

MANUAL DO ALUNO

DISCIPLINA SOLDADURA

Módulos 1, 2 e 3

República Democrática de Timor-Leste
Ministério da Educação



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE SOLDADURA

Módulos 1 a 3

AUTOR

NUNO BOAVIDA

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA

XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO



PEDRO VIEGAS, COORDENADOR DO CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA

DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA

EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

XXXXXX

ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM

XXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE

2015



Índice

Brasagem e Soldobrasagem	7
APRESENTAÇÃO MODULAR	8
APRESENTAÇÃO	8
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM	8
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS	8
BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS	9
BRASAGEM.....	10
SOLDOBRASAGEM	14
MOLHABILIDADE	14
EFEITO CAPILAR	16
FOLGA NA BRASAGEM	18
AGENTES FLUXANTES	19
METAIS DE ADIÇÃO	22
INTERAÇÃO METAL DE ADIÇÃO-MATERIAL BASE.....	24
SOLDABILIDADE	26
JUNTAS PARA BRASAGEM	26
EXERCÍCIOS TEÓRICOS	28
Soldadura TIG	31
APRESENTAÇÃO MODULAR	32
APRESENTAÇÃO	32
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM	32
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS	32
BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS	33



SOLDADURA TIG.....	34
ELÉTRODOS.....	35
PARÂMETROS DE SOLDADURA	38
CORRENTE DE SOLDADURA	39
METAIS DE ADIÇÃO	40
GASES DE PROTEÇÃO	41
EQUIPAMENTO	43
IGNIÇÃO DO ARCO.....	45
CILINDRO DE GÁS	45
FONTES DE SOLDADURA.....	46
CLASSIFICAÇÃO ABNT	48
CLASSIFICAÇÃO AWS	49
MÁQUINAS PARA SOLDADURA.....	50
VARIÁVEIS DO PROCESSO E AS SUAS INFLUÊNCIAS	52
DEFEITOS DE SOLDADURA	54
POSICIONAMENTO DA TOCHA.....	56
EXERCÍCIOS TEÓRICOS	58
Soldadura MIG MAG.....	61
APRESENTAÇÃO MODULAR	62
APRESENTAÇÃO	62
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM	62
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS	62
BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS	63
SOLDADURA MIG/MAG	64
MODOS DE TRANSFERÊNCIA DO METAL	65



ETAPAS, TÉCNICAS E PARÂMETROS DO PROCESSO	67
EQUIPAMENTOS	72
SOLDADURA MANUAL.....	72
FORNECIMENTO DE ENERGIA.....	76
GASES DE PROTEÇÃO.....	80
ARAMES	81
TÉCNICAS E PARÂMETROS DE SOLDADURA.....	84
POSIÇÕES DE SOLDADURA	93
CONDIÇÕES DE SOLDADURA	98
DEFEITOS DE SOLDADURA	101
EXERCÍCIOS TEÓRICOS	110







Brasagem e Soldobrasagem

Módulo 1

APRESENTAÇÃO MODULAR

APRESENTAÇÃO

Pretende-se com este módulo dar aos alunos conhecimentos básicos para a operação de um processo de brasagem e soldobrasagem.

OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

Identificar e caracterizar tipos de elementos de união de chapas, assim como processos de corte e conformação da chapa.

ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- Brasagem
- Soldobrasagem
- Molhabilidade
- efeito de capilaridade
- Agentes fluxantes
- Metais de adição



BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

Soldagem - Processos e Metalurgia – Emílio Wainer, Sérgio Duarte Brandi, MM Editora.

Tecnologia da soldadura - J. F. Oliveira Santos, Modulform.

Apontamentos de Soldagem, Okimoto, Universidade Federal do Paraná - Departamento de Engenharia Mecânica.

Apontamentos de Brasagem, Luiz Gimenes Jr, NT – Soldagem e Qualidade.



BRASAGEM

Promover a união entre diferentes peças ou materiais é uma operação realizada desde os tempos pré-históricos, na confecção de pequenos artefactos de pedra e madeira. A união por meios mecânicos (por exemplo, rebiteagem) é realizada há vários séculos em diversas aplicações, como a mostrada na figura 1, onde são observados 3 diferentes capacetes datados de 500 anos antes de Cristo, originários da Itália.



Figura 1 - Capacetes fabricados em metal, com uniões por rebiteagem, datados de 500 AC. Museu de Karlsruhe - Alemanha.

A técnica de união por brasagem é, provavelmente, a mais antiga forma de unir os materiais, sem considerar os meios mecânicos. Utilizava-se, por exemplo, a brasagem na confecção de artefactos em ouro (joias), como a mostrada na figura 2. Trata-se de uma fivela de ouro com pequenos filigranas brasados sobre um disco e detalhes em pedras preciosas. Na parte posterior observa-se ainda outras partes brasadas. Esta fivela é originário da França, datado aproximadamente de 700 DC. Há literaturas que apontam joias brasadas datadas de 1500 a 4000 AC.





Figura 2 - Fivela em ouro com partes brasadas, datado de 700 DC. Museu de Colônia - Alemanha.

Apesar de ser uma técnica de união conhecida desde há muito tempo, a brasagem é até hoje amplamente utilizada em inúmeras aplicações devido a capacidade de unir materiais de natureza muito distinta e com pequenas secções transversais, utilizados em peças para automóveis, frigorífica, permutadores de calor, componentes aeronáuticos e aeroespaciais, componentes eletrônicos, etc. Tem ainda a grande vantagem de permitir a união de materiais diferentes, tais como metais e cerâmicas, de difícil execução por outra técnica de soldadura.

Podemos ver alguns exemplos nas figuras 3, 4, 5 e 6. Na figura 3 é mostrada a união entre componentes tubulares de cobre e aço, com aplicações típicas de componentes para indústria de refrigeração e peças para automóveis. Na figura 4 são mostradas a brasagem de permutadores de calor de alumínio utilizado em sistemas de refrigeração de carros de passeio. Na figura 5 é mostrada a brasagem entre a cerâmica alumina – Al_2O_3 - e um material metálico de liga Fe-Ni-Co. Na figura 6 são mostradas a brasagem entre cobre e grafite, com aplicações na indústria nuclear.

Figura 3 – Brasagem entre tubo de cobre e anel de aço.





Figura 4 - Brasagem de condensadores de ar condicionado automotivo.

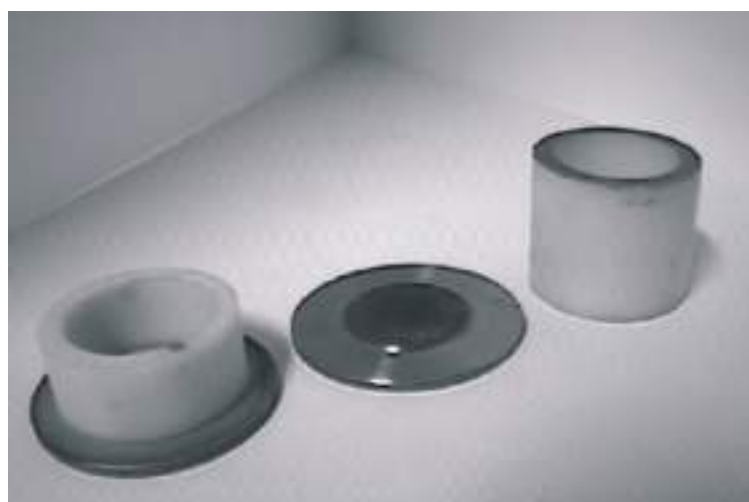


Figura 5 - Brasagem entre cerâmica alumina e liga Fe-Ni-Co.

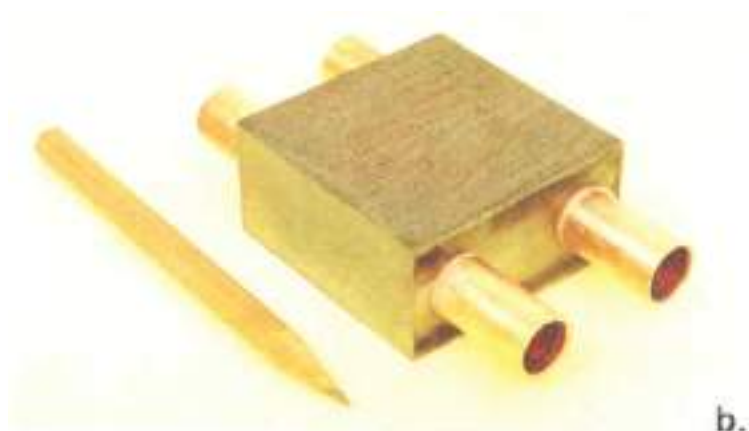


Figura 6 - Brasagem entre grafite e cobre.



Como definição, podemos dizer que **brasagem** é um processo térmico de união de materiais onde se utiliza uma fase líquida obtida, normalmente, pela fusão de um metal de adição, que preenche a folga entre os materiais base por efeito capilar. O metal de adição deve possuir fundir-se em temperaturas abaixo do início da fusão de qualquer dos materiais base envolvidos.

Alguns dos termos técnicos utilizados quando se fala deste processo são os seguintes:

- **Materiais base:** são os materiais a serem unidos. Por exemplo : tubo de cobre com tubo de cobre; tubo de aço com tubo de cobre;
- **Metal de adição:** um metal puro ou liga metálica apropriada para a brasagem. Por exemplo: cobre puro ou ligas contendo prata-cobre-zinco;
- **Temperatura de fusão:** é a temperatura na qual um metal puro ou uma liga eutética funde-se;
- T_{solidus} : temperatura na qual começa a fusão de uma liga metálica;
- T_{liquidus} : temperatura na qual termina a fusão de uma liga metálica;
- **Temperatura de brasagem** (de trabalho): é a temperatura a que estão submetidos os materiais base durante a brasagem;
- **Folga:** distância que separa os materiais a serem unidos conforme mostrado, por exemplo, na figura 7;

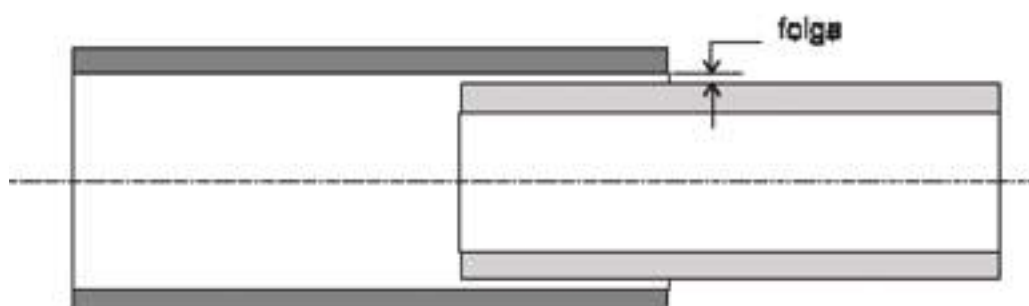


Figura 7 - Ilustração da definição de folga.

- **Tipos de juntas brasadas:** são as configurações básicas em que os materiais base serão brasadas. Existem 3 tipos de juntas brasadas: sobreposta, de topo e em ângulo, cuja representação esquemática pode ser vista na figura 8.



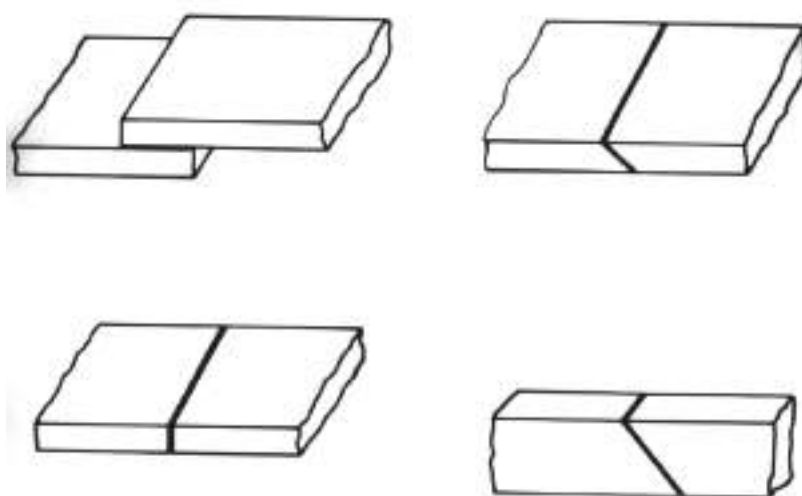


Figura 8 - Tipos de juntas brasadas.

SOLDOBRASAGEM

Semelhante ao processo de brasagem, a **soldobrasagem** diferencia-se devido a folga na junta ser maior que 0,50 mm e/ou possuir chanfro. Pode afirmar-se com segurança que a soldobrasagem é um processo intermédio entre soldadura e a brasagem, pois reúne características de ambos os processos. Daí o nome de “Solda” e “Brasagem”.

Diferencia-se do processo de soldadura autogénea (soldadura oxi-combustível) devido à temperatura de intervalo de fusão do metal de adição ser inferior ou menor que a temperatura de fusão dos materiais base, sendo a estrutura cristalina dos mesmos menos afetada do que no processo de soldadura autogénea.

Possibilita a união de materiais dissimilares, como por exemplo: aços carbono com cobre e suas ligas, bronzes, latões, ferros fundidos e ligas de níquel.

MOLHABILIDADE

Denomina-se **molhabilidade** a capacidade de uma fase líquida espalhar-se sobre um substrato sólido. Na brasagem, a fase líquida é representada pelo metal de adição fundido e o substrato sólido pelo material base. Uma representação esquemática gráfica deste conceito pode ser visto na figura 9, onde temos 3 casos distintos de molhabilidade.





Figura 9 - Representação de diferentes condições de molhabilidade.

No 1º caso, o metal de adição não apresenta qualquer tendência ao espalhamento sobre o material base, mantendo-se na forma de uma gota, que não molha a superfície. Neste caso, não há qualquer contacto físico entre a fase líquida e o substrato, logo não haverá qualquer possibilidade de ocorrência de união.

No 2º caso, ocorre espalhamento do metal de adição sobre material base, sendo entretanto em nível limitado. Neste caso diz-se que a molhabilidade é moderada, existindo contacto físico entre a fase líquida e o substrato, o que permite uni-los.

No 3º caso, o metal de adição espalha-se completamente sobre o material base, formando quase um revestimento. Diz-se então que a molhabilidade é excelente, e o contacto físico entre a fase líquida é o maior possível, sendo a união entre estes facilmente obtida. Pode-se quantificar a molhabilidade de um metal de adição sobre um material base através de duas maneiras bastante simples. A primeira é medindo-se o ângulo de contacto α formado entre o substrato e a tangente à fase líquida no ponto de contacto. Neste caso, quanto menor o ângulo α , maior será a molhabilidade. A medida deste ângulo pode ser feita na temperatura ambiente, através de metalografia. Pode-se, ainda, medir o ângulo α na temperatura de brasagem, através de técnicas especiais a quente. A segunda maneira é padronizar um teste fundindo-se sempre a mesma quantidade de metal de adição sobre diferentes materiais base. Mede-se então a área ocupada pelo metal de adição. Quando maior a área ocupada, maior o espalhamento, e consequentemente maior a molhabilidade.

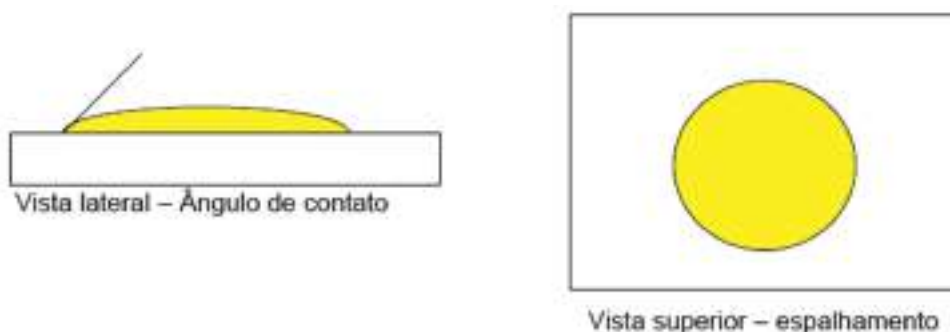


Figura 10 – Teste de molhabilidade.



EFEITO CAPILAR

O **efeito capilar** ou **capilaridade** é um fenômeno físico que ocorre quando uma fase líquida molha um substrato (figura 10). Existindo molhabilidade, a fase líquida tende a subir acima do nível normal através de efeito capilar, sendo a altura alcançada tanto maior quanto menor a folga. Em contrapartida, quando não existe molhabilidade, a folga se quer é preenchida, ficando o altura da fase líquida abaixo de seu nível normal.

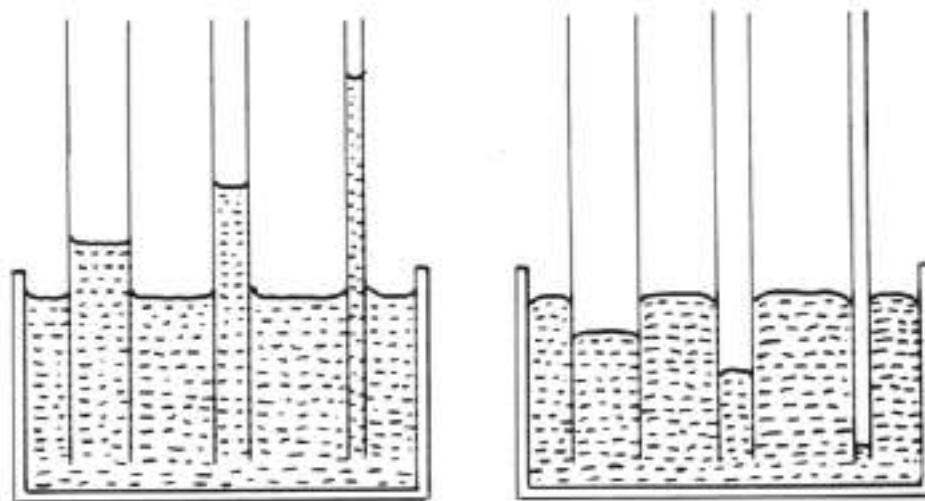
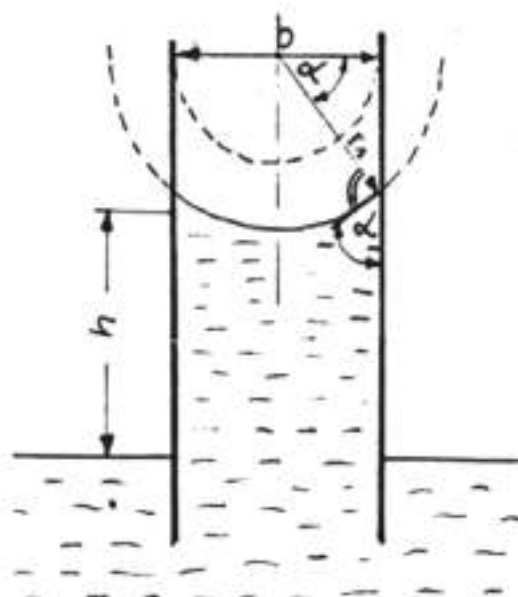


Figura 10 - Efeito capilar ou capilaridade em diferentes folgas e a influência da molhabilidade.

A figura 10 ilustra muito bem o comportamento que ocorre nas juntas brasadas. Só haverá enchimento da folga quando o metal de adição fundido molhar os materiais base, sendo que o enchimento se dará mais facilmente quanto menor a folga. Havendo molhabilidade, forma-se um menisco conforme mostrado na figura 11.

Figura 11 - Menisco que se forma quando existe molhabilidade de um líquido sobre um substrato: b – folga; h – altura do menisco formado; α – ângulo de contacto; r_1 – raio de curvatura do menisco; r_2 – raio de curvatura do líquido no nível de referência.



A brasagem é, portanto, o enchimento de uma folga entre os materiais base por um metal de adição fundido, que necessariamente apresenta molhabilidade sobre os materiais base. Uma representação esquemática da brasagem pode ser vista na figura 12, onde estão mostrados todos os elementos que a compõem.

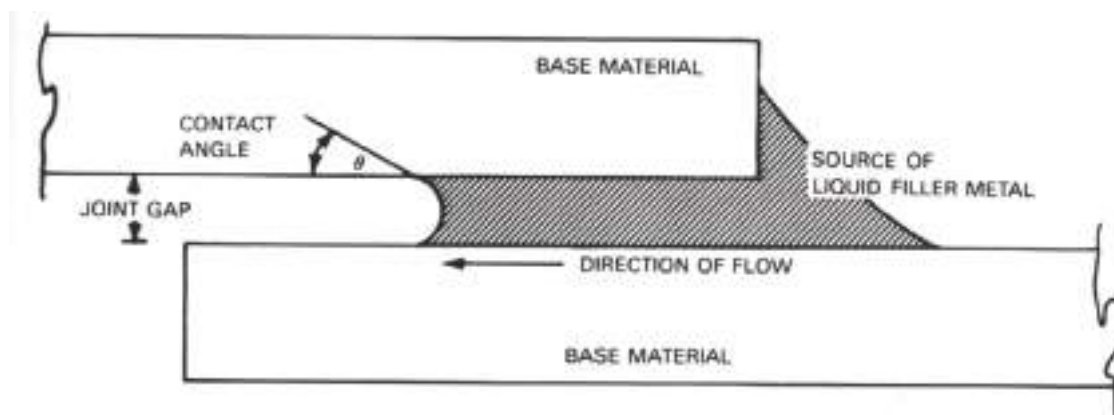


Figura 12 - Representação esquemática da brasagem.

Um exemplo real de peça brasada pode ser vista na figura 13, onde é mostrada uma junta brasada cobre-aço carbono, tendo-se como metal de adição uma liga de prata. Observa-se que o metal de adição apresenta uma boa molhabilidade sobre ambos os materiais base, uma vez que o ângulo de contacto é baixo. Isto acarretou o enchimento da folga, conforme mostrado esquematicamente na figura 12.

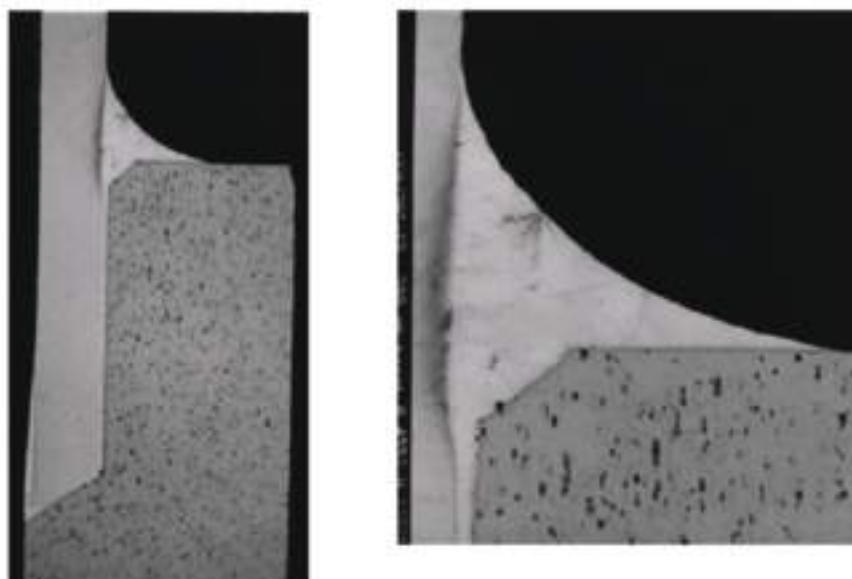


Figura 13 - Exemplo real de uma junta brasada cobre-aço carbono.



Um outro exemplo que permite consolidar a importância da molhabilidade na brasagem pode ser vista na figura 14, onde é mostrada uma junta cobre-aço carbono, tendo-se igualmente utilizado como metal de adição uma liga de prata. Observa-se que a molhabilidade ocorre somente sobre o cobre e não sobre o aço carbono. A consequência desta combinação foi que o metal de adição não penetrou na folga, impossibilitando assim a brasagem.

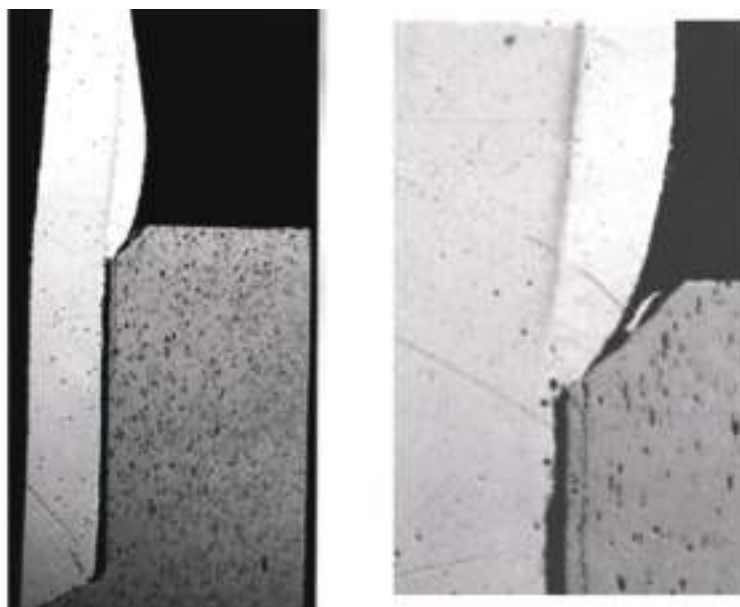


Figura 14 - Exemplo de caso real onde a ausência de molhabilidade não permitiu a ocorrência de efeito capilar, impossibilitando a brasagem.

FOLGA NA BRASAGEM

Demonstrou-se que o enchimento da folga entre os materiais base depende da capacidade do metal de adição fundido molhar o material base. Além disso, o enchimento ocorre mais facilmente quanto menor a folga. Poder-se-ia, então, imaginar que a folga a ser utilizada deveria ser a menor possível, pois assim seria facilitado o seu enchimento. Infelizmente este conceito está errado, pois a redução excessiva da folga acarreta a dificuldade da atuação do fluxo, que não realiza sua função adequadamente em espaços muito pequenos.

Assim como a folga não deve ser excessivamente pequena, nem ser excessivamente grande, pois o efeito capilar seria pequeno, o que dificulta o seu enchimento. Conclui-se, portanto, que a folga a ser utilizada deva estar compreendida dentro de uma certa faixa, onde sabidamente o fluxo atuará adequadamente e o efeito capilar seja satisfatório,



garantindo assim um adequado enchimento da folga.

As folgas a serem utilizadas geralmente estão na faixa de 0,05 a 0,20 mm, dependendo do metal de adição, do tipo de fluxo e do tipo de junta utilizada. Na tabela 1 estão indicados as folgas recomendadas para alguns tipos de metais de adição, onde verifica-se que a mesma varia de acordo com o tipo de fluxo e configuração da junta brasada. A variação da folga em função do tipo de agente fluxante deve-se ao fato das atmosferas de brasagem necessitarem menores espaços que os fluxos para atuarem satisfatoriamente.

Metal de adição Classificação segundo AWS	Folga recomendada [mm]	Fluxo utilizado e configuração da junta brasada
BCuP - ligas contendo cobre, fósforo e prata	0,025 - 0,125	com e sem fluxo mineral e junta brasada de comprimento inferior a 25mm
	0,175 - 0,375	com e sem fluxo mineral e junta brasada de comprimento superior a 25mm
BAg - Ligas contendo prata, cobre, cádmio, zinco (níquel, estanho)	0,05 - 0,125	com fluxo mineral
	0,0 - 0,05	atmosfera de brasagem

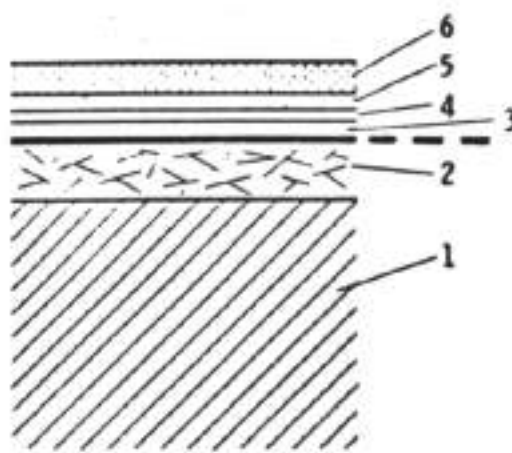
Figura 15 – Tabela de folgas recomendadas na temperatura de brasagem.

AGENTES FLUXANTES

Antes de realizarmos uma brasagem, deve-se proceder a limpeza da superfície dos materiais base, que devem estar isenta de óleos ou graxas. Isto porque o óleo ou graxa, quando aquecidos, produzem resíduos que ficam impregnados na superfície dos materiais, impedindo que o metal de adição molhe os materiais base e, como consequência, inviabilize a brasagem. Normalmente tais produtos são eliminados através de uma operação de desengraxe, realizada por solventes industriais.

A superfície dos materiais já desengraxada é composta de uma série de diferentes camadas, praticamente invisíveis, mostradas esquematicamente na figura 16.

Figura 16 - Característica da superfície dos materiais metálicos: 1 - metal ; 2 – zona encruada; 3 - camada de óxidos; 4 - camada de gases absorvidos; 5 - camada de humidade adsorvida; 6 - camada de moléculas polarizadas.



As camadas 1 e 2 representam o metal propriamente dito, onde encontramos os átomos do metal (por exemplo, nos aços podemos ter átomos de ferro, carbono, manganês, enxofre, etc.). As camadas 4, 5 e 6 são facilmente removidas através do aquecimento do metal, não representando portanto qualquer impedimento à brasagem. Já a camada 3 é composta de óxidos, que impedem a ocorrência de molhabilidade, devendo portanto ser removida. Este é a primeira função a ser exercido pelo **agente fluxante**: eliminar a camada de óxidos superficiais dos materiais base, viabilizando assim a ocorrência de molhabilidade e, conseqüentemente, a brasagem.

Durante o aquecimento ao ar de qualquer metal, este tende a oxidar-se devido a presença de oxigênio na atmosfera. Tal oxidação deve igualmente ser evitada pois, caso contrário, a brasagem não seria possível. É esta a segunda função do agente fluxante: evitar que os materiais base sofram oxidação durante o aquecimento na brasagem.

Além dos materiais base, deve-se ainda evitar que ocorra oxidação do próprio metal de adição. Assim, a terceira e última função do agente fluxante é proteger o metal de adição até a sua fusão, permitindo assim que ocorra a molhabilidade.

Os agentes fluxantes podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. Quando são sólidos ou líquidos recebem o nome de fluxo. Quando são gasosos geralmente são denominados de atmosferas de brasagem.

Fluxos

Os **fluxos** são substâncias de origem mineral, composto de fluoretos cloretos, boretos, fluoboretos, bórax, agentes molhantes, água, etc., geralmente na forma de pastas, pós ou líquidos, que são aplicados diretamente sobre as superfícies a serem brasados para fornecer as condições de molhabilidade necessárias a brasagem. Devem ainda apresentar as seguintes características:

- não atacar ou reagir com o material base;
- desoxidar a superfície do material de base antes do início da fusão do metal de adição (pelo menos 50° C abaixo da temperatura de trabalho), mantendo-a desoxidada até o final da brasagem;
- apresentar boa molhabilidade e fluidez sobre o material base, espalhando-se adequadamente sobre as superfícies a serem brasadas;
- ser facilmente removido após a brasagem.



Os fluxos atuam diretamente sobre os óxidos superficiais do material base, de modo a removê-los.

Existem diversos tipos de fluxos, que são utilizados em função dos materiais base e dos metais de adição. Isto se deve ao fato de que os diferentes materiais apresentam diferentes óxido superficiais. Por exemplo, no aço carbono temos principalmente óxido de ferro, enquanto no aço inoxidável temos óxido de cromo.

Os diversos tipos de óxidos diferenciam-se entre si pela maior estabilidade, o que significa que alguns são mais difíceis de serem removidos. A consequência disto é que o fluxo a ser utilizado dependerá do óxido a ser removido. Assim, um fluxo que é adequado para o cobre, não é adequado para o alumínio, por exemplo.

Outra característica importante do fluxo é a chamada faixa de temperatura de atuação. Isto significa entre quais temperaturas o fluxo é eficiente, o que serve para orientar qual o metal de adição aplicável.

Pelo exposto, conclui-se que o fluxo a ser utilizado em uma brasagem dependerá do material base e do metal de adição. Na tabela 2 são descritos alguns tipos de fluxo, segundo a classificação da AWS (American Welding Society). Para cada tipo de fluxo, está indicado qual o material base a ser brasado, bem como os materiais de adição aplicáveis, e a respectiva faixa de temperatura de atuação.

Classif. AWS	Forma	Conteúdo principal	Faixa de temp. de atuação [°C]	Metal de adição aplicáveis	Materiais base aplicáveis	Característica
FB1-A	Pó	fluoretos e cloretos	560-615	BA/Al	ligas de alumínio	Brasagem em forno ou em chama
FB3-A	Pasta	boretos e cloretos	565-870	BAl e BCuP	ligas ferrosas e não ferrosas, exceto contendo Al e Mg. Aplicável para metais duros.	
FB3-C	Pasta	boretos, cloretos e fluoretos	565-925	BAl e BCuP	ligas ferrosas e não ferrosas, exceto contendo Al e Mg. Aplicável para metais duros.	semelhante ao FB3-A, com maior faixa de temperatura de atuação
FB3-K	líquido	boretos	760-1205	BAl, BCuP e RBCuZn	ligas ferrosas e não ferrosas, exceto contendo Al e Mg. Aplicável para metais duros.	utilizado exclusivamente na brasagem por chama, como gasflux

Tabela 1 - Diferentes tipos de fluxos e as suas aplicações.

Metais de Adição Autofluxantes

São metais de adição que dispensam o uso de qualquer tipo de agente fluxante, uma vez que a remoção dos óxidos superficiais do material base é realizada por elementos



que fazem parte do próprio metal de adição. O exemplo mais conhecido e amplamente utilizado é a utilização de ligas de metais de adição da família Cu-P-Ag, contendo entre 5 a 8% de fósforo, na brasagem de cobre e ligas de cobre.

Corrosão Provocada pelo Fluxo

O resíduo do fluxo após a brasagem deve ser retirado, sempre que possível, para evitar problemas quanto a possível corrosão. A retirada destes resíduos geralmente é feita através de banhos em água quente, preferencialmente logo após a brasagem, quando a peça brasada ainda está relativamente quente. Uma secagem adequada é normalmente requerida. Existem diversos procedimentos de limpeza, que dependem do tipo de fluxo a ser retirado, não devendo-se imaginar que somente o banho em água quente seja suficiente em qualquer caso.

A tendência maior de corrosão ocorre em fluxos que são higroscópicos, ou seja, absorvem água, o que facilita o processo corrosivo. Deve-se, portanto, selecionar adequadamente o fluxo a ser utilizado, em virtude da possibilidade ou não de limpeza pós-brasagem.

METAIS DE ADIÇÃO

A adequada seleção do metal de adição a ser utilizada em uma brasagem é, muitas vezes, o segredo do sucesso. De uma maneira geral, estes materiais devem apresentar algumas características importantes, para que a brasagem ocorra adequadamente, tais como :

1. apresentar boa molhabilidade sobre os materiais base a serem brasados;
2. adequada temperatura de fusão (ou intervalo de temperatura de fusão) em relação aos materiais base e fluidez que permita o metal fundido penetrar adequadamente nas juntas por efeito capilar;
3. apresentar as propriedades requeridas ao componente brasado. Por exemplo: resistência mecânica adequada, condutividade elétrica necessária, etc.;
4. não reagir excessivamente com o material base, causando erosão ou formando fases frágeis;



5. não apresentar elevada tendência à liquação (fusão parcial).

Costuma-se classificar os metais de adição de acordo com os elementos químicos que o compõem. De maneira geral dizemos que existem diferentes famílias de metais de adição, sendo que cada família caracteriza-se por conter os mesmos (ou quase) elementos. As principais famílias de metais de adição que normalmente são utilizadas na brasagem de aços e ligas de cobre são:

- ligas contendo prata-cobre-zinco-cádmio : Ag-Cu-Zn-Cd
- ligas contendo prata-cobre-zinco-estanho : Ag-Cu-Zn-Sn
- ligas contendo prata-cobre ; Ag-Cu
- ligas contendo prata-cobre-estanho : Ag-Cu-Sn
- ligas contendo cobre-estanho : Cu-Sn (bronze)
- ligas contendo cobre-zinco : Cu-Zn (latões)
- ligas contendo cobre-fósforo-prata : Cu-P-Ag
- cobre puro : Cu
- ligas contendo cobre-manganês-estanho : Cu-Mn-Sn

Estas famílias de materiais de adição diferenciam-se entre si por apresentarem, principalmente, diferentes temperaturas de fusão. Tal característica é de fundamental importância na brasagem, pois quanto menor a temperatura de fusão, menor será o aquecimento necessário, mais barata e mais rápida será a brasagem. Na figura 17 é mostrada aproximadamente em que faixa de temperatura de brasagem situam-se cada uma destas famílias.



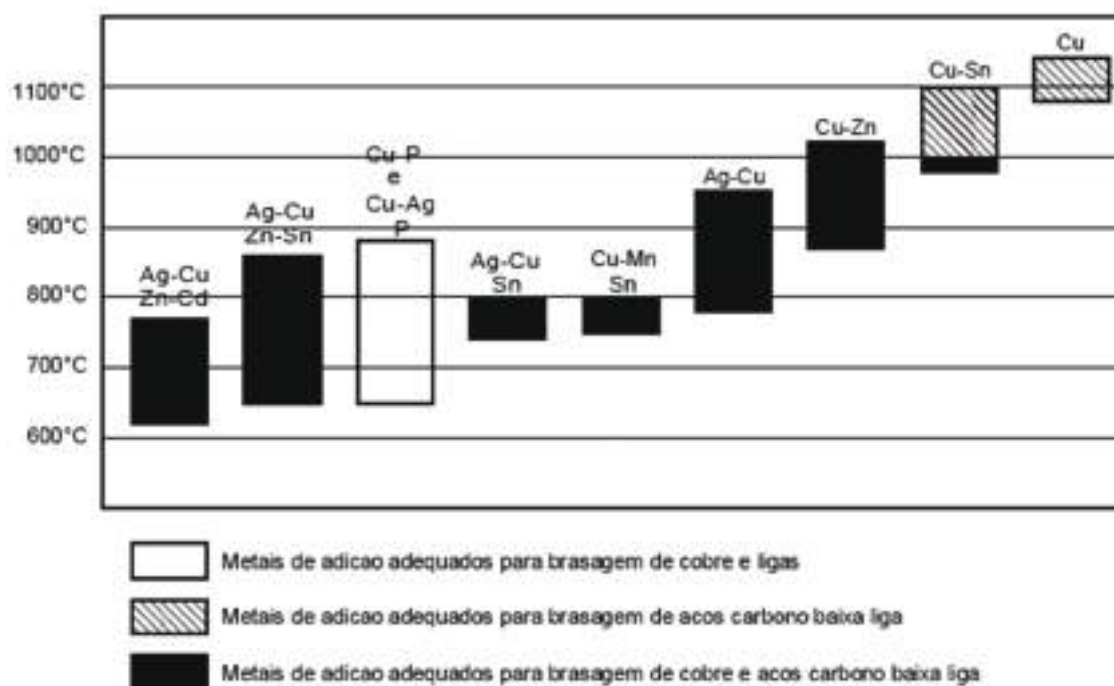


Figura 17 - Temperatura de brasagem aproximada para as diferentes famílias de metais de adição utilizadas na união de cobre e suas ligas e aços carbono.

O cobre puro e as ligas Cu-Sn são utilizadas na brasagem de aço carbono, em temperaturas entre 1000 a 1150° C, sendo extremamente baratas devido a ausência de prata em sua composição. São normalmente aplicadas na brasagem em forno, por não formarem vapores metálicos devido a ausência de Zn e Cd.

As ligas da família Cu-Zn requerem temperaturas de brasagem normalmente acima de 900° C. A presença do Zn impede a brasagem em fornos, devido a intensa formação de vapores metálicos. São portanto utilizados como varetas na brasagem oxiacetilénica de peças de aço. Mesmo neste caso deve-se ter o cuidado de utilizar uma chama levemente oxidante, para evitar a formação de vapor.

INTERAÇÃO METAL DE ADIÇÃO-MATERIAL BASE

Em princípio, na brasagem é desejável que ocorra pouca ou nenhuma interação entre o metal de adição e o material base. Infelizmente isto não ocorre sempre, uma vez que a própria molhabilidade é um sinal de que alguma afinidade existe entre o metal de adição e o material base. Considerando que a interação exista, deve-se evitar casos extremos,



onde tal interação comprometa seriamente a qualidade da junta brasada. Dois exemplos clássicos permitem compreender o quanto é indesejado esta interação, de forma que possamos tomar os cuidados necessários para evitá-la.

O primeiro exemplo pode ser dado pela figura 18, onde é mostrada uma junta brasada cobre - aço carbono, tendo-se utilizado a liga eutética da Ag-Cu. O que se observa é uma acentuada erosão provocada pelo metal de adição no cobre. Esta erosão é tanto mais acentuada quanto maior a temperatura, sendo impossível eliminá-la. Na verdade, quase todas as ligas utilizadas na brasagem do cobre tendem a provocar erosão, devendo-se portanto evitar aquecimentos desnecessários.

O segundo exemplo ocorre quando elementos presentes no metal de adição formam os chamados compostos intermetálicos com algum elemento do material base. É o caso quando utilizamos metais de adição da família Cu-P-Ag, na brasagem de aços carbono. O fósforo presente no metal de adição tem forte atração pelo ferro presente no aço, de forma que quando efetuamos a brasagem forma-se um composto intermetálico do tipo Fe_2P e Fe_3P . Este composto é muito duro e forma-se como um filme entre o aço e o metal de adição, causando excessiva fragilidade da junta brasada.

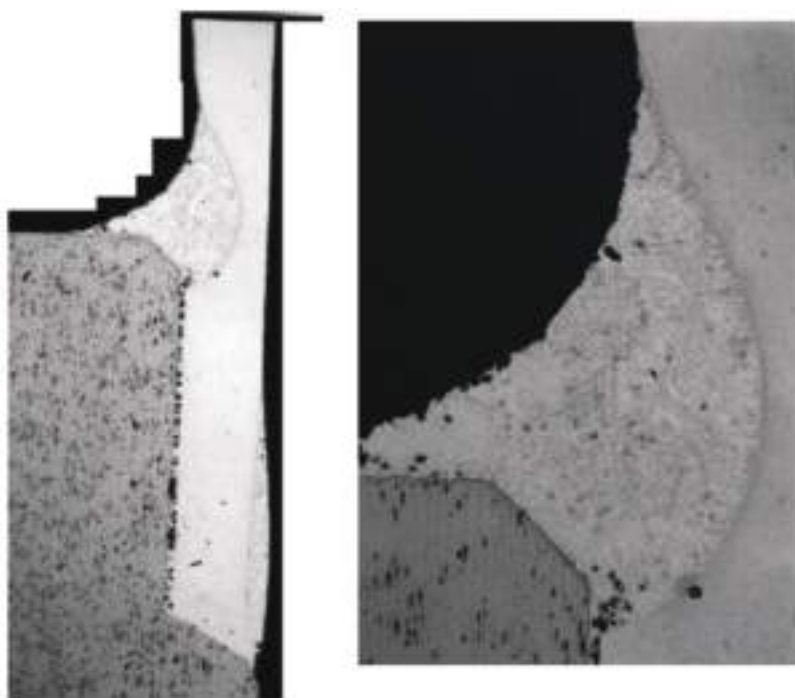


Figura 18 - Exemplo da erosão provocada pela interação metal de adição/material base.



SOLDABILIDADE

A **soldabilidade** é a combinação de diversas propriedades das partes, que permite a fabricação do conjunto soldado/brasado conforme requisitos especificados.

Destacamos as seguintes propriedades:

- **Compatibilidade entre materiais:** adequação entre material base e metal de adição. Metal de adição tem que molhar o material base;
- **Confiabilidade construtiva:** adequação do processo empregado (mão-de-obra, equipamento e etc.), de forma a garantir uma soldadura segura e resistente;
- **Viabilidade da soldadura/brasagem:** viabilidade técnica e económica para utilização do processo (dificuldades, irregularidades, tempo, custo e etc.).

JUNTAS PARA BRASAGEM

Para a obtenção de uma junta adequada, devem ser verificados alguns requisitos técnicos como:

- o tipo de serviço;
- custo;
- a temperatura de trabalho;
- a direção e a intensidade das forças aplicadas sobre o conjunto brasado;
- o meio de trabalho;
- a compatibilidade entre material base e metal de adição; o forma e tempo de aquecimento;
- o método de brasagem aplicado (solda branda, brasagem ou soldobrasagem).

Quando necessário tratamento térmico, deve-se estudar a temperatura do tratamento térmico e da brasagem a fim de que se defina o processo, podendo-se, inclusive executar simultaneamente as duas operações.

A determinação da folga (distância entre as superfícies a serem brasadas) depende do tipo de brasagem empregado, da utilização de fluxo, das condições de maquinação existentes verificando as tolerâncias existentes a fim de garantir uma faixa de trabalho e não um valor nominal.



Normalmente as folgas das juntas para solda branda e brasagem em geral situam-se entre 0,05 mm e 0,20 mm, e para soldobrasagem igual ou superior a 0,50 mm. As juntas brasadas devem ter sempre que possível, a mesma resistência do material base.



Figura 19 – Tipos de juntas.

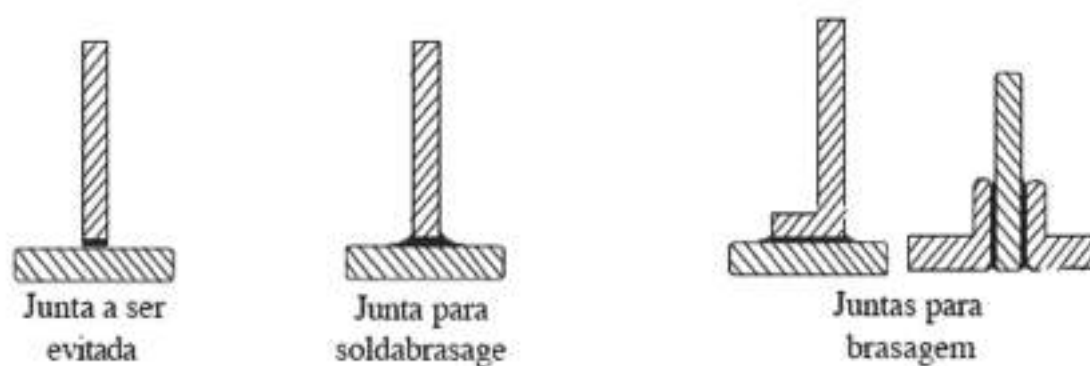


Figura 20 – Tipos de juntas.



EXERCÍCIOS TEÓRICOS

EXERCÍCIO 1. Defina brasagem.

EXERCÍCIO 2. Defina os seguintes termos:

EXERCÍCIO 3. O que distingue a brasagem da soldobrasagem?

EXERCÍCIO 4. O que é a molhabilidade?

EXERCÍCIO 5. Considere a figura seguinte. Diga qual das imagens representa molhabilidade intermédia, molhabilidade elevada e molhabilidade inexistente.



EXERCÍCIO 6. Defina efeito capilar.

EXERCÍCIO 7. O que são os fluxos? Quais as suas principais características?

EXERCÍCIO 8. Acha que devemos retirar o resíduo do fluxo após uma brasagem? Porquê?



Notas

[illegible]





Soldadura TIG

Módulo 2

APRESENTAÇÃO MODULAR

APRESENTAÇÃO

Pretende-se com este módulo dar aos alunos conhecimentos básicos para a operação de um processo de soldadura TIG.

OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

Identificar e executar a equipamentos e técnicas de soldadura TIG e conhecer a importância da segurança no posto de soldadura.

ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- Descrever as condições necessárias para a execução de uma soldadura TIG
- Identificar as características mais relevantes das máquinas de soldadura TIG
- Identificar os equipamentos, acessórios, ferramentas e consumíveis utilizados nos seguintes processos de soldadura TIG
- Identificar as técnicas operatórias utilizadas na soldadura TIG



BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

Soldagem - Processos e Metalurgia – Emílio Wainer, Sérgio Duarte Brandi, MM Editora.

Tecnologia da soldadura - J. F. Oliveira Santos, Modulform.

Tecnologia de Solda – Processo TIG e Eletrodo Revestido, SENAI.

Soldagem TIG, Centro de Formação Profissional Aloysio Ribeiro de Almeida.



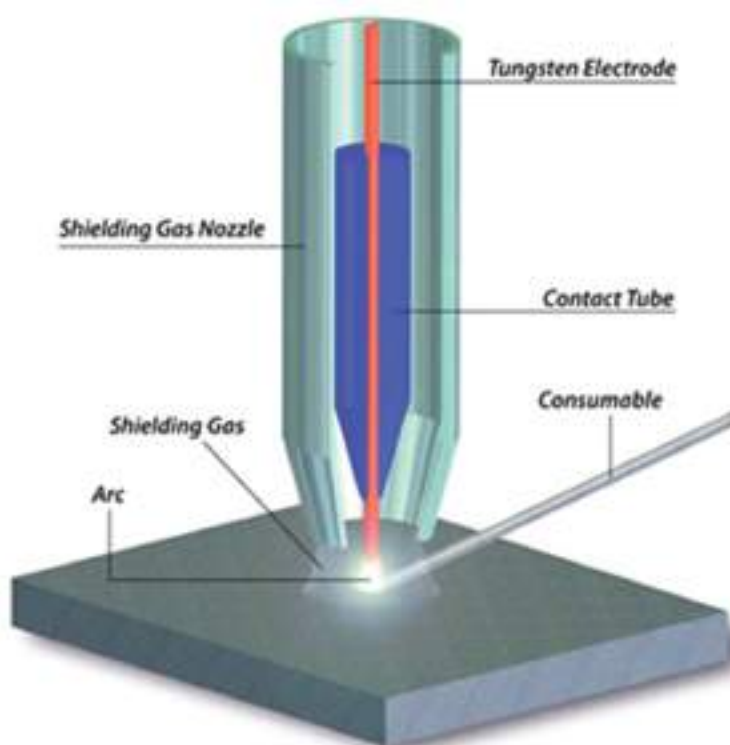
SOLDADURA TIG

TIG é o processo de soldadura ao arco elétrico com proteção gasosa que utiliza elétrodo de tungstênio, um gás inerte, para proteger a bolsa de fusão. O nome TIG é uma abreviatura de Tungsten Inert Gas (gás inerte tungstênio), em que tungstênio é o material de que é feito o elétrodo e gás inerte refere-se ao gás que não reage com outros materiais.

O processo TIG apresenta variantes, tais como a soldadura TIG por pontos, TIG por corrente pulsada e TIG com arame quente ou “hot wire”. O processo TIG também é conhecido por GTAW ou “Gas Tungsten Arc Welding” (soldadura a arco com gás tungstênio).

No processo TIG, o aquecimento é obtido por meio de um arco elétrico gerado com auxílio de um elétrodo não consumível de tungstênio o qual não deve se fundir para evitar defeitos ou discontinuidades no cordão de solda. O elétrodo e a bolsa de fusão são protegidos por uma atmosfera gasosa constituída de gás inerte, isto é, um gás que não reage com outros materiais, ou uma mistura de gases inertes, geralmente argônio ou hélio.

O processo TIG permite soldar materiais com ou sem material de adição. Dependendo da aplicação da solda, é possível adicionar material à bolsa de fusão. Neste caso, o material deve ser compatível com o metal de base.



O processo TIG foi desenvolvido na década de 40 para soldadura de aços inoxidáveis e de ligas de alumínio e magnésio. Atualmente, é utilizado para soldar praticamente todos os metais.

Figura 1 – Soldadura TIG.



O processo TIG é utilizado na soldadura de todos os tipos de juntas e chapas, principalmente de espessura menor que 10 mm. É um processo adequado a quase todos os metais, em especial titânio, zircônio, ligas de alumínio e magnésio, aços ligados, inoxidáveis, ligas de níquel e ligas especiais. É um processo bastante utilizado para soldadura de tubos, na indústria aeroespacial e nuclear e em trabalhos de reparação devido à facilidade em controlar o processo e a possibilidade de utilizar material de adição.

Este processo tem a vantagem de apresentar cordões de solda de alta qualidade, sem escória e sem respingos e pode ser empregue em todas as posições e tipos de juntas. A soldadura TIG é também a mais adequada para unir metais de pequena espessura, para fazer cordões em componentes sensíveis ao calor, para trabalhos de manutenção e também para soldar pontos em chapas finas.

Uma desvantagem no processo TIG é que o trabalho só pode ser realizado em local coberto ou protegido. Se utilizada no campo, a soldadura TIG sofre a influência da circulação de ar no local e a proteção fornecida pelo gás inerte é prejudicada. Outra desvantagem é que na soldadura de chapas grossas, a sua produtividade é baixa.

ELÉTRODOS

O eletrodo utilizado na soldadura TIG é o de tungstênio, que tem o maior ponto de fusão dos metais: 3400° C. Além disso, o tungstênio tem facilidade de emitir elétrons, o que auxilia bastante a estabilidade do arco. O tungstênio pode ser utilizado puro (99%) ou sob a forma de ligas de zircônio ou tório.

Os eletrodos de tungstênio puro têm a vantagem de apresentar menor custo e menor efeito de retificação quando utilizada a corrente alternada. Por outro lado, as desvantagens são a dificuldade na abertura do arco e menor durabilidade.

Composição Química do Eletrodo

Os elementos químicos adicionados ao eletrodo são importantes para permitir um desempenho melhor do processo de soldadura. Os eletrodos com adição de zircônia ou tória apresentam vantagens, tais como maior durabilidade, maior resistência com potências elevadas e melhores propriedades de ignição. Por outro lado, as desvantagens,



quando se utiliza corrente alternada, são o custo maior, maior efeito de retificação e menor estabilidade do arco.

A norma AWS A5.12-92 estabelece um código para a identificação dos eletrodos conforme sua composição química. Segundo esse código, a letra E significa eletrodo; W é para volfrâmio (ou tungstênio), o elemento químico de que é feito o eletrodo, X é o elemento químico adicionado ao eletrodo e P significa puro.

E W X P

EWCe é o eletrodo de tungstênio com óxido de cério, conhecido como céria. Este tipo de eletrodo apresenta maior facilidade de ignição, melhor estabilidade do arco, reduzida taxa de vaporização ou queima e trabalha muito bem com corrente alternada ou contínua, em qualquer polaridade. Estas vantagens aumentam com o aumento de quantidade de céria.

EWLa é o eletrodo de tungstênio que contém 1% de óxido de lantânio, conhecido como lantânia; as características de operação e vantagens deste eletrodo são muito similares às do eletrodo com céria.

O eletrodo EWTh contém óxido de tório, conhecido como tória. A tória é responsável pelo aumento de vida útil do eletrodo em relação aos eletrodos de tungstênio puro devido a sua alta emissão de elétrons, melhor ignição e estabilidade do arco. Estes eletrodos têm maior vida útil e apresentam grande resistência a contaminantes de tungstênio na solda. EWZr é o eletrodo com adição do óxido de zircônio, conhecido como zircônia. Este eletrodo é o preferido para aplicações nas quais a contaminação por tungstênio deve ser minimizada. O eletrodo com zircônia tem bom desempenho quando usado com corrente alternada e apresenta alta resistência a contaminação.

Classificação dos Eletrodos

A classificação dos eletrodos quanto à composição química encontra-se na norma ANSI/AWS A5.12-92, apresentada na tabela.



Classificação AWS	W %	CeO ₂ %	La ₂ O ₃ %	ThO ₂ %	ZrO ₂ %	Outros% (máx.)	Cor de Ponta
EWP	99,5	-	-	-	-	0,5	Verde
EWCe-2	97,5	1,8 -2,2	-	-	-	0,5	Laranja
EWLa-1	98,3	-	0,9-1,2	-	-	0,5	Preta
EWTh 1 (1%)	98,5	-	-	0,8-1,2	-	0,5	Amarela
EWTh 2 (2%)	97,5	-	-	1,7-2,2	-	0,5	Vermelha
EWZr-1	99,1	-	-	-	0,15-0,40	0,5	Marrom
EWG	94,5	-	-	-	-	0,5	Cinza
Os números 1 e 2 apresentam a quantidade de material adicionado							

Tabela 1 – Classificação dos eletrodos.

Preparação dos Eletrodos

Conforme a corrente utilizada na soldadura, bem como o diâmetro do eletrodo, é necessário fazer uma preparação prévia da ponta do eletrodo. Essa preparação é feita por meio de esmerilhamento da ponta, sempre no sentido longitudinal, para facilitar o direcionamento dos elétrons. Em casos especiais, as marcas do esmerilhamento são retiradas por meio de polimento.

Na soldadura com corrente contínua, a ponta do eletrodo deve ser pontiaguda. O cone correto da ponta pode ser obtido por uma norma prática: a altura do cone deve ser duas vezes o diâmetro do eletrodo.

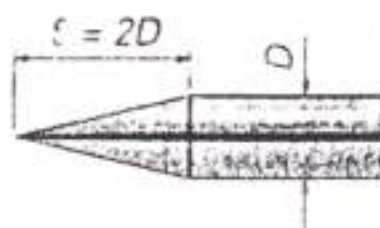


Figura 2 – Preparação da ponta do eletrodo.

No caso de soldadura com corrente alternada, a ponta do eletrodo deve ser ligeiramente arredondada.

Escolha do Eletrodo

A escolha do tipo e do diâmetro do eletrodo deve levar em consideração a espessura e o tipo do material, o tipo de junta, o número de passes e os parâmetros de soldadura,



como amperagem e tensão, além da composição química do eletrodo. A tabela 2 auxilia a seleção do eletrodo.

Diâmetro do eletrodo		Tungstênio puro	Tungstênio/Tório	Tungstênio/Zircônio
pol.	mm	Ampères CA	Ampères CA	Ampères CC
0.020	0.5	5 - 15	5 - 20	5 - 20
0.040	1.0	10 - 60	15 - 80	20 - 80
1/16	1.6	50 - 100	70 - 150	80 - 150
1/32	2.4	100 - 160	110 - 200	120 - 220
1/8	3.2	130 - 180	150 - 200	200 - 300
5/32	4.0	180 - 230	180 - 250	250 - 400

Tabela 2 – Escolha do eletrodo.

PARÂMETROS DE SOLDADURA

Os parâmetros de soldadura são responsáveis pela qualidade do cordão de solda. Assim, é preciso conhecer estas variáveis para escolher o procedimento adequado a cada tipo de trabalho. Os parâmetros a considerar são o comprimento do arco, a velocidade de soldadura, a vazão do gás e a corrente de soldadura.

Comprimento do Arco

O comprimento do arco é a distância entre a ponta do eletrodo e o metal de base. O aumento do comprimento faz aumentar também a tensão do arco, sob uma dada corrente de soldadura e determinado gás de proteção.

O comprimento do arco influencia o cordão de solda, que será tanto mais largo quanto maior for o arco. Um arco muito curto ou muito longo torna-se instável, favorecendo a formação de porosidades, imperfeições e falta de fusão.

Velocidade de Soldadura

A velocidade de soldadura tem influência sobre a penetração e a largura do cordão de solda. Se a velocidade aumenta, a penetração e o cordão diminuem, acontecendo o



mesmo também com o reforço, quando se solda com adição de metal. Uma velocidade maior melhora a eficiência e a produtividade da soldadura, reduzindo os custos de produção. No entanto, velocidades altas demais podem causar descontinuidades, como é o caso da falta de penetração.

Vazão do Gás

Para que a proteção oferecida pelo gás seja eficiente, é preciso considerar a vazão do gás, que deve ser forte o suficiente para deslocar o ar para longe da área da solda e, assim, proteger a bolsa de fusão. No entanto, uma vazão elevada pode causar turbulência no fluxo do gás, resultando em descontinuidade ou defeitos no cordão e instabilidade do arco, sem falar no custo maior.

A vazão ideal leva em consideração fatores como:

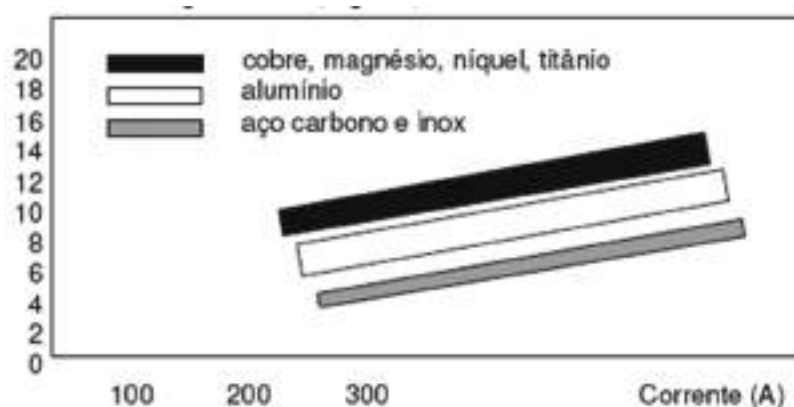
- Tipo de gás utilizado;
- Distância entre o bocal e a peça;
- Tipo e posição da tocha;
- Tipo de junta;
- Diâmetro do bocal;
- Velocidade e posição de soldadura;
- Tipo de metal a ser soldado;
- Tamanho da bolsa de fusão.

Existem no mercado dispositivos adaptáveis à tocha que permitem um fluxo de gás mais suave e eficiente. Uma regra para determinar a vazão ideal é fazer um teste, iniciando com vazão elevada e diminuindo gradativamente até que comece uma oxidação superficial do cordão. A vazão ideal será a mais próxima e superior a essa. Uma vazão baixa não oferece proteção adequada à bolsa de fusão, causando também descontinuidades.

CORRENTE DE SOLDADURA

O ajuste da vazão de gás está relacionado com a intensidade de corrente ideal para os diferentes metais a soldar. Considerando o argon como gás de proteção, a relação vazão/corrente pode ser mostrada no quadro seguinte.





Quadro 3 – Vazão de gás (l/min).

A tabela 4 mostra como se pode selecionar o gás recomendado para os diferentes metais.

Solda TIG	Material	Manual						Automática					
		Espessura						Espessura					
		≤ 3,2 mm			> 3,2 mm			≤ 3,2 mm			> 3,2 mm		
		Ar	Ar-He	He	Ar	Ar-He	He	Ar	Ar-He	He	A ₂ H ₂	Ar	Ar-He
Alumínio e ligas	•			•			•		▲			•	▲
Aço carbono	▲			▲			▲					▲	▲
Aço inoxidável	▲				▲			▲		▲			▲
Níquel e ligas	▲				▲			▲	▲				▲
Cobre		▲				▲		▲					▲
Titânio e ligas	▲				▲		▲	▲					▲

• - corrente alternada, alta frequência
▲ - corrente contínua, polaridade direta
Ar - He - contém acima de 75% de Hélio
A₂ - H₂ - contém acima de 15% de Hidrogênio

Tabela 4 – Seleção do gás.

Quanto ao consumíveis utilizados na soldadura TIG, estes são o metal de adição e os gases de proteção.

METAIS DE ADIÇÃO

Os metais de adição para soldadura TIG são geralmente apresentados sob forma de vareta com cerca de 1 metro de comprimento. No caso da soldadura mecanizada, utilizam-se bobinas de fio enrolado. Os diâmetros dos fios e das varetas obedecem a um padrão que varia entre 0,5 mm e 5 mm. Os materiais e ligas utilizados na confecção das varetas são variados. Classificam-se segundo a sua composição química e de acordo com as propriedades do metal depositado. É importante que o metal de adição esteja isento de humidade, oleosidade e oxidação.



A escolha do metal de adição leva em consideração fatores como: similaridade com o metal de base, composição química, propriedades mecânicas e custos razoáveis. O diâmetro do fio ou da vareta deve corresponder à espessura das peças a soldar ou à quantidade de material que será depositada. Estas informações encontram-se disponíveis nos catálogos dos fabricantes.

Os consumíveis utilizados como metal de adição na soldadura TIG são especificados segundo normas que definem as características do arame, as propriedades mecânicas desejadas, ensaios recomendados, dados de identificação, garantia do fabricante, condições de aceitação e embalagem.

A tabela 5 pode auxiliar na procura da norma AWS referente a um determinado metal de base a ser soldado, com a especificação completa do material de adição recomendado para tal soldadura.

Arames e Varetas	Nº da Especificação
Soldadura de cobre	A5.7
Soldadura de aços ao Cr e Cr – Ni	A5.9
Soldadura de alumínio	A5.10
Revestimento	A5.13
Soldadura de níquel	A5.14
Soldadura de titânio	A5.16
Soldadura de aço-carbono de baixa liga	A5.18
Soldadura de magnésio	A5.19
Soldadura de zircônio	A5.24

Tabela 5 – Norma AWS.

GASES DE PROTEÇÃO

Os gases de proteção utilizados no processo TIG são os inertes, isto é, que não reagem com o eletrodo nem com a bolsa de fusão. Como exemplos citam-se o argônio, mais utilizado, o hélio ou uma mistura de ambos.



Os gases de proteção do processo TIG devem ter um grau de pureza de 99,99%, no mínimo, para que a solda apresente a qualidade desejada. O teor de humidade também é um fator importante que deve ser controlado.

A escolha do gás depende de fatores como tipo de metal que se quer soldar, a espessura das peças e posição de soldadura. As misturas de argon e hélio, respetivamente 70% e 30% e 30% e 70%, são as que apresentam os melhores resultados na soldadura de metais não ferrosos, como alumínio, magnésio e ligas.

As misturas argon e hidrogénio (8% em geral) são as mais utilizadas em soldadura TIG manual e automática dos aços inoxidáveis.

A principal função de um gás de proteção no processo TIG é excluir os gases da atmosfera que podem contaminar a bolsa de fusão, o eléctrodo e a parte aquecida da vareta de adição. A escolha do gás é importante porque influencia a velocidade de soldadura.

A utilização do gás argon no processo TIG apresenta algumas vantagens, como:

- Uma boa estabilidade do arco;
- Baixo consumo do gás;
- Baixas tensões de arco;
- Custo baixo do processo;
- Facilidade na abertura do arco e melhor efeito de limpeza de óxidos quando usada a corrente alternada.

Por ser mais pesado que o ar, o argon forma uma eficiente cortina de proteção ao redor da bolsa de fusão.

Utilização de Hélio

O gás hélio quando utilizado no processo TIG apresenta um consumo alto, pois é um gás mais leve que o ar. A sua densidade baixa provoca a subida do gás em turbulência, prejudicando a proteção da bolsa de fusão. Por isso, o fluxo do hélio deve ser de 2 a 3 vezes maior que a do argon.

O hélio requer altas tensões de soldadura, o que exige a utilização de uma maior energia para uma mesma corrente e comprimento de arco. Permite uma grande penetração do cordão de solda e apresenta um custo alto mas, em contrapartida, possibilita maior



velocidade no caso da soldadura automática de alumínio e suas ligas. Em soldadura automática de alumínio e suas ligas, o gás hélio puro pode ser utilizado com corrente contínua e polaridade negativa.

EQUIPAMENTO

Para as aplicações mais comuns, o equipamento requerido para a soldadura pelo processo TIG é relativamente simples:

- Uma fonte de energia elétrica que pode ser ao mesmo tempo um transformador, no caso de corrente alternada, ou um retificador ou gerador, no caso de corrente contínua;
- Uma tocha com suporte para o eletrodo;
- Um cabo de condução para o gás de proteção; um cabo para o sistema de refrigeração e um para a fonte de energia;
- Uma fonte de gás, que pode ser um cilindro e um regulador de
- Pressão, ou um conjunto de cilindros com canalização para alimentar a rede de
- Distribuição, no caso de soldadura com vários postos de trabalho;
- Um regulador de vazão de gás.

Transformador

Um transformador básico para soldadura com corrente alternada apresenta as seguintes partes:

- Transformador monofásico ou trifásico, responsável pela transformação da corrente da rede em corrente de soldadura pela redução da tensão da rede para tensão de soldadura e pelo aumento da intensidade da corrente da rede para intensidade de corrente de soldadura;
- Gerador de alta frequência, que gera impulsos de alta tensão de elevada frequência para ignição sem contacto do arco elétrico durante a soldadura;
- Condensador protetor;
- Condensador-filtro, para compensação das semi-ondas variáveis de corrente que podem surgir na soldadura;



- Válvula magnética de gás protetor, para abertura e fechamento eletromagnéticos do suprimento de gás;
- Unidades de comando, com as funções de ativação e desativação da corrente de soldadura, controle da válvula magnética de gás protetor com tempo regulável para pré e pós-fluxo, regulação do condensador de filtragem.

Retificador

Um retificador para soldadura TIG com corrente contínua apresenta as seguintes partes:

- Transformador monofásico ou trifásico, responsável pela diminuição da
- Tensão da rede para tensão de soldadura e aumento da intensidade de
- Corrente da rede para intensidade de corrente de soldadura;
- Retificador, que transforma a corrente alternada monofásica ou trifásica em corrente contínua;
- Ventilador-resfriador;
- Chave de pressão de água;
- Válvula magnética de gás protetor, e unidades de comando, com as funções de ativação e desativação da corrente de soldadura, regulação da intensidade da corrente de soldadura, controle da válvula magnética de gás protetor com tempo regulável para pré e pós-fluxo e desativação da corrente de soldadura na falta de água.

Tocha

A tocha conduz a corrente e o gás inerte para a zona de soldadura e tem a extremidade revestida de material isolante a fim de ser manuseada com segurança pelo operador. A tocha serve como suporte do eletrodo de tungstênio e também fornece o gás de proteção. Dentro da tocha existe uma pinça que segura o eletrodo e que deve ser selecionada de acordo

com o diâmetro do eletrodo. Existe uma grande variedade de tochas no mercado, o que possibilita a sua adaptação a soldas de difícil acesso.



Figura 3 – Tocha.



O bocal da tocha, que pode ser cerâmico ou metálico, tem a função de direcionar o gás de proteção. Deve ser escolhido segundo a espessura e a forma da junta a ser soldada ou a corrente elétrica utilizada. O bocal de cerâmica é recomendado para corrente de soldadura inferior a 250 A.

O diâmetro do bocal de gás deve ter um tamanho suficiente para proteger adequadamente a bolsa de fusão e a área aquecida.

Uma regra prática diz que o diâmetro interno do bocal deve ser de quatro vezes o diâmetro do eletrodo.

O forte calor do arco elétrico e as altas correntes impõem a refrigeração da tocha e do cabo de soldadura. Desta forma, consegue-se uma proteção adequada e o equipamento torna-se flexível e de fácil manejo. A refrigeração da tocha pode ser feita por água ou por ar.

IGNIÇÃO DO ARCO

No processo TIG, a ignição do arco é feita sem tocar o eletrodo na peça para evitar a transferência do tungstênio para a peça e danos no eletrodo, o qual deve ser apontado antes do início do trabalho. A abertura é feita por meio de dispositivos que formam um tipo de arco piloto. O mais utilizado é um ignitor de alta frequência que providencia um sinal de alta tensão e alta frequência, de 5 kV e 5 kHz, e permite a ionização da coluna de gás entre o eletrodo e a peça, induzindo a abertura. Alguns segundos antes de abrir o arco, é recomendável iniciar a vazão do gás inerte. Este intervalo de tempo é conhecido como pré-purga de gás. Em seguida, acende-se o arco com auxílio do ignitor de alta frequência e dirige-se a tocha para um determinado local de modo a permitir a formação da bolsa de fusão; quando a bolsa atinge o tamanho necessário, pode-se iniciar a soldadura.

O sinal de alta frequência é de potência baixíssima e não afeta a segurança do operador.

CILINDRO DE GÁS

O gás de proteção é fornecido em cilindros de aço sob pressão. Para tornar a pressão adequada ao funcionamento da tocha, adapta-se um regulador com medidor de vazão.



A medição da vazão é necessária porque os vários materiais requerem diferentes fluxos de gás para uma proteção adequada. Nos casos em que grande quantidade de material é soldada continuamente, é possível fazer estoques de argon líquido, de mistura de gases e também de argon e outros gases, usando misturadores e uma canalização de cilindros com medidor de vazão para cada posto de soldadura.

FONTES DE SOLDADURA

No processo de soldadura TIG, as fontes de soldadura fornecem corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA), dependendo da aplicação que será feita da soldadura.

Corrente Contínua

Quando se trabalha com CC, o ignitor de alta frequência é usado apenas para abrir o arco e em seguida é desligado. Geralmente os aparelhos possuem um dispositivo que inibe as faíscas do ignitor quando o arco está aberto. Na soldadura com CC, o circuito pode ter o eletrodo ligado tanto ao polo negativo quanto ao positivo.

Corrente Contínua com Polaridade Negativa

Quando o eletrodo está ligado ao polo negativo CC-, os elétrons fluem do eletrodo a altas velocidades, bombardeando o metal de base e provocando um aquecimento considerável nesse metal. A concentração de calor, portanto, é de aproximadamente 70% na peça e 30% no eletrodo.

O cordão de solda obtido com CC- é estreito e com grande penetração. Este tipo de corrente é aplicado na soldadura de aço, cobre, aços austeníticos ao cromoníquel e ligas resistentes ao calor.

Corrente Contínua com Polaridade Positiva

Quando ligado ao polo positivo, CC+, o eletrodo é positivo e o metal é negativo. Os elétrons fluem do metal de base para o eletrodo, o qual se aquece e tende a fundir a



extremidade. A concentração de calor é de aproximadamente 30% na peça e 70% no eletrodo. Por esta razão, a soldadura com CC+ requer um eletrodo com diâmetro maior ou uma corrente mais baixa para evitar o superaquecimento e consequente fusão do eletrodo, que contamina a bolsa de fusão. Esse inconveniente torna a soldadura com CC+ pouco utilizada, uma vez que não é viável para correntes elevadas. O cordão de solda obtido é largo, com pequena penetração.

A corrente contínua com polaridade positiva CC+, produz um efeito chamado **efeito de limpeza**, que é a remoção de camadas superficiais de óxido refratários normalmente presentes nos metais, tais como alumínio e magnésio.

O efeito de limpeza acontece pela ação do arco elétrico: os elétrons que deixam o metal de base ou os íons do gás bombardeiam a película de óxido, provocando o seu rompimento. No entanto, como a polaridade positiva é pouco utilizada, costuma-se usar a corrente alternada para provocar esse efeito, uma vez que o rompimento do óxido acontece na metade positiva do ciclo.

Corrente Alternada

Teoricamente, uma soldadura com CA é uma combinação das soldaduras com CC+ e CC-. A corrente assemelha-se a uma onda, cuja parte superior representa a polaridade positiva, ou CC+, e a inferior a negativa ou CC-. Os elétrons e os íons partem da peça para o eletrodo e vice-versa, causando uma concentração equilibrada de calor de 50% para cada um e um cordão com penetração média.

A CA é aplicada na soldadura de alumínio, magnésio e suas ligas. Na soldadura com CA, o arco tende a extinguir quando a corrente é muito baixa ou nula, uma vez que a corrente cai a zero a cada inversão de polaridade. Neste caso, o ignitor deve permanecer ligado para estabilizar a descarga elétrica.

Quando se utiliza CA com eletrodo de tungstênio puro, acontece o **efeito de retificação**, que é a diferença de emissividade eletrônica existente entre o eletrodo de tungstênio puro e o material que está a ser soldado.

Na CA, existe uma mudança cíclica do fluxo de elétrons, que ora se deslocam do eletrodos de tungstênios para a bolsa de fusão, ora saem da bolsa de fusão em direção ao eletrodo. Devido ao efeito de retificação, há um desbalanceamento nesse movimento,



tornando a emissão de elétrons vindos da bolsa de fusão menor que a emissão de elétrons provenientes do eletrodo. Isto provoca o aparecimento de duas senóides de intensidades diferentes.

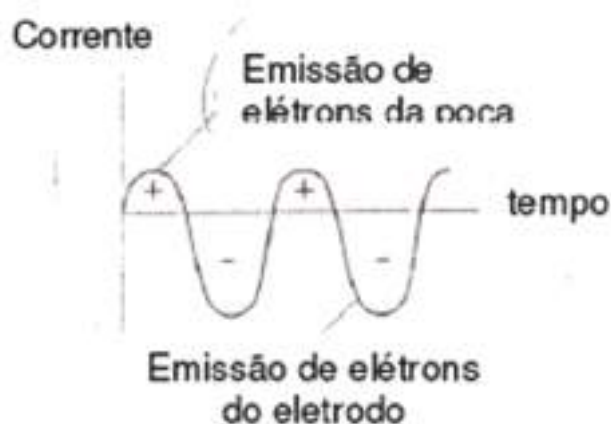


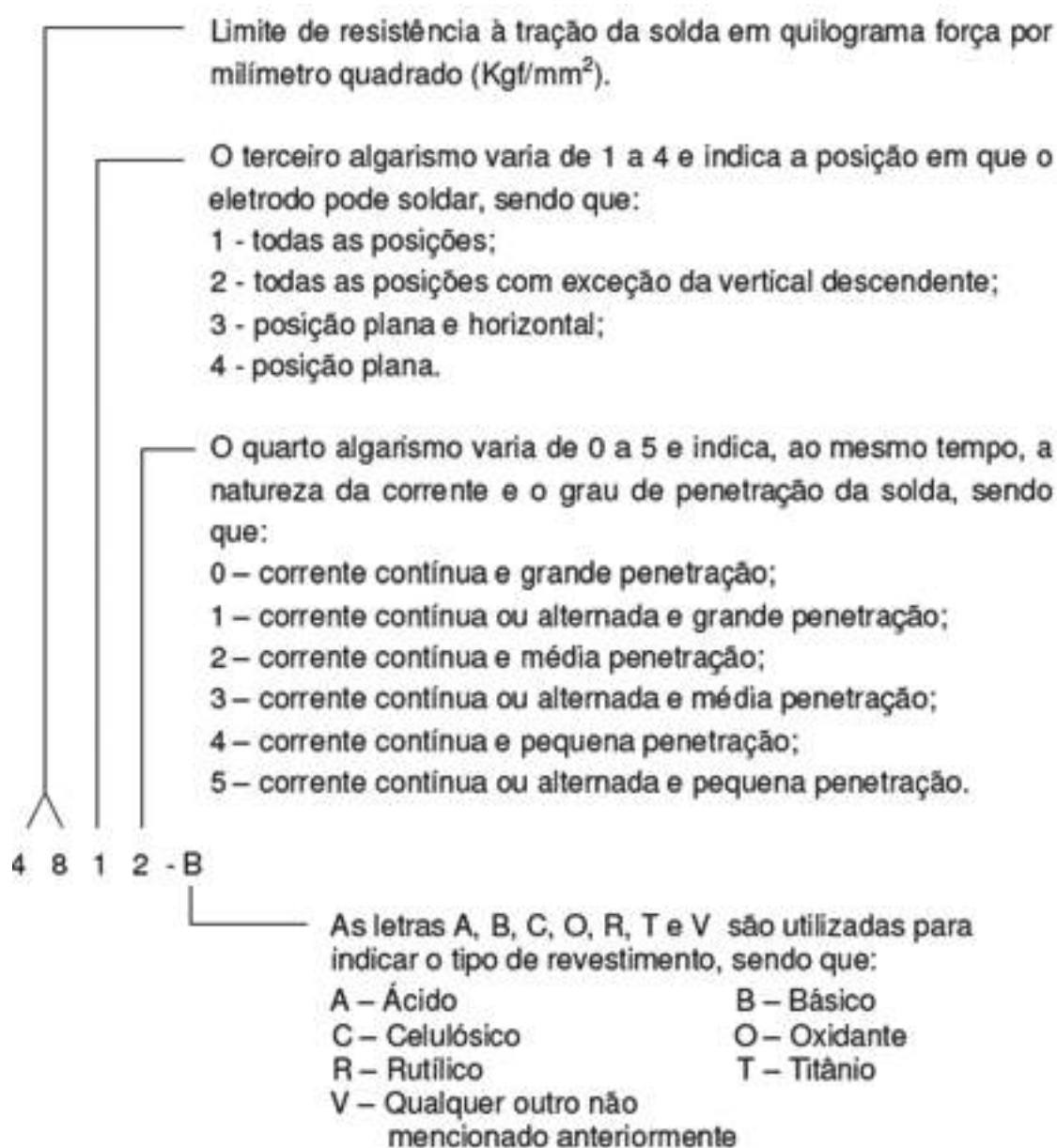
Figura 4 – Fluxo de elétrons. (Nota: onde se lê eletrons deve ler-se elétrons).

O efeito de retificação é mais prejudicial no caso da soldadura de alumínio e de magnésio, que apresentam óxido refratário, porque o fluxo de elétrons emitido pela bolsa de fusão não é suficiente para romper completamente a camada de óxido existente durante a soldadura. A fim de atenuar o efeito de retificação, utiliza-se um transformador com condensador-filtro, que equilibra as senóides representantes do fluxo de elétrons.

CLASSIFICAÇÃO ABNT

Os eletrodos são identificados por quatro algarismos, seguidos de uma letra. Os quatro algarismos básicos, identificadores de eletrodo têm o seguinte significado:

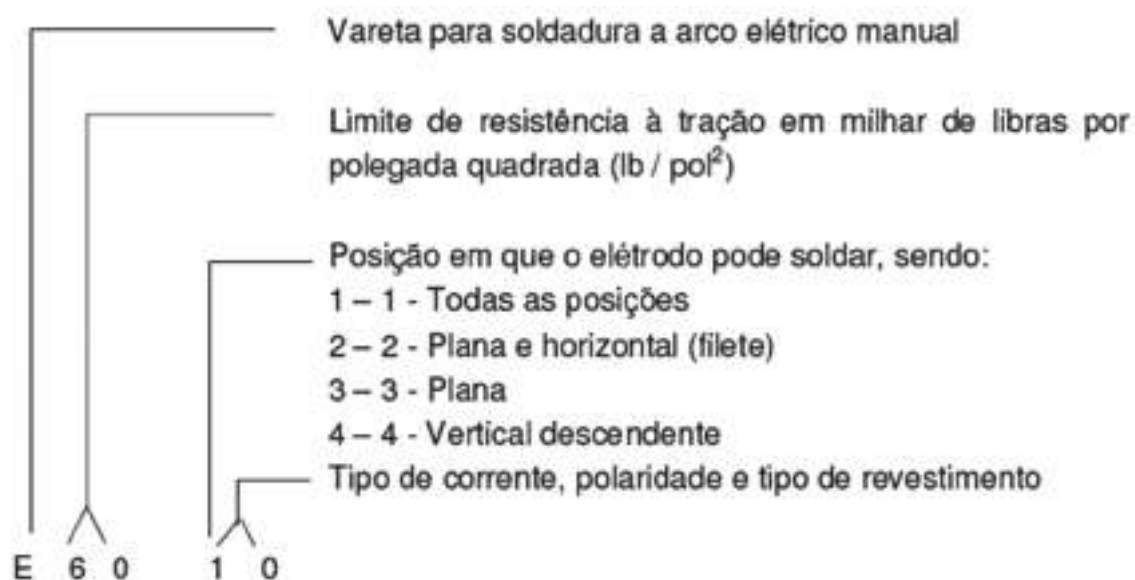




CLASSIFICAÇÃO AWS

Na classificação AWS, os eletrodos para aço macio ou de baixa liga são identificados através de uma letra e quatro ou cinco algarismos. Vamos conhecer o significado da letra e dos algarismos do seguinte exemplo:





A seguir, temos a tabela AWS A.51-78 que esclarece o significado dos últimos algarismos.

Dois últimos algarismos	Tipo de corrente	Polaridade	Revestimento
10	CC	Inversa (+)	Celulósico
11	CC ou CA	Inversa (+)	Celulósico
12	CC ou CA	Direta (-)	Rutilico
13	CC ou CA	Inversa/Direta (+ -)	Rutilico
14	CC ou CA	Inversa/Direta (+ -)	Rutilico
15	C	Inversa (+)	Básico
16	CC ou CA	Inversa (+)	Básico
18	CC ou CA	Inversa/Direta (+ -)	Básico
20	CC ou CA	Inversa/Direta (+ -)	Ácido
24	CC ou CA	Inversa/Direta (+ -)	Rutilico
27	CC ou CA	Inversa/Direta (+ -)	Ácido
28	CC ou CA	Inversa (+)	Básico

Tabela 6 – Tabela AWS.

MÁQUINAS PARA SOLDADURA

São máquinas adaptadas para trabalhos de soldadura. Existem três tipos básicos de máquinas para soldar com eletrodo revestido:

- Transformador para soldadura;
- Gerador para soldadura;
- Retificador para soldadura.



Os modelos variam de fabricante para fabricante, mas o princípio de funcionamento de cada tipo de máquina é o mesmo.

Transformador para Soldadura

É uma máquina elétrica estática (não tem partes móveis), destinada a alimentar um arco elétrico com corrente alternada. Pode ser de pequeno, médio e grande porte, dependendo do trabalho a ser executado.

Pode ser do tipo monofásico ou trifásico e alimentado com tensões de 110 V, 220 V, 380 V e 440 V.

Os transformadores, sendo máquinas para soldar com corrente alternada (não tem polaridade definida), só permitem o uso de eletrodos apropriados para este tipo de corrente.

Para trabalhos de longa duração e eletrodos de maiores diâmetros, deve-se ter o cuidado em selecionar a máquina com potência adequada.

A máquina normalmente dispõe de dois terminais para ligação dos cabos (terra e porta-eletrodo). O transformador, na maioria dos casos, tem um dispositivo volante-manivela, onde é feita a regulação da intensidade da corrente (amperagem).

Gerador para Soldadura

É uma máquina elétrica rotativa (tem partes móveis) destinada a alimentar um arco elétrico com corrente contínua. Pode ser de pequeno, médio e grande porte, dependendo da exigência do trabalho a ser realizado.

Os geradores são largamente empregados por apresentarem os seguintes recursos:

- Permitem o uso de todos os tipos de eletrodo devido a corrente contínua;
- Geram a sua própria energia através do acoplamento de um dispositivo girante que pode ser um trator, motor a combustão, motores elétricos etc.;
- Quando acoplados a motores elétricos necessitam de rede elétrica trifásica com tensões de 220/380/440 v;
- Resistem bem a trabalhos de longa duração.



Retificador para Soldadura

É uma máquina elétrica estática (não tem partes móveis) destinada a alimentar um arco elétrico com corrente contínua. Pode ser do tipo monofásico ou trifásico, alimentado com tensões de 220/380/440 V, de pequeno, médio e grande porte, dependendo da exigência do trabalho a ser executado.

O retificador suporta bem os trabalhos de longa duração devido a um dispositivo de arrefecimento (ventilador) acoplado ao seu próprio gabinete.

Os retificadores são atualmente as máquinas mais empregadas onde existe rede elétrica de alimentação por apresentarem as seguintes vantagens:

- Economia no consumo de energia elétrica;
- Menor ruído;
- Menor manutenção, por não terem partes móveis.

O retificador dispõe de dois ou três terminais para a ligação dos cabos (terra e porta-eléctrodo), onde vem indicada a polaridade (-+).

VARIÁVEIS DO PROCESSO E AS SUAS INFLUÊNCIAS

Corrente Elétrica

A principal influência desta variável está no controlo da penetração do cordão de soldadura. A figura 5 mostra o aumento da penetração com o aumento da corrente para uma mesma velocidade de soldadura.



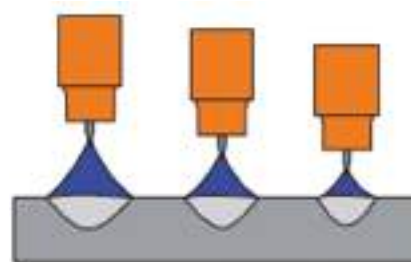
Figura 5 - Penetração de soldadura em função da corrente de soldadura.

Distância do Eléctrodo à Peça

Esta variável controla a altura do arco eléctrico. Quanto maior a distância do eléctrodo à peça maior o altura e largura do arco eléctrico. Com isto, maior área do metal base é aquecida resultando num cordão mais largo. A figura 6 ilustra este fato.



Figura 6 - Influência da distância eletrodo/peça no perfil do cordão de soldadura.



Velocidade de Avanço

Esta variável também influencia a penetração da solda. Para uma velocidade muito alta de soldadura, o arco não permanece tempo suficiente na região da solda para proporcionar uma boa fusão e penetração do cordão. Já para uma velocidade baixa, a penetração aumenta mas, para uma velocidade excessivamente baixa de soldadura, o próprio metal fundido na bolsa funciona como isolante térmico para a transferência de calor do arco para o metal base, prejudicando também a penetração de soldadura (Figura 7).

Figura 7 - Influência da velocidade de soldadura na penetração da solda.

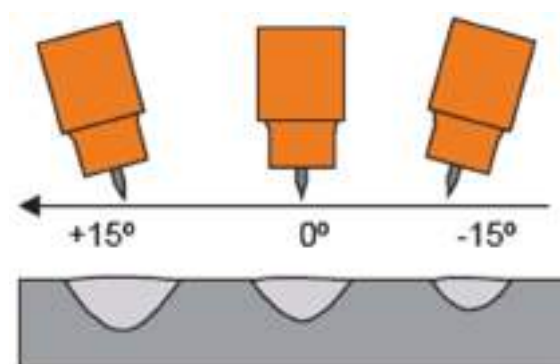


Inclinação da Tocha

Esta é outra variável que tem influência sobre a penetração da solda. De acordo com a figura 8, soldando-se com inclinação positiva (puxando a solda), o arco elétrico atua diretamente sobre a bolsa de fusão, aumentando a penetração. Já no sentido negativo (empurrando a solda), o arco elétrico permanece sobre o metal de base frio, reduzindo a penetração da solda.

Na soldadura do alumínio e suas ligas deve-se trabalhar com inclinação negativa (empurrando).

Figura 8 - Influência da inclinação da tocha na penetração da solda.



Vazão de Gás

A vazão do gás é responsável pela proteção adequada do eletrodo e da bolsa de fusão garantindo soldas isentas de oxidação e porosidade. O seu valor ideal depende do tipo de metal a ser soldado, condições de ventilação do ambiente e nível de amperagem utilizado. Logicamente, em função destes fatores, quanto menor o seu valor maior a economia de gás no processo de soldadura.

DEFEITOS DE SOLDADURA

Mordedura

- Alta velocidade de soldadura;
- Alta amperagem;
- Alta distância da tocha à peça;
- Manuseio inadequado da tocha.

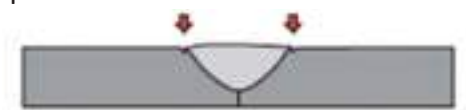


Figura 9 – Mordedura.

Falta de Fusão

- Baixa amperagem;
- Junta inadequada;
- Manuseio inadequado da tocha.



Figura 10 – Falta de fusão.

Falta de Penetração

- Baixa amperagem;
- Alta velocidade de soldadura;
- Junta inadequada.



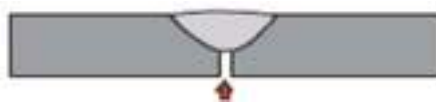


Figura 11 – Falta de penetração.

Porosidade

- Vazão inadequada (muito alta ou baixa).
- Superfície com impurezas (tinta, óleo, graxa, humidade, oxidação, etc.).
- Distância tocha - peça muito alta.



Figura 12 – Porosidade.

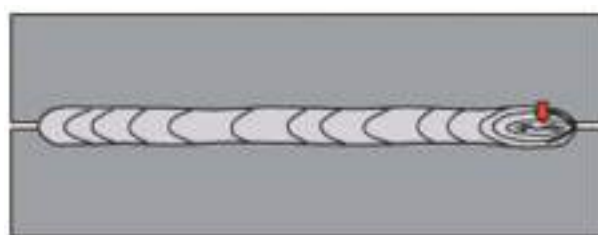


Figura 13 – Porosidade na cratera.

Inclusão de Tungsténio

- Contacto do eléctrodo na bolsa de fusão.



Figura 14 – Inclusão de tungsténio

Fissuras de Solidificação

- Alta restrição principalmente no passe de raiz em juntas de grande espessura;
- Metal de adição inadequado;
- Preenchimento incompleto da cratera;
- Alta amperagem.





Figura 15 – Fissuras de solidificação.

POSICIONAMENTO DA TOCHA

As figuras a seguir mostram posições da tocha recomendadas para a execução de soldas de boa qualidade.

- Para juntas de topo.

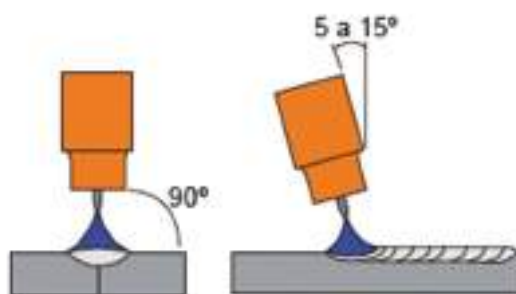


Figura 16 – Posicionamento da tocha para juntas de topo.

- Em ângulo.

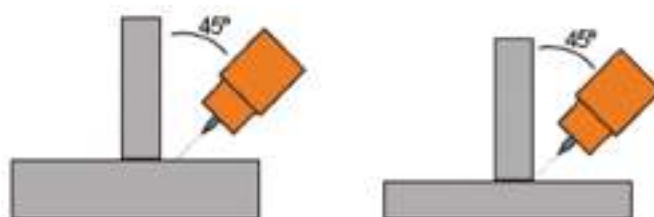


Figura 17 – Posicionamento da tocha em ângulo.

- Alimentação do metal de adição.

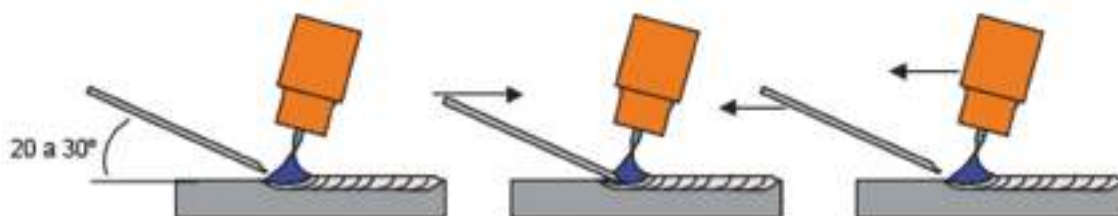


Figura 18 – Alimentação do metal de adição.



- Posição vertical.

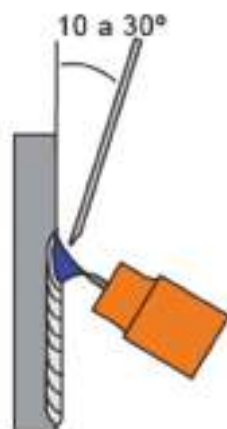


Figura 19 – Posicionamento da tocha na posição vertical.

- Posição do eletrodo.

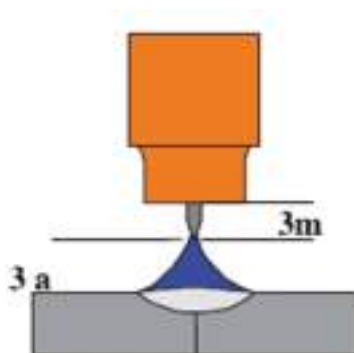


Figura 20 – Posição do eletrodo.



EXERCÍCIOS TEÓRICOS

EXERCÍCIO 1. Qual é o material utilizado na soldadura TIG como eletrodo?

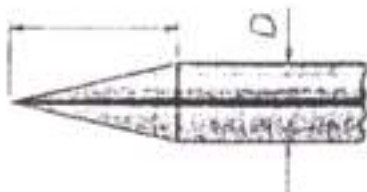
EXERCÍCIO 2. Existe fusão do eletrodo neste processo? Justifique.

EXERCÍCIO 3. É possível soldar com adição de material?

EXERCÍCIO 4. Quais as principais vantagens do processo TIG?

EXERCÍCIO 5. Quais as principais desvantagens do processo TIG?

EXERCÍCIO 6. Considere que tem de preparar eletrodo para soldar em corrente contínua. Se o seu diâmetro for de 2 mm, calcule o comprimento do cone da ponta.



EXERCÍCIO 7. Os parâmetros de soldadura são responsáveis pela qualidade do cordão de solda. Digas quais são os parâmetros mais importantes a ter em conta.

EXERCÍCIO 8. Diga de que modo a velocidade de soldadura influencia o processo.

EXERCÍCIO 9. A escolha do metal de adição leva em consideração diversos fatores. Enuncie alguns.

EXERCÍCIO 10. Quais os gases de proteção mais utilizados?

EXERCÍCIO 11. Quais as vantagens da utilização do argon como gás de proteção?



EXERCÍCIO 12. Explique as características dos seguintes eletrodos, segundo a norma

ABNT:

a) 44 10 - C

b) 4835 – BF

EXERCÍCIO 13. Explique as características dos seguintes eletrodos, segundo a norma

AWS:

a) E - 7018

b) E - 6020







Soldadura MIG MAG

Módulo 3

APRESENTAÇÃO MODULAR

APRESENTAÇÃO

Pretende-se com este módulo dar aos alunos conhecimentos básicos para a operação dos processos de soldadura MIG/MAG.

OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

Identificar e executar a equipamentos e técnicas de soldadura MIG/MAG e conhecer a importância da segurança no posto de soldadura.

ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- Descrever as condições necessárias para a execução de uma soldadura MIG/MAG
- Identificar as características mais relevantes das máquinas de soldadura MIG/MAG
- Identificar os equipamentos, acessórios, ferramentas e consumíveis utilizados nos seguintes processos de soldadura MIG/MAG
- Identificar as técnicas operatórias utilizadas na soldadura MIG/MAG



BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

Soldagem - Processos e Metalurgia – Emílio Wainer, Sérgio Duarte Brandi, MM Editora.

Tecnologia da soldadura - J. F. Oliveira Santos, Modulform.

Telecurso 2000 – Processos de Fabricação.

Soldagem MIG/MAG - ESAB.



SOLDADURA MIG/MAG

Na soldadura ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW – Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldadura MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à bolsa de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo. A figura 1 mostra esse processo e uma parte da tocha de soldadura.

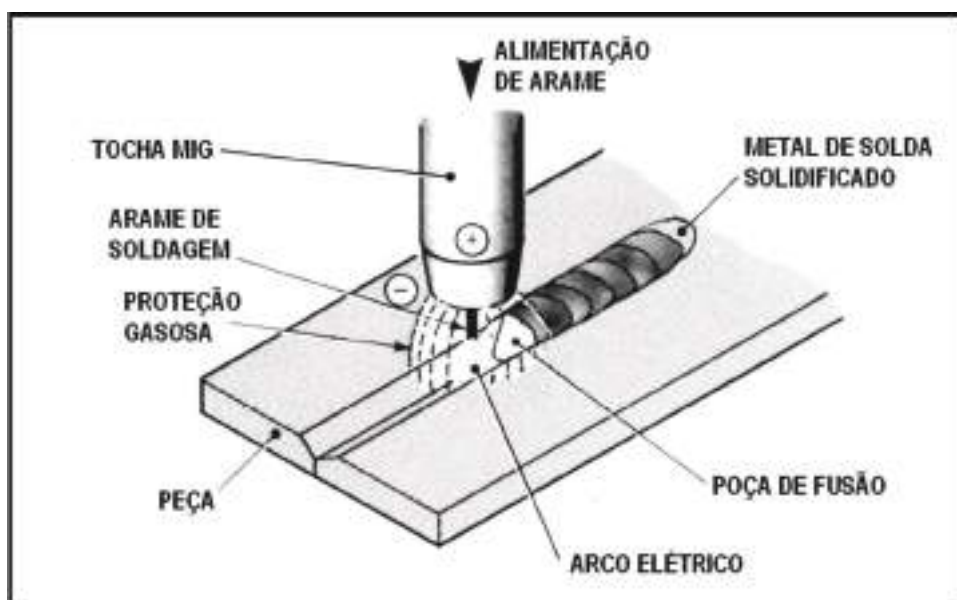


Figura 1 – Processo básico de soldadura MIG/MAG.

O conceito básico de GMAW foi introduzido em 1920 e tornado comercialmente viável após 1948. Inicialmente foi empregue com um gás de proteção inerte na soldadura do alumínio. Consequentemente, o termo soldadura MIG foi inicialmente aplicado e ainda é uma referência ao processo. Desenvolvimentos subsequentes acrescentaram atividades com baixas densidades de corrente e correntes contínuas pulsadas, emprego numa ampla gama de materiais, e o uso de gases de proteção reativos ou ativos (particularmente o dióxido de carbono, CO_2) e misturas de gases. Esse desenvolvimento posterior levou à aceitação formal do termo GMAW – Gas Metal Arc



Welding para o processo, visto que tanto gases inertes como os reativos são utilizados. No entanto, quando se utilizam gases reativos, é muito comum usar o termo soldadura MAG (MAG – Metal Active Gas).

O processo de soldadura funciona com corrente contínua (CC), normalmente com o arame no polo positivo. Essa configuração é conhecida como **polaridade inversa**. A polaridade direta raramente é utilizada por causa da transferência deficiente do metal fundido do arame de solda para a peça. São normalmente utilizadas correntes de soldadura de 50 A até mais que 600 A e tensões de soldadura de 15 V até 32 V. Um arco elétrico autocorrigido e estável é obtido com o uso de uma fonte de tensão constante e com um alimentador de arame de velocidade constante.

O processo de soldadura MIG/MAG proporciona muitas vantagens na soldadura manual e automática dos metais para aplicações de alta e baixa produção. As suas vantagens quando comparado com o eletrodo revestido, arco submerso e TIG são:

- A soldadura pode ser executada em todas as posições;
- Não há necessidade de remoção de escória;
- Alta taxa de deposição do metal de solda;
- Tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado com o eletrodo revestido;
- Altas velocidades de soldadura;
- Menos distorção das peças;
- Largas aberturas preenchidas ou amanteigadas facilmente, tornando certos tipos de soldadura de reparo mais eficientes;
- Não há perdas de pontas como no eletrodo revestido.

MODOS DE TRANSFERÊNCIA DO METAL

Basicamente o processo MIG/MAG inclui três técnicas distintas de modo de transferência de metal: curto-circuito (short arc), globular (globular) e aerossol (spray arc). Estas técnicas descrevem a maneira pela qual o metal é transferido do arame para a bolsa de fusão.

Na **transferência por curto-circuito** — short arc, dip transfer, microwire — a transferência ocorre quando um curto-circuito elétrico é estabelecido. Isto acontece quando o metal



fundido na ponta do arame toca a bolsa de fusão. Na transferência por aerossol — spray arc — pequenas gotas de metal fundido são desprendidas da ponta do arame e projetadas por forças eletromagnéticas em direção à bolsa de fusão. A transferência globular — globular — ocorre quando as gotas de metal fundido são muito grandes e movem-se em direção à bolsa de fusão sob a influência da gravidade. Os fatores que determinam o modo de transferência de metal são a corrente de soldadura, o diâmetro do arame, o comprimento do arco (tensão), as características da fonte e o gás de proteção (Figura 2).

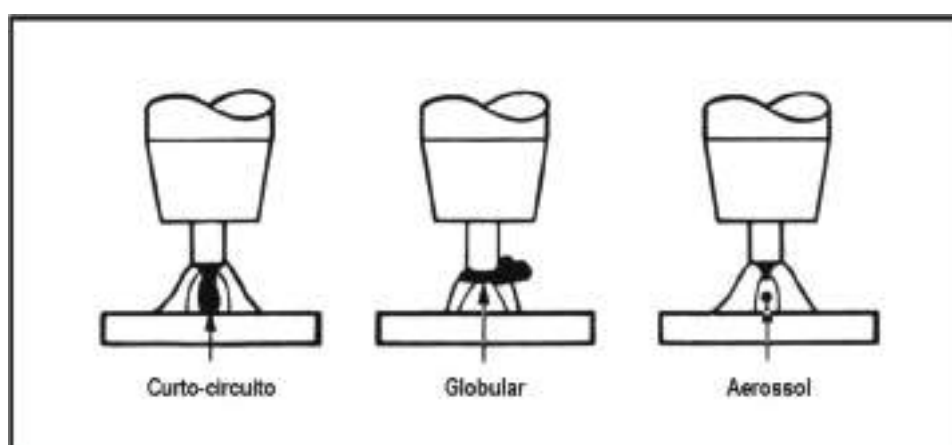


Figura 2 - Modos de transferência do metal de solda.

A transferência por curto-circuito ocorre com baixos valores de tensão e corrente. O curto-circuito acontece quando a gota de metal que se forma na ponta do eletrodo vai aumentando de diâmetro até tocar na bolsa de fusão. Este modo de transferência pode ser utilizado na soldadura fora de posição, ou seja, em posições diferentes da posição plana. É usado também na soldadura de chapas finas, para baixos valores tensão e corrente.

A **transferência globular** acontece quando o metal do eletrodo se transfere para a peça em gotas com diâmetro maior do que o diâmetro do eletrodo. Essas gotas transferem-se sem direção, causando o aparecimento de uma quantidade elevada de respingos. Este processo é indicado para a soldadura na posição plana.

A **transferência por spray** ocorre com correntes de soldadura altas, o que faz diminuir o diâmetro médio das gotas de metal líquido. Esse tipo de transferência produz uma alta taxa de deposição, mas é limitado à posição plana.



ETAPAS, TÉCNICAS E PARÂMETROS DO PROCESSO

Para soldar peças pelo processo de soldadura MIG/MAG, o soldador segue as seguintes etapas:

1. Preparação das superfícies.
2. Abertura do arco.
3. Início da soldadura pela aproximação da tocha da peça e acionamento do gatilho para início do fluxo do gás, alimentação do eletrodo e energização do circuito de soldadura.
4. Formação da bolsa de fusão.
5. Produção do cordão de solda, pelo deslocamento da tocha ao longo da junta, com velocidade uniforme.
6. Liberação do gatilho para interrupção da corrente, da alimentação do eletrodo, do fluxo do gás e extinção do arco.

O número de passes é função da espessura do metal e do tipo da junta. O estabelecimento do procedimento de soldadura deve considerar variáveis como: tensão, corrente, velocidade, ângulo e deslocamento da tocha, tipo de vazão do gás, diâmetro e comprimento da extensão livre do eletrodo (“stick out”). Essas variáveis afetam a penetração e a geometria do cordão de solda. Assim, por exemplo, se todas as outras variáveis do processo forem mantidas constantes, um aumento na corrente de soldadura, com consequente aumento da velocidade de alimentação do eletrodo, causa aumento na penetração e aumento na taxa de deposição. Sob as mesmas condições, ou seja, variáveis mantidas constantes, um aumento da tensão produzirá um cordão de solda mais largo e mais chato.

A baixa velocidade de soldadura resulta num cordão de solda muito largo com muito depósito de material. Velocidades mais altas produzem cordões estreitos e com pouca penetração. A vazão do gás deve ser tal que proporcione boas condições de proteção. Em geral, quanto maior for a corrente de soldadura, maior será a bolsa de fusão e, portanto, maior a área a proteger e maior a vazão necessária.

O comprimento da extensão livre do eletrodo é a distância entre o último ponto de contacto elétrico e a ponta do eletrodo ainda não fundida. Esta é importante porque,



quanto maior for essa distância, maior será o aquecimento do eletrodo (por causa da resistência elétrica do material) e menor a corrente necessária para fundir o arame.

As tabelas seguintes mostram problemas comuns de soldadura, as suas causas e medidas corretivas.

TIPO DE DESCONTI- NUIDADES	CAUSAS	PREVENÇÕES
Poros Visíveis	Velocidade de soldadura muito alta	Diminuir a velocidade de soldadura
	Distância excessiva entre bocal e peça	Manter a distância correta entre o bocal e a peça
	Tensão (voltagem) alta	Reduzir a tensão (voltagem) caso ela esteja alta
	Metal de base sujo de óleo, tintas, oxidação ou molhado	Limpar o metal de base por meios apropriados, antes da soldadura
	Corrente de ar	Proteger as peças de corrente de ar para não prejudicar a proteção gasosa
	Fluxo de gás incorreto	Regular a vazão de gás: se a vazão de gás estiver baixa, aumente para proteger a bolsa de fusão; se a vazão estiver alta, é melhor reduzir para evitar turbulência. (8 a 101/min - arco curto e 12 a 201/m - arco longo)
	Arames e guias sujos	Limpar a guia com ar comprimido; usar sempre arames isentos de graxa, resíduos ou humidade
	Respingos de solda no bocal	Limpar os respingos de solda do bocal, que podem alterar o fluxo de gás, provocando um turbilhão e aspiração de ar
	Vazamento nas mangueiras e na tocha	Verificar sempre as mangueiras, conexões, juntas e pistola para evitar aspiração de ar pelo furo



	Preparação inadequada de junta	Dimensionar a rede adequadamente
	Preparação inadequada de junta	Obter uma abertura constante e dentro dos limites da posição de trabalho
	Metal de base impuro ou defeituoso	Rejeitar o metal de base
	Tocha muito inclinada	Posicionar a tocha corretamente

Tabela 1 - Problemas comuns de soldadura, as suas causas e medidas corretivas.

TIPO DE DESCONTINUI- DADES	CAUSAS	PREVENÇÕES
Falta de penetração ou de fusão na raiz	Abertura muito pequena ou mesmo inexistente ou abertura irregular	Ser cuidadoso na preparação da junta a soldar e realizar a montagem, respeitando sempre a distância mínima em função do chanfro e da posição de soldadura
	Ângulo do chanfro muito pequeno	Utilizar ângulo entre 40 e 60°
	Presença de “nariz” ou “nariz” muito grande	Verificar se é realmente necessária a existência de “nariz”.
		Procurar tornar o “nariz” o mais constante possível e sempre menor do que o máximo permitido para o tipo de chanfro e posição de soldadura definidos
	Falha no manuseio da tocha	Quando for necessário, parar a soldadura antes do término do cordão de raiz e realizar as retomadas / reacendimentos de forma correta



	Falta de calor na junta	Aumentar o par tensão X velocidade do arame (amperagem)
		Reduzir a velocidade de soldadura pois ela pode estar muito alta, porém é preferível manter o arco na frente da bolsa de fusão
		Preaquecer a peça de trabalho
		Soldar em posição vertical ascendente
	Passe de raiz com convexidade excessiva	Esmerilhar o passe de raiz, obtendo certa concavidade na sua superfície antes de executar o novo cordão

Tabela 2 - Problemas comuns de soldadura, as suas causas e medidas corretivas.

TIPO DE DESCONTI- NUIDADES	CAUSAS	PREVENÇÕES
Superfície irregular	Velocidade inadequada do arame (amperagem)	Ajustar a velocidade do arame
	Manuseio incorreto da tocha	Aprimorar o manuseio da tocha para que o aquecimento seja cadenciado e constante
Desalinha- mento	Pré-montagem mal executada	Ser cuidadoso na preparação da junta a soldar
	Ponteamento deficiente	Realizar um ponteamento, com soldas de fixação resistentes e dimensionadas de acordo com as partes a unir.
Respingos	Tensão muito elevada	Reduzir a tensão
	Vazão de gás excessiva	Regular a vazão do gás



	Sujidade no metal de base	Limpar o metal de base, eliminando tintas, óxidos, graxas e outras impurezas que provocam isolamento entre o arame e o metal de base
		Regular o avanço do arame
	Avanço do arame alto ou baixo em relação à tensão do arco	Controlar a condição ideal pelo tamanho/volume da gota na ponta do arame, que deve ter aproximadamente o mesmo diâmetro do arame
	Distância excessiva entre o bocal e a peça	Manter a distância correta entre o bocal e a peça
	Altura excessiva do arco	Reduzir a altura do arco
	Controlo inadequado da indutância	Controlar a indutância adequadamente
	Posição inadequada da tocha	Usar a técnica de arco quente (aramé sobre a bolsa de fusão) para melhorar a estabilidade do bolsa de fusão) para melhorar a estabilidade do arco e reduzir os respingos. Não inclinar muito a tocha e procurar manter, onde for possível, o arco perpendicular à linha da solda.
	Mau contacto entre cabos e peças	Limpar as superfícies de contacto a fim de evitar instabilidade no arco
	Bico de contacto danificado	Trocar o bico de contacto
	Bocal com respingos	Limpar ou trocar o bocal com respingo

Tabela 3 - Problemas comuns de soldadura, as suas causas e medidas corretivas.



EQUIPAMENTOS

SOLDADURA MANUAL

Os equipamentos de soldadura MIG/MAG podem ser usados manual ou automaticamente. A figura 3 o modelo de um equipamento para a soldadura manual. Os equipamentos para soldadura manual são fáceis de instalar. Como o trajeto do arco é realizado pelo soldador, são apenas necessários três elementos principais:

- Tocha de soldadura e acessórios;
- Motor de alimentação do arame;
- Fonte de energia.

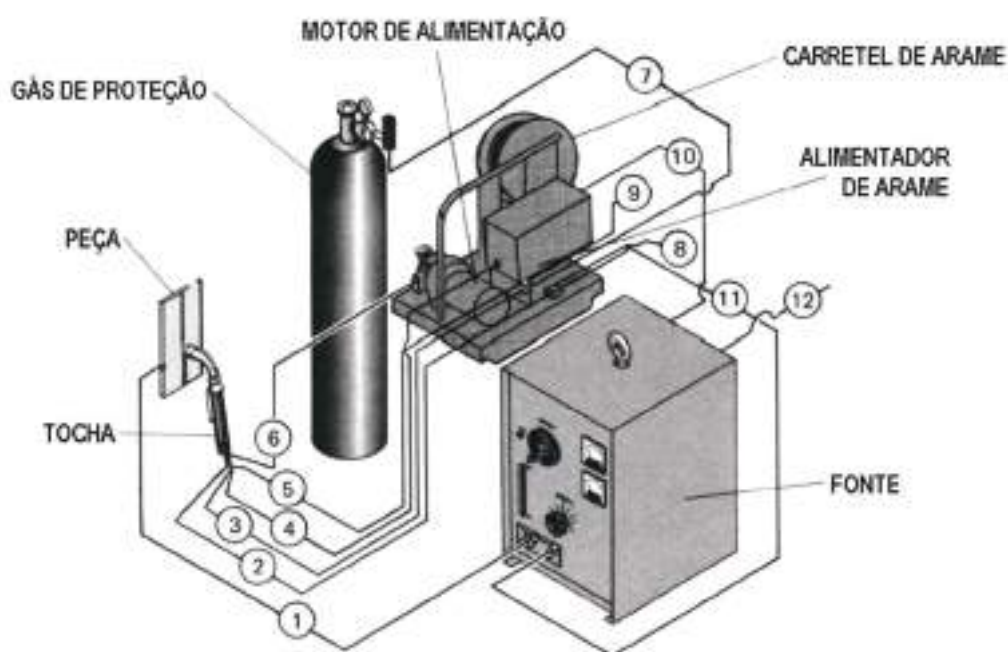


Figura 3 - Instalações para a soldadura manual: 1. Cabo de solda (negativo); 2. Refrigeração da tocha (água); 3. Gás de proteção; 4. Gatilho da tocha; 5. Água de refrigeração para a tocha; 6. Condutor do arame; 7. Gás de proteção vindo do cilindro; 8. Saída de água de refrigeração; 9. Entrada de água de refrigeração; 10. Entrada de 42 v (CA); 11. Cabo de solda (positivo); 12. Conexão para a fonte primária (220/380/440 V).



Tochas de Soldadura e Acessórios

A tocha guia o arame e o gás de proteção para a região de soldadura e leva também a energia de soldadura até o arame. Foram desenvolvidos diferentes tipos de tocha para proporcionar o máximo desempenho na soldadura para diferentes tipos de aplicações, que variam desde tochas para ciclos de trabalho pesados para atividades envolvendo altas correntes até tochas leves para baixas correntes e soldadura fora de posição. Em ambos os casos estão disponíveis tochas refrigeradas a água ou secas (refrigeradas pelo gás de proteção), e tochas com extremidades retas ou curvas. Geralmente são adicionados sistemas de refrigeração na tocha para facilitar o manuseio. Nos casos em que são executados trabalhos com altas correntes é possível usar uma tocha mais robusta.

A Figura 4 mostra as partes de uma tocha seca típica (tocha convencional ou refrigerada pelo gás de proteção) com extremidade curva, contendo os seguintes acessórios:

- bico de contacto;
- bocal;
- conduíte;
- cabo.

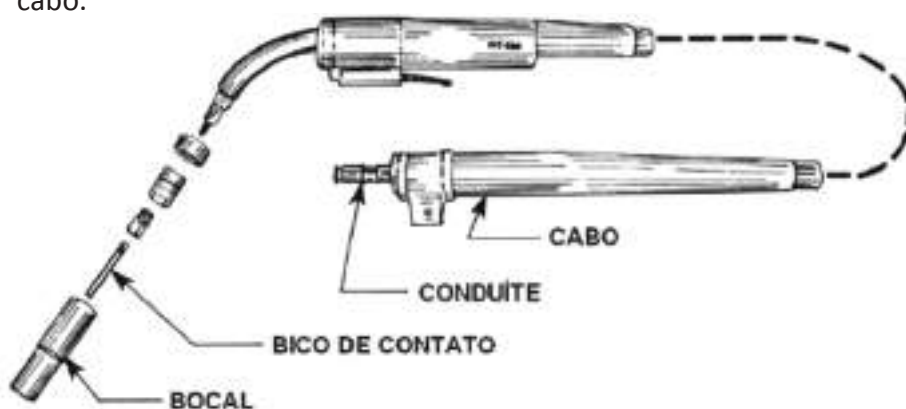


Figura 4 - Tocha MIG/MAG típica.

O bico de contacto é fabricado em cobre e é utilizado para conduzir a energia de soldadura até ao arame bem como dirigir o arame até à peça. A tocha (e também o bico de contacto) é ligada à fonte de soldadura pelo cabo de solda. Como o arame deve ser alimentado facilmente pelo bico de contacto e também fazer um bom contacto elétrico, o seu diâmetro interno é importante. O folheto de instruções fornecido com cada tocha relaciona o diâmetro correto do bico de contacto para cada diâmetro de arame. O bico de contacto, que é uma peça de reposição, deve ser preso firmemente à tocha e centrado no bocal.



O bocal direciona um fluxo de gás até a região de soldadura. Bocais grandes são usados na soldadura a altas correntes onde a bolsa de fusão é larga. Bocais menores são utilizados na soldadura a baixas correntes.

O conduíte é conectado entre a tocha e as roldanas de alimentação. Este direciona o arame à tocha e ao bico de contacto, sendo necessária uma alimentação uniforme para se obter a estabilidade do arco. Quando não é suportado adequadamente pelo conduíte, o arame pode enrolar-se. Quando se usam arames de aço, recomenda-se que a espiral do conduíte seja de aço. Outros materiais como nylon e outros plásticos devem ser utilizados para arames de alumínio. A literatura fornecida com cada tocha indica os conduítes recomendados para cada diâmetro e material do arame.

Alimentador de Arame

O motor de alimentação de arame e o controlo de soldadura são frequentemente fornecidos num único módulo, chamado alimentador de arame. a sua função principal é puxar o arame do carretel e alimentá-lo ao arco. O controlo mantém a velocidade predeterminada do arame a um valor adequado à aplicação. O controlo não apenas mantém a velocidade de ajuste independente do peso, como também regula o início e fim da alimentação do arame a partir do sinal enviado pelo gatilho da tocha.

O gás de proteção, a água e a fonte de soldadura são normalmente enviados à tocha pela caixa de controlo. Os fluxos de gás e de água são coordenados com o fluxo da corrente de soldadura pelo uso de válvulas solenoides. O controlo determina a sequência de fluxo de gás e energização do contador da fonte. Este também permite o pré e pós-fluxo de gás.

Fonte de Soldadura

Quase todas as soldas com o processo MIG/MAG são executadas com polaridade inversa (CC+). O polo positivo é conectado à tocha, enquanto o negativo é conectado à peça. Já que a velocidade de alimentação do arame e, portanto, a corrente, é regulada pelo controlo de soldadura, o ajuste básico feito pela fonte de soldadura é no comprimento do arco, que é ajustado pela tensão de soldadura. A fonte de soldadura também pode ter um ou dois ajustes adicionais para uso com outras aplicações de soldadura (por exemplo, indutância).



Soldadura Automática

São utilizados equipamentos automáticos quando a peça pode ser facilmente transportada até o local de soldadura ou onde muitas atividades repetitivas de soldadura justifiquem dispositivos especiais de fixação. O caminho do arco é automático e controlado pela velocidade de deslocamento do dispositivo. Normalmente a qualidade da solda é melhor e a velocidade de soldadura é maior.

Como pode ser observado na figura 5, o equipamento de soldadura numa configuração automática é o mesmo que numa manual, exceto:

- A tocha é normalmente montada diretamente sob o motor de alimentação do arame, eliminando a necessidade de um conduíte; dependendo da aplicação, essa configuração pode mudar;
- O controlo de soldadura é montado longe do motor de alimentação do arame. Podem ser utilizadas caixas de controlo remoto;
- Adicionalmente, outros dispositivos são utilizados para proporcionar o deslocamento automático do cabeçote. Exemplos desses dispositivos são os pórticos e os dispositivos de fixação.

O controlo de soldadura também coordena o deslocamento do conjunto no início e no fim da soldadura.

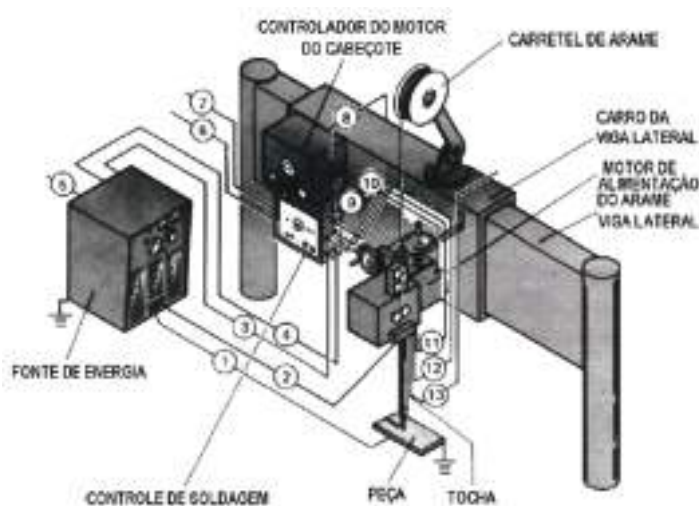


Figura 5 - Instalações para a soldadura automática (mecanizada): 1. Cabo

de solda (negativo); 2. Cabo de solda (positivo); 3. Detecção de corrente e tensão de soldadura; 4. Entrada de 42 V (CA); 5. Conexão para a fonte primária (220/380/440 V); 6. Entrada de água de refrigeração; 7. Entrada do gás de proteção; 8. Saída para o motor de deslocamento do pórtico; 9. Entrada 42 V (CA) para a movimentação/parada do cabeçote; 10. Motor de alimentação do arame; 11. Entrada do gás de proteção; 12. Entrada de água de refrigeração; 13. Saída de água de refrigeração.



FORNECIMENTO DE ENERGIA

Fonte de Energia

As fontes de corrente contínua e de tensão constante são utilizadas na maioria dos casos de soldadura MIG/MAG. Essa característica contrasta com as fontes de corrente constante utilizadas na soldadura TIG e com elétrodos revestidos. Uma fonte MIG/MAG proporciona uma tensão do arco relativamente constante durante a soldadura e esta tensão determina o comprimento do arco. Quando ocorre uma variação brusca da velocidade de alimentação do arame, ou uma mudança momentânea da tensão do arco, a fonte aumenta ou diminui abruptamente a corrente (e, portanto, a taxa de fusão do arame) dependendo da mudança no comprimento do arco. A taxa de fusão do arame muda automaticamente para restaurar o comprimento original do arco. Como resultado, são efetuadas alterações permanentes no comprimento do arco ajustando-se a tensão de saída da fonte. A velocidade de alimentação do arame que o operador seleciona antes da soldadura determina a corrente de soldadura (veja a figura 6). Este parâmetro pode ser alterado numa faixa considerável antes que o comprimento do arco mude o suficiente para fazer o arame tocar na peça ou queimar o bico de contacto.

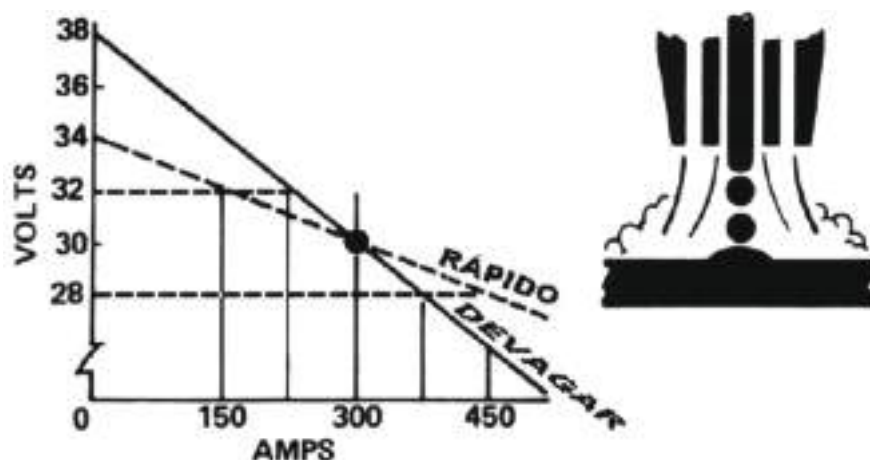


Figura 6 - Influência da velocidade de alimentação do arame.

Tensão do Arco

A tensão do arco é a tensão entre a extremidade do arame e a peça. Devido às quedas de tensão encontradas no sistema de soldadura a tensão do arco não pode ser lida diretamente do voltímetro da fonte.



A tensão de soldadura (comprimento do arco) tem um importante efeito no modo de transferência de metal desejado. A soldadura por curto-circuito requer tensões relativamente baixas, enquanto a soldadura em aerossol necessita de tensões maiores. Deve ser observado também que, quando a corrente de soldadura e a taxa de fusão do arame são aumentadas, a tensão de soldadura também deve ser aumentada outro tanto para manter a estabilidade.

Inclinação da Curva

A Figura 7 ilustra as características tensão-corrente de uma fonte MIG/MAG. O ângulo da curva com a horizontal é definido como a inclinação da curva da fonte. Esse parâmetro refere-se à redução na tensão de saída com o aumento da corrente. Assim, uma fonte teoricamente de tensão constante na realidade não proporciona tensão constante, havendo uma queda na tensão de circuito aberto com o aumento da corrente.

A inclinação da curva de uma fonte, como especificada pelo fabricante e medida nos terminais de saída, não representa a inclinação total do sistema. Qualquer componente que acrescente resistência ao sistema de soldadura aumenta a inclinação da curva e a queda de tensão para uma dada corrente de soldadura. Cabos, conexões, terminais, contactos sujos, etc., todos fazem aumentar a inclinação da curva. Por isso, num sistema de soldadura, a inclinação da curva deve ser medida no arco.



Figura 7 - Cálculo da inclinação da curva de um sistema de soldadura.



A inclinação da curva num sistema MIG/MAG é usada durante a soldadura por curto-circuito para limitar a corrente de curto-circuito de tal modo a reduzir a quantidade de respingos quando os curtos circuitos entre o arame e a peça forem interrompidos. Quanto maior for a inclinação da curva, menores serão as correntes de curto-circuito e, dentro dos limites, menor será a quantidade de respingos.

O valor da corrente de curto-circuito deve ser alto o suficiente (mas não tão alto) para fundir o arame. Quando a inclinação é quase nula no circuito de soldadura a corrente aumenta até um valor muito alto, causando uma reação violenta, mas restrita, causando respingos.

Quando uma corrente de curto-circuito for limitada a valores excessivamente baixos por causa de uma inclinação muito alta, o arame pode conduzir toda a corrente e o curto-circuito não se interromperá por si só. Nesse caso, o arame pode colar-se à peça ou ocasionalmente topa na bolsa de fusão e romper-se (Figura 7).

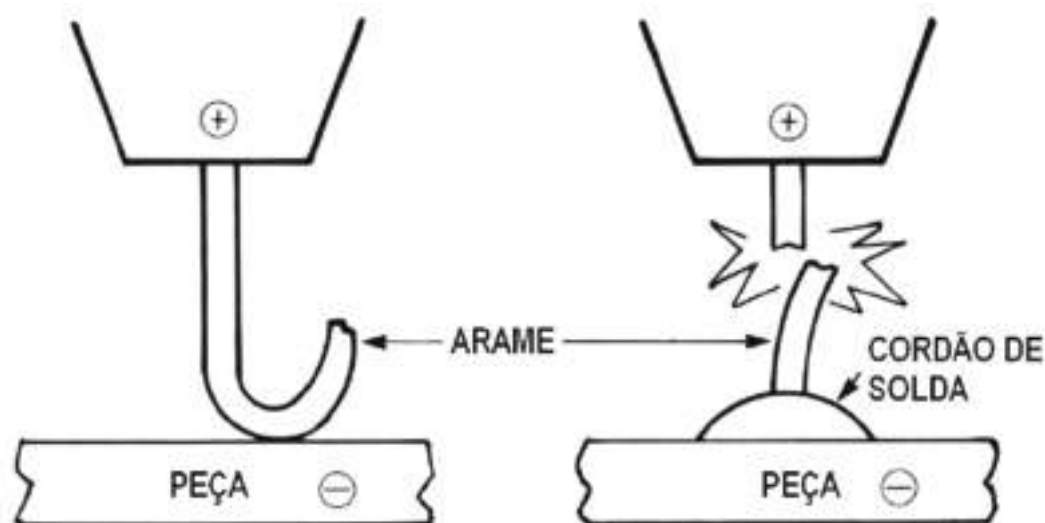


Figura 7 - Efeito de uma inclinação muito grande na curva característica.

Quando a corrente de curto-circuito estiver no valor correto a separação da gota fundida do arame é suave, com muito poucos respingos. As correntes de curto-circuito típicas requeridas para a transferência de metal e a melhor estabilidade do arco podem ser observadas na tabela 4.



Tipo de arame	Diâmetro do arame		Corrente de curto-circuito (A)
	pol (")	mm	
Aço carbono	0,030	0,76	300
	0,035	0,89	320
	0,045	1,10	370
	0,052	1,30	395
	0,062	1,60	430
Alumínio	0,030	0,76	175
	0,035	0,89	195
	0,045	1,10	225
	0,062	1,60	290

Tabela 4 - Correntes típicas de curto-circuito requeridas para a transferência de metal.

Indutância

As fontes não respondem instantaneamente às mudanças de carga, uma vez que corrente leva um tempo finito para atingir um novo valor. A indutância no circuito é a responsável por esse atraso. O efeito da indutância pode ser compreendido analisando-se a curva mostrada na figura 8. A curva A mostra uma curva típica de corrente-tempo com indutância presente quando a corrente aumenta de zero até o valor final. A curva B mostra o caminho que a corrente percorreria se não houvesse indutância no circuito. A corrente máxima alcançada durante um curto é determinada pela inclinação da curva característica da fonte. A indutância controla a taxa de aumento da corrente de curto-circuito. A taxa pode ser reduzida de maneira que o curto possa ser interrompido com um mínimo de respingos. A indutância também armazena energia. Esta fornece ao arco a energia armazenada depois do curto-circuito ser interrompido e causa um arco mais longo.

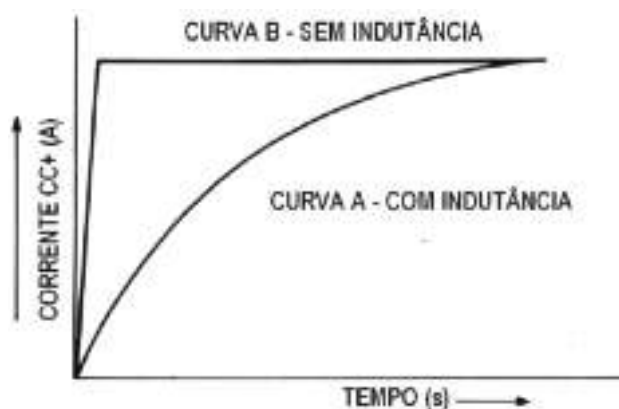


Figura 8 - Mudança no aumento da corrente devido à indutância.



GASES DE PROTEÇÃO

O ar atmosférico é expulso da região de soldadura por um gás de proteção com o objetivo de evitar a contaminação da bolsa de fusão. A contaminação é causada principalmente pelo azoto (N_2), oxigénio (O_2) e vapor de água (H_2O) presentes na atmosfera.

Como exemplo, o azoto no aço solidificado reduz a ductilidade e a tenacidade da solda e pode causar fissuração. Em grandes quantidades o azoto pode causar também porosidade. O oxigénio em excesso no aço combina-se com o carbono e forma o monóxido de carbono (CO), que pode ficar preso no metal, causando porosidade. Além disso, o oxigénio em excesso pode combinar-se com outros elementos no aço e formar compostos que produzem inclusões no metal de solda — o manganês (Mn) e o silício (Si), por exemplo. Quando o hidrogénio (H), presente no vapor de água e no óleo, combina-se com o ferro (Fe) ou com o alumínio (Al), resultará em porosidade e pode ocorrer fissuração sob o cordão no metal de solda.

Propriedades dos Gases

As propriedades básicas dos gases de proteção que afetam o desempenho do processo de soldadura incluem:

- Propriedades térmicas a temperaturas elevadas;
- Reação química do gás com os vários elementos no metal de base e no arame de solda;
- Efeito de cada gás no modo de transferência de metal.

A condutividade térmica do gás à temperatura do arco influencia a tensão do arco e a energia térmica transferida à solda. Quando a condutividade térmica aumenta, é necessária maior tensão de soldadura para sustentar o arco. Por exemplo, a condutividade térmica do hélio e do dióxido de carbono é muito maior que a do argon. Devido a isto, estes gases transferem mais calor à solda. Portanto, o hélio e o dióxido de carbono necessitam de uma tensão de soldadura maior para manter o arco estável.

A compatibilidade de cada gás com o arame e o metal de base determina a adequação das diversas combinações de gases. O dióxido de carbono e a maioria dos gases de



proteção contendo oxigênio não devem ser utilizados na soldadura do alumínio, porque se formará o óxido de alumínio (Al_2O_3). Entretanto, o dióxido de carbono e o oxigênio são úteis às vezes e mesmo essenciais na soldadura MAG dos aços. Estes promovem estabilidade ao arco e uma boa fusão entre a bolsa de fusão e o material de base.

O oxigênio é muito mais reativo que o dióxido de carbono. Consequentemente, as adições de oxigênio ao argon são geralmente menores que 12% em volume, enquanto o dióxido de carbono puro pode ser utilizado na soldadura MAG de aços macios. Os arames de aço devem conter elementos fortemente desoxidantes para suprimir a porosidade quando usados com gases oxidantes, particularmente misturas com altos percentuais de dióxido de carbono ou oxigênio e especialmente o dióxido de carbono puro. Os gases de proteção também determinam o modo de transferência do metal e a profundidade à qual a peça é fundida — a profundidade de penetração.

ARAMES

Um dos mais importantes fatores a considerar na soldadura MIG é a seleção correta do arame de solda. Este, em combinação com o gás de proteção, produzirá o depósito químico que determina as propriedades físicas e mecânicas da solda. Basicamente existem cinco fatores principais que influenciam a escolha do arame para a soldadura MIG/MAG:

- A composição química do metal de base;
- As propriedades mecânicas do metal de base;
- O gás de proteção utilizado;
- O tipo de serviço ou os requisitos da especificação aplicável;
- O tipo de projeto de junta.

Entretanto, a grande experiência na soldadura industrial levou a American Welding Society — AWS — a simplificar a seleção. Foram desenvolvidos e fabricados arames que produzem os melhores resultados com materiais de base específicos. Embora não exista uma especificação aplicável à indústria em geral, a maioria dos arames está em conformidade com os padrões da AWS.



Materiais Ferrosos

Antes de abordarmos os arames específicos para a soldadura MIG/MAG de materiais ferrosos, existem similaridades básicas que todos os arames ferroso partilham com os elementos de liga adicionados ao ferro. Na soldadura MIG/MAG de aços carbono a função primária das adições de elementos de liga é controlar a desoxidação da bolsa de fusão e ajudar a determinar as propriedades mecânicas da solda.

a **desoxidação** é a combinação de um elemento com o oxigénio da bolsa de fusão, resultando numa escória ou num filme vítreo sobre a superfície do cordão de solda. A remoção do oxigénio da bolsa de fusão elimina a principal causa de porosidade no metal de solda.

Silício (Si) – é o elemento mais comum utilizado como desoxidante em arames usados na soldadura MIG/MAG. Geralmente os arames contêm de 0,40% a 1,00% de silício, dependendo da aplicação. Nessa faixa percentual o silício apresenta uma capacidade de desoxidação muito boa. Quantidades maiores de silício aumentarão a resistência mecânica da solda com pequena redução na ductilidade e na tenacidade. No entanto, acima de 1,0-1,2% de silício o metal de solda pode tornar-se sensível à fissuração.

Manganês (Mn) – é também normalmente utilizado como desoxidante e para aumentar a resistência mecânica. O manganês está presente com 1,00% a 2,00% dos arames de aço macio. Teores maiores de manganês aumentam a resistência do metal de solda com uma influência maior que o silício. O manganês também reduz a sensibilidade à fissuração a quente do metal de solda.

Alumínio (Al), titânio (Ti) e zircónio (Zr) – estes elementos são fortes desoxidantes. São feitas algumas vezes adições muito pequenas destes elementos, normalmente até 0,20% do teor total dos três elementos. Nesta faixa obtém-se algum aumento na resistência mecânica.

Carbono (C) – o carbono é o elemento que apresenta a maior influência nas propriedades mecânicas e microestruturais. Na fabricação de arames de aço para a soldadura MIG/MAG o teor de carbono dos arames é geralmente mantido de 0,05% a 0,12%. Esta faixa é suficiente para proporcionar a resistência necessária ao metal de solda sem afetar consideravelmente a ductilidade, a tenacidade e a porosidade. Teores maiores de carbono no arame e no metal de base têm o efeito de gerar porosidade, particularmente



durante a soldadura com o gás de proteção CO_2 . Quando o teor de carbono do arame e/ou da peça ultrapassar 0,12% o metal de solda perderá carbono na forma de CO . Este fenómeno pode causar porosidade, porém desoxidantes adicionais ajudam a superá-lo.

Outros – níquel, crómio e molibdénio são frequentemente adicionados para melhorar as propriedades mecânicas e/ou a resistência à corrosão. Em pequenas quantidades estes podem ser adicionados aos arames de aço carbono para melhorar a resistência e a tenacidade do depósito. São adicionados em maiores quantidades nos arames de aço inoxidável. Geralmente, quando a soldadura é realizada com árgon a 1-3% de oxigénio ou com misturas de árgon contendo baixos teores de dióxido de carbono, a composição química do metal de solda não diferirá muito da composição química do arame. No entanto, quando o dióxido de carbono é usado como gás de proteção, podem ser esperadas reduções nos teores de silício, manganês e outros elementos desoxidantes. Os teores de níquel, cromo, molibdénio e carbono permanecerão constantes. Arames com teor de carbono muito baixo (0,04-0,06%) produzirão, com o dióxido de carbono como gás de proteção, metais de solda com maior teor de carbono.

Materiais Não Ferrosos

Alumínio e Suas Ligas

Os principais elementos utilizados para fabricar arames de alumínio para soldadura são o magnésio, manganês, zinco, silício e cobre. A principal razão para adicionar esses elementos é aumentar a resistência mecânica do alumínio puro. Entretanto, a resistência à corrosão e a soldabilidade também merecem atenção. Cada arame contém adições de diversos elementos de liga para melhorar as propriedades da solda, e é desenvolvido para soldar um dado tipo de alumínio.

A escolha de arames de alumínio é influenciada pelas mesmas considerações já feitas anteriormente e com base na experiência da indústria da soldadura.

Cobre e Suas Ligas

A maioria dos arames de cobre contém elementos de liga. Embora estes elementos geralmente reduzam a condutividade do cobre puro, são necessários para aumentar a resistência mecânica, desoxidar o metal de solda e combinar com a composição química do metal de base.



TÉCNICAS E PARÂMETROS DE SOLDADURA

Efeitos na Solda

Depois de se ter selecionado o arame e o gás para a soldadura, as condições de operação devem ser escolhidas. Os quatro parâmetros mais importantes são a corrente de soldadura, a extensão do eletrodo, a tensão de soldadura e a velocidade de soldadura. Esses parâmetros afetarão as características da solda de uma forma marcante.

Como estes fatores podem ser variados em faixas bem largas, são considerados os ajustes primários em qualquer atividade de soldadura. Os seus valores devem ser registrados para qualquer tipo diferente de solda para permitir reprodutibilidade.

Corrente de Soldadura

A corrente de soldadura é a amperagem de saída da fonte quando a solda está a ser realizada. É normalmente lida no indicador da fonte, podendo também ser lida através de um amperímetro separado.

No processo MIG/MAG a corrente de soldadura está diretamente relacionada com a velocidade de alimentação do arame (desde que a extensão do eletrodo seja constante). Quando a velocidade de alimentação do arame é alterada, a corrente de soldadura varia no mesmo sentido. Noutras palavras, um aumento (ou diminuição) na velocidade de alimentação do arame causará um aumento (ou diminuição) da corrente de soldadura. A Figura 9 mostra a relação típica entre a velocidade de alimentação do arame e a corrente de soldadura para diversos diâmetros do arame ER70S-3. Esta relação é normalmente denominada característica de queima. O gráfico também mostra que quando o diâmetro do arame aumenta (ou diminui) para qualquer diâmetro de arame, a corrente de soldadura aumenta (ou diminui).



Cada tipo de arame (aço, alumínio, etc.) tem uma característica de queima diferente.

Figura 9 - Características de queima.



Um fato importante que deve ser observado na figura 9 é a forma de cada curva de queima. Sob correntes mais baixas para qualquer diâmetro de arame a curva é quase linear. Noutras palavras, para cada aumento da corrente de soldadura, ocorre um aumento proporcional (e constante) na queima. No entanto, a maiores correntes de soldadura, particularmente com arames de diâmetros pequenos, a curva de queima torna-se não linear. Nesta região, correntes de soldadura mais altas causam maiores aumentos na queima. Isto é devido ao aquecimento pela resistência à passagem da corrente elétrica na extensão do eléctrodo além do bocal. Esse aquecimento resistivo é conhecido como efeito Joule (I^2R), e quanto maior a corrente de soldadura, maior o aquecimento resistivo.

Extensão do Eléctrodo

A extensão do eléctrodo (stick-out) é a distância entre o último ponto de contacto eléctrico, normalmente a extremidade do bico de contacto e a peça de trabalho. A Figura 10 mostra esquematicamente a extensão do eléctrodo. É nesta região que ocorre o efeito Joule (I^2R).

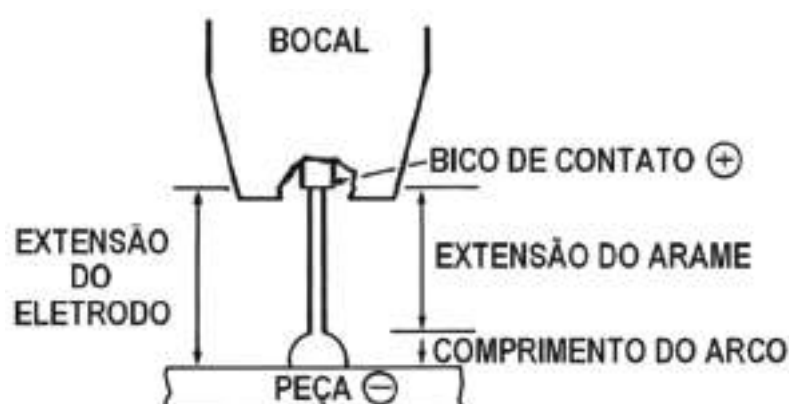


Figura 10 - Distância entre o bico de contacto e a peça.

A distância entre o bico de contacto e a peça (extensão do eléctrodo) afeta a corrente de soldadura necessária para fundir o arame a uma dada velocidade de alimentação de arame. A figura 11 ilustra a dimensão da variação da corrente de soldadura com a distância do bico de contacto à peça. Basicamente, quando esta distância é aumentada, o aquecimento devido ao efeito Joule aumenta e a corrente de soldadura necessária para fundir o arame é diminuída e vice-versa.





Figura 11 - Efeito da distância entre o bico de contacto e a peça na corrente de soldadura.

É importante controlar a distância entre o bico de contacto e a peça. Grandes extensões de eléctrodo resultam em excesso de metal de solda a ser depositado com baixo calor do arco, podendo provocar uma geometria desfavorável do cordão e baixa penetração. Adicionalmente, quando a distância do bico de contacto à peça aumenta, o arco torna-se menos estável. Na soldadura por curto-circuito é recomendada uma distância entre o bico de contacto e a peça de 10 mm. É muito importante que a extensão do eléctrodo seja mantida constante durante a atividade de soldadura. Tendo em vista o substancial efeito na atividade de soldadura, é sempre bom registar não só a corrente e a tensão, mas também a velocidade de alimentação do arame.

Tensão de Soldadura

Como já foi referido, o ajuste da tensão de soldadura controla diretamente o comprimento do arco. Além disso, é necessária uma certa faixa para manter a estabilidade do arco a qualquer nível de corrente de soldadura.

Velocidade de Soldadura

A velocidade de soldadura é a relação entre o caminho percorrido pelo arco ao longo da peça e o tempo gasto para percorrê-lo. Este parâmetro é normalmente expresso em cm/min ou mm/min. Existem três regras gerais que podem ser enunciadas tendo em conta a velocidade de soldadura:

- Quando a espessura da peça aumenta a velocidade de soldadura deve diminuir;



- Para uma dada espessura de peça e tipo de junta, quando a corrente de soldadura aumentar a velocidade de soldadura também deve aumentar e vice-versa;
- Maiores velocidades de soldadura são alcançadas empregando a técnica de soldadura empurrando.

Técnicas de Soldadura

A primeira técnica geral de soldadura que afeta as características da solda é a posição da tocha e refere-se à maneira como a tocha é mantida relativamente ao cordão de solda. A posição da tocha é normalmente definida em duas direções — o ângulo relativo ao comprimento do cordão e o ângulo relativo às chapas, como está ilustrado na Figura 12 e na Figura 13, respetivamente. Ambas as técnicas de soldadura puxando e empurrando são mostradas na Figura 24. Na técnica puxando a tocha é posicionada de tal modo que o arame seja alimentado no sentido oposto ao do deslocamento do arco. O arame é adicionado ao metal de solda já depositado. Na técnica empurrando a tocha é posicionada de tal modo que o arame seja alimentado no mesmo sentido do deslocamento do arco. Nesta técnica o arame é adicionado, na maior parte, diretamente na peça. Deve-se observar que não é necessária qualquer alteração no sentido de soldadura para facilitar a soldadura puxando ou empurrando, mas apenas uma mudança no posicionamento longitudinal da tocha. Geralmente os soldadores acham que a técnica de soldadura puxando proporciona um arco mais estável e menos respingos na peça.

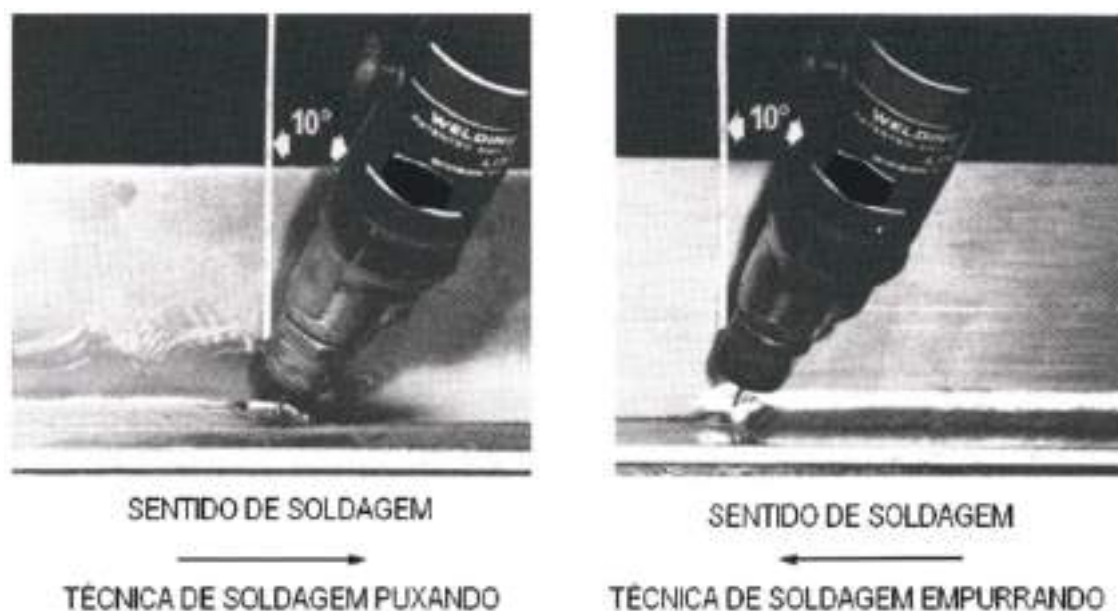


Figura 12 - Posições longitudinais da tocha.



O ângulo relativo à chapa para uma junta em ângulo mostrado na figura 13 é normalmente 45° . Entretanto, para uma junta de topo biselada, este ângulo pode ficar quase na vertical para permitir uma molhabilidade adequada do metal de solda nas paredes do chanfro.

A segunda técnica geral de soldadura que deve ser considerada é o sentido de soldadura quando esta deve ser realizada na posição vertical. Como a figura 14 ilustra, existem duas progressões pelas quais a soldadura pode ser executada — a ascendente e a descendente.

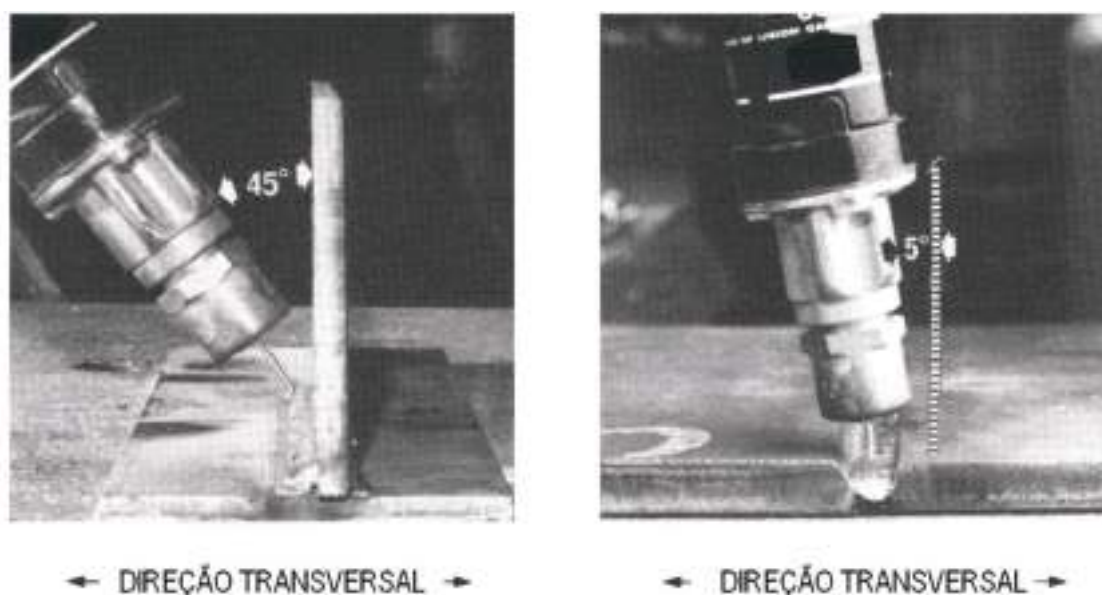


Figura 13 - Posições transversais da tocha.

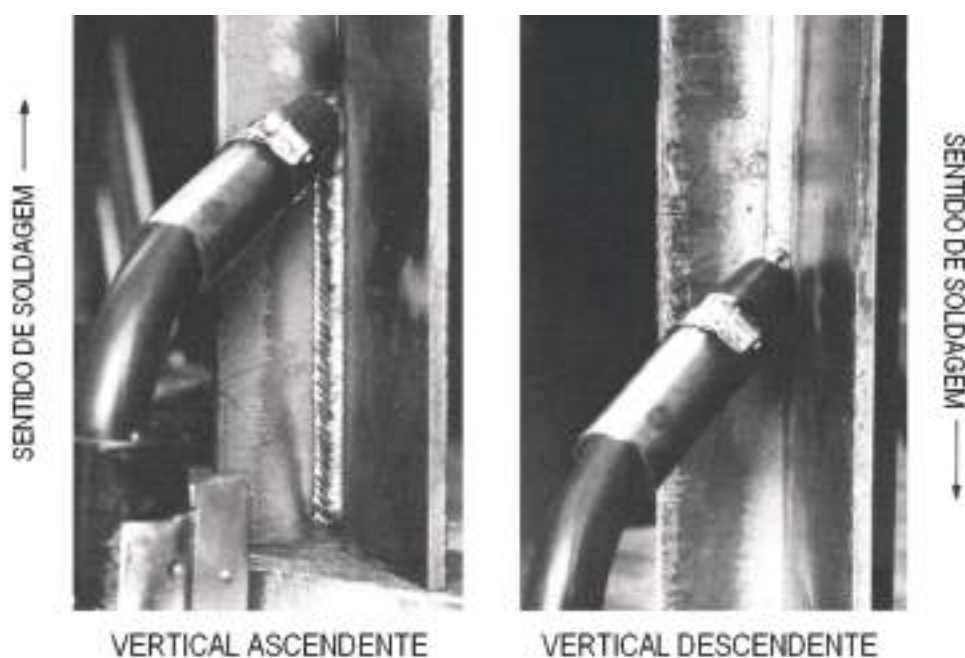


Figura 14 - Soldadura nas progressões ascendente e descendente.



Neste caso, o posicionamento da tocha é extremamente importante e a soldadura deve ser realizada apenas como se mostra na figura. Em ambos os casos, o arco deve ser mantido na borda da bolsa de fusão para assegurar uma penetração completa da solda. Estas informações completam uma definição dos fatores que tornam controláveis as técnicas e os parâmetros de soldadura.

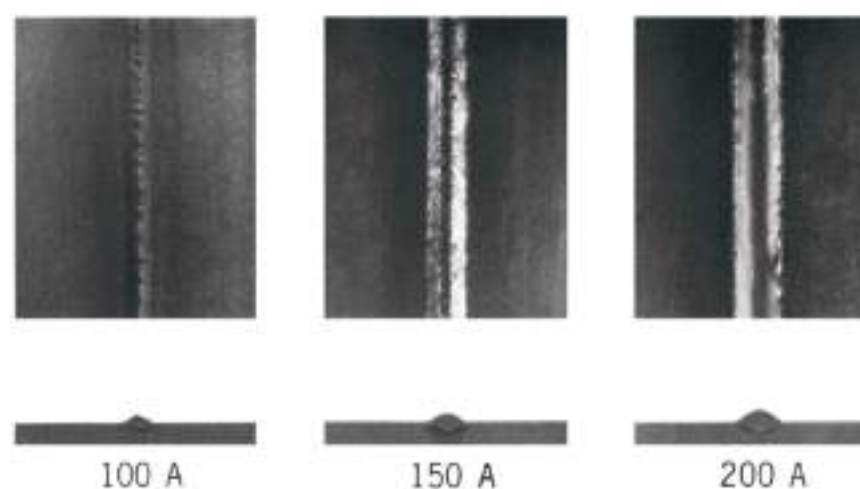
Características do Cordão de Solda

Penetração

A penetração de solda é a distância que a linha de fusão se estende abaixo da superfície do material depois de soldado.

A corrente de soldadura influencia bastante a penetração. Como ilustra a Figura 15, a penetração da solda é diretamente proporcional à corrente de soldadura. Um aumento ou uma diminuição na corrente aumentará ou diminuirá a penetração da solda, respectivamente. Entretanto, tem-se observado que a corrente de soldadura pode ser variada sem alteração da velocidade de alimentação do arame, particularmente através da variação da extensão do eletrodo (distância entre o bico de contacto e a peça). O efeito da extensão do eletrodo na penetração da solda é de natureza oposta ao da corrente de soldadura. Um aumento na extensão do eletrodo diminuirá a corrente de soldadura e a penetração da solda e vice-versa. Em algumas aplicações, muitos soldadores acham útil recorrer a essa propriedade para controlar a penetração. Alterações na extensão do eletrodo durante a soldadura evitam furar a raiz quando existirem variações na espessura da peça ou na abertura da raiz.

Figura 15 - Efeito da corrente de soldadura na penetração da solda – aço carbono, curto-circuito, Ar - 25% CO₂.



Outros fatores influenciam a penetração. A figura 16 mostra o efeito da tensão de soldadura. Neste exemplo, a penetração é maior com 24 V e diminui quando a tensão é aumentada ou diminuída. A tensão ótima para a corrente utilizada é de 24 V e garante o arco mais estável. A instabilidade do arco diminui a penetração.

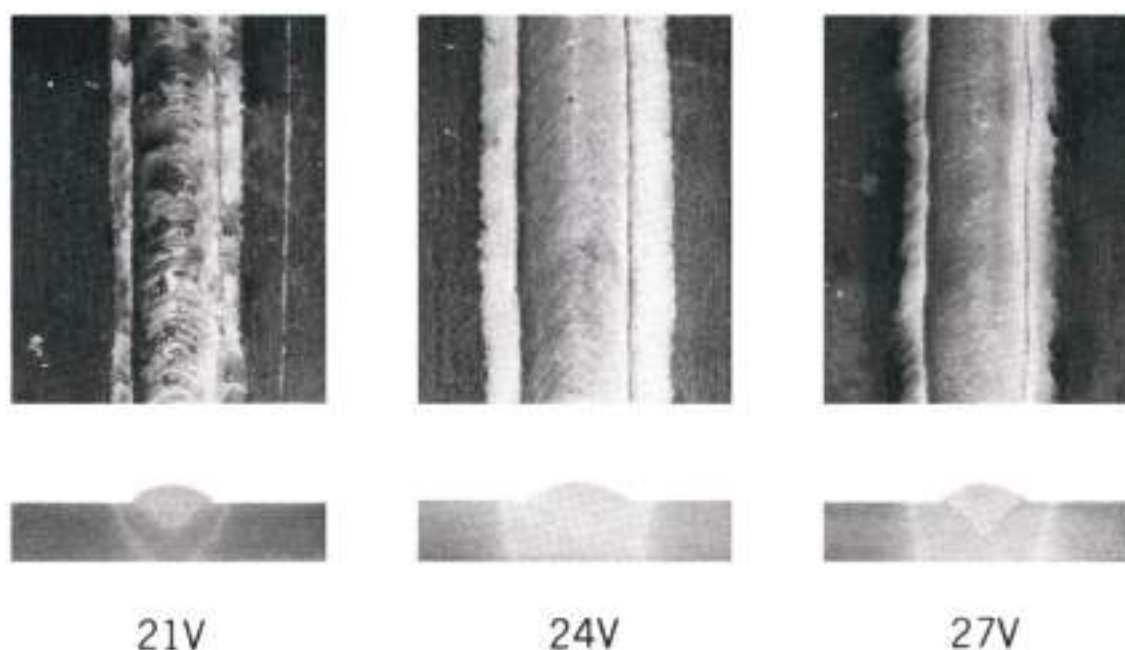
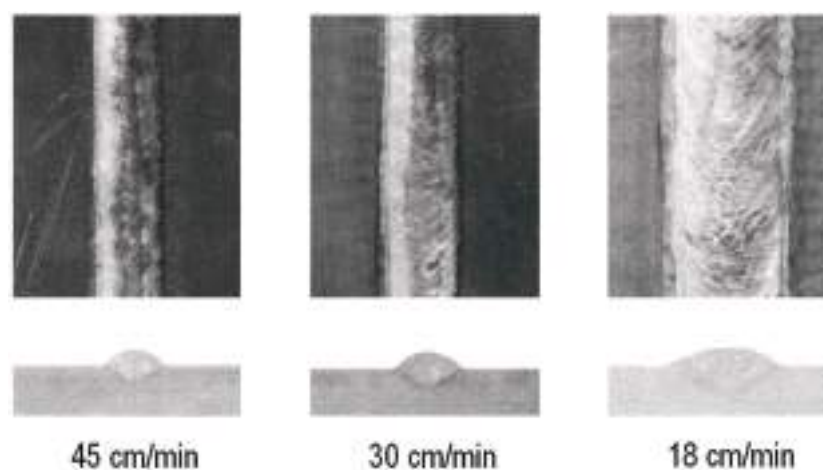


Figura 16 - Efeito da tensão de soldadura na penetração da solda – alumínio, aerossol, árgon.

Os efeitos da velocidade de soldadura são similares aos da tensão de soldadura: a penetração é máxima para um determinado valor e diminui quando a velocidade de soldadura é alterada. A figura 17 mostra que a uma velocidade de soldadura de 30 cm/min a penetração é máxima. A 18 cm/min e a 45 cm/min a penetração diminui. A velocidades de soldadura mais baixas há o depósito de muito metal de solda fundido, que acaba causando um efeito de almofadamento do metal de base, reduzindo a penetração. A maiores velocidades de soldadura não há tempo suficiente para que o calor gerado pelo arco funda substancialmente a região apropriada do metal de base.



Figura 17 - Efeito da velocidade de soldadura na penetração da solda – alumínio, aerossol, argon.



A posição da tocha tem um efeito ligeiramente maior que a tensão e a velocidade de soldadura. O efeito da alteração do ângulo da tocha ou de mudar de uma técnica de soldadura empurrando para puxando é mostrado na figura 18. Pode-se observar que geralmente a técnica de soldadura empurrando assegura uma penetração mais rasa que a técnica de soldadura puxando. A penetração máxima é alcançada com um ângulo de tocha de 25° e aplicando-se a técnica de soldadura puxando. Entretanto, além deste ângulo de tocha, aumentarão a instabilidade do arco e a quantidade de respingos. Em materiais de pequena espessura ou onde for necessária uma pequena penetração, é geralmente utilizada a técnica de soldadura empurrando.

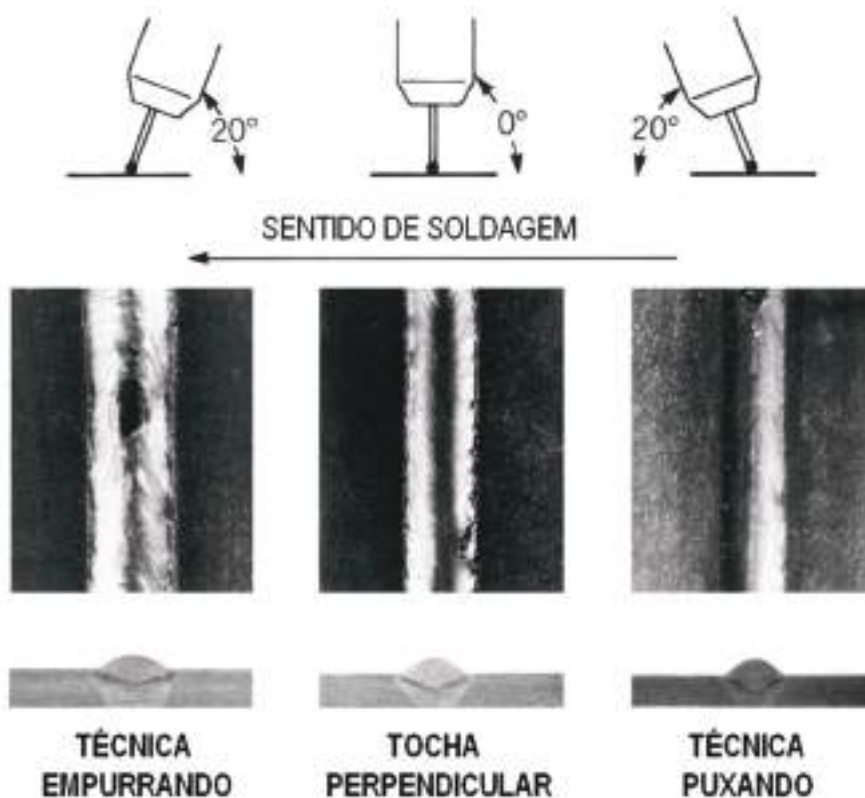


Figura 18 - Efeito da posição longitudinal da tocha na penetração da solda.



Taxa de Deposição

A taxa de deposição dá-nos a quantidade de metal de solda que será depositado numa hora de arco aberto. Como o processo MIG/MAG é muito eficiente, apenas uma pequena quantidade de metal de solda será perdida na forma de respingos. A taxa de deposição para qualquer arame é calculada pela seguinte equação:

$$\text{Taxa de deposição (Kg/h)} = (\text{Velocid. alimentação arame (m/min)} \times 60 \text{ min/h}) / (\text{m/kg de arame})$$

A Tabela 5 dá-nos a quantidade de metros por quilo de diversos tipos e diâmetros de arame.

Material \ Diâmetro	0,76 mm	0,80 mm	0,89 mm	1,00 mm	1,14 mm	1,18 mm	1,20 mm	1,58 mm	2,38 mm
Aço doce	276,9	250,9	203,9	160,4	122,7	-	111,5	64,4	28,8
Aço inoxidável (3XX)	272,2	-	200,5	-	120,7	-	-	63,7	28,2
Alumínio	805,3	-	592,1	-	-	358,1	-	188,4	83,8
Cobre	243,4	-	178,4	-	108,0	-	-	57,0	24,1
Bronze ao silício	256,8	-	188,4	-	114,0	-	-	59,7	26,8

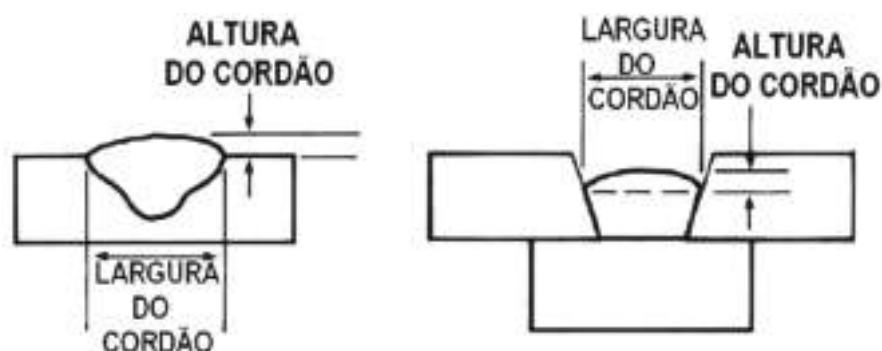
Tabela 5 - Quantidade de metros por quilo de arames de solda.

Aparência do Cordão de Solda

Há duas características do cordão de solda, que são sua altura e largura, como é mostrado na figura 19. Estas características são importantes para garantir que a junta de solda seja corretamente preenchida, com um mínimo de defeitos, particularmente em soldas multipasses. Neste caso, se a altura do cordão de solda for muito grande, torna-se muito difícil depositar os passes de solda subsequentes com boa fusão. Quanto mais protuberante e estreito for o cordão de solda, maior a probabilidade de ocorrer falta de fusão. As características do cordão de solda podem ser alteradas em seu tamanho e/ou em sua forma.



Figura 19 -
Características
do cordão de
solda.



Para alterar