidável	Aço inoxidável	Levemente redutora	boratos e carbonatos				

Tabela 13 - Tipo de chama e fluxos por metal, corrigida por Mário Loureiro. Fonte - UTFPR

11 - Problemas associados à ligação no estado líquido

- a) Sujidade (óxidos)
- b) Defeitos
- c) Alterações estruturais
- d) Alteração das propriedades mecânicas
- e) Deformações
- f) Tensões residuais
- g) Materiais com diferentes pontos de fusão

Estes podem levar ao aparecimento de fendas e até à rutura da peça soldada, ver imagem seguinte.

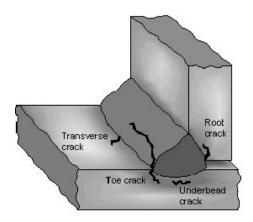


Imagem 42 - Fendas na soldadura. Fonte - Altino Loureiro

12 - Higiene e Segurança em Trabalhos de soldadura

Devemos ter em atenção os seguintes requisitos:

Boa ventilação, pois os gases da soldadura fazem mal;

Boa iluminação;

Limpeza - Manter limpa a bancada de soldadura e o chão para a prevenção de incêndios, pois o lixo incendeia-se com a prática de soldadura.

EPI:

Solda por arco (produz UV) - Luvas de pele (couro), avental de pele para soldadura ou trabalho com peças quentes, para proteção de queimaduras no abdómen por UV e por salpicos de metal incandescente, e usar um par de proteção em couro para o peito dos pés, art.º 15 do Decreto-Lei 50/2005;

Solda por gás - usar óculos escuros que levantam e com vidros transparentes, para proteção de salpicos, miniexplosões,...;

Na soldadura em automóveis deve haver sempre uma pessoa a auxiliar para detetar qualquer foco de incendio que surja, pois as tintas incendeiam-se.

Quando temos de sodar por baixo, vamos ter de levantar os braços e só o uso de luvas de soldador, que são em pele e compridas nos protegem de queimaduras nas mãos e braços por respingos (bolas metálicas a elevadas temperaturas emanadas tanto de MIG como de eléctrodo revestido) e ou gotas, pois as mangas ficam arregaçadas podendo assim entrarem respingos ou gotas dentro da roupa.

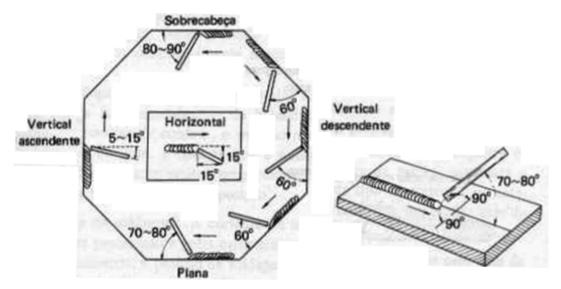


Imagem 43 - Inclinações na soldadura a ER. Fonte - Lucas Berti



Imagem 44 - Qualidade na soldadura, aulas de doutoramento. Fonte - Altino Loureiro, 2014

13 - Bibliografia

Apostila de solda oxiacetilénica, UTFPR, Brasil;

Apresentação, Tecnologia Mecânica II, ISEC, DEM, Coimbra;

Cleber Fortes, Apostila de Eletrodos Revestidos, ESAB Brasil, 2005;

Loureiro, Altino, SOLDADURA DE MATERIAIS METÁLICOS, Aspectos tecnológicos e metalúrgicos, Universidade de Coimbra;

Loureiro, Mário, UFCD 349 - Ambiente, Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho - conceitos básicos, Coimbra, 2020;

Lucas F. Berti, Processamento e Manufatura de Metais 1, UTFPR, Brasil;

Modenesi, Paulo J Marques, Soldadura I, Introdução aos Processos de Soldadura, UFMG, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Belo Horizonte, 2006, Brasil;

Victor Áquila, PROCESSO DE SOLDAGEM TIG, L&A SOLDAGEM, Salvador, 2012;

Índice

i - Introdução histórica	1
ii - Soldadura na construção metálica	3
iii -Ligações soldadas	4
1 - Classificação dos processos de soldadura	. 4

1.1 - Processos de soldadura	4
1.1.1 - Soldadura por fusão	4
1.1.2 - Soldadura no estado sólido	4
1.1.3 - Brasagem e Soldobrasagem	5
2 - Soldadura por arco eléctrico	. 5
2.1 - Escorvamento do arco eléctrico	. 5
2.1.1 - Curto-circuito	5
2.1.2 - Faiscamento de alta frequência	6
3 - Soldadura por elétrodo revestido (ER)	
3.1 - Equipamentos de soldadura a ER:	
3.2 - Parâmetros de soldadura a ER	
3.3 - Classificação dos eléctrodos	
3.3.1 -Tipo de posições de soldadura	
3.3.2 - Tipos de corrente eléctrica	
3.3.3 - Tipos de revestimento	
3.3.3.1 - Eléctrodos Celulósicos	
3.3.3.2 - Eléctrodos Rutílicos	
3.3.3.3 - Eléctrodos Básicos	
3.3.3.4 - Eléctrodos Oxidantes	
3.4 - Características individuais dos eléctrodos revestidos	
3.5 - Armazenagem de ER	
Martelamento	
3.6 - Fontes de energia.	
3.6.1 - Tipos de fontes.	
4 - Soldadura MIG/MAG	
4.1 - Fontes de alimentação	
4.2 - Funcionamento	
5 - Soldadura TIG	
5.1 - Gases de protecção	
5.1.1 - Caudal do gás	
5.2 - Eléctrodo	
5.3 - Parâmetros/cuidados	
6 - Soldadura por arco submerso.	
7 - Soldadura de pinos	
8 - Soldadura laser	
9 - Brasagem e soldobrasagem	
9.1 – Brasagem	
9.1.1 - Brasagem forte e fraca	
9.2 – Soldobrasagem	
10 - Soldadura oxiacetileno ou oxiacetilénica	
10.1 - Acetileno e tipo de chama	
10.1.1 - Aplicações do tipo de chama	
10.2 - Constituição do conjunto oxiacetilénico.	
10.2.1 - REGULADORES DE GÁS	28
10.2.2 - Válvulas de retenção ou anti retrocesso	29
10.2.4 - Maçarico	30
10.2.3 - Mangueiras	30
10.3 - Cuidados a ter no seu manuseamento	31
10.4 - Materiais utilizados	31
12 - Higiene e Segurança em Trabalhos de soldadura	32
11 - Problemas associados à ligação no estado líquido	32
13 - Bibliografia	33

Anexo

Aplicabilidade dos processos da soldadura (E. Weiner, Soldagem – Processo de Metalurgia, 1992).

		Processos de soldagem														
Materiais e espessuras		Eletrodo revestido	Arco submerso	MIG ou MAG	Eletr. tubular	TIG	Plesma	Eletroescória	Resistência	Oxigás	Feixe de elétrons	Laser	Brasagem	Soldagem branca	Difusão	Atrito
Aço-carbono	F M G	x x x	x x x	× × ×	×××	×		×	×××	x x x	x. x x	x x	x x x	×		×××
Aço de baixa liga	F M G	x x x	××××	x x x	x x x	×		x	×	×	x x x	×	x x x	×	x x x	X X X
Aço inoxidável	F M G	x x x	x x x	x x x	x x x	×	x x x	×	×	×	x x x	x x	x x x	×	× × ×	x x x
Ferro fundido	I М G	x x	×	×	×					x x	-		×	-		
Níquel e suas ligas	F I M G	x x x	x x	x x x		×	x x x	×	×	×	x x x	x x x	x x x	×		×××
Alumínio e suas ligas	F I M G			××××		X X	×	×	×		x x x	×	××	×	×	×××
Titânio e suas ligas	F M G			××××		×××	×××		×		××××	x x	×		x x x	×××
Cobre e suas ligas	F I M G	-		××××		×	×			×	× × ×		x x	×		××××

Mário Loureiro

Faz manutenção desde 1974 a veículos incluindo pesados, máquinas, hidráulicos, pneumáticos, gruas, equipamentos de elevação, geradores, aparelhos electrónicos e de som, automatismos...

Fabrica desde 1980 aparelhos electrónicos, colunas de som, quadros eléctricos, automatismos,...

Instala e faz manutenção a instalações eléctricas/águas, sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, iluminação a LED desde 2013, ...

Curso Secundário Tecnológico de Mecânica, Escola Secundária Avelar Brotero (ESAB) 1979-1982.

Formador externo desde 1996 (FORSIVA) e professor no Ministério da Educação desde 1998.

Inscrito na Ordem dos Engenheiros (OE) desde 20/12/1998.

Licenciatura em Eng.^a Mecânica pela Universidade de Coimbra (UC), 1997.

Mestre em Eng.^a Mecânica (pré-Bolonha), pela UC, 2008.

Engenheiro sénior da OE, 2013.

Técnico responsável de instalações eléctricas e geradores, inscrito na DGEG desde 2013.

Aluno do mestrado em Enga Electrotécnia, UC, de 2015 a 2017, (do 5º ano só falta a dissertação).

Doutorando em Construções Metálicas e Mistas, Eng.ª Civil, UC, de 2013 a 2017.

Realizou 70 cadeiras do ensino superior, incluindo 5 de doutoramento com média de 15 valores.

Especialista em Engenharia de Segurança da OE, 2021.

Coimbra 04/03/2021

Este e outros manuais estão disponíveis em www.marioloureiro.net/EnsinoFormacao.htm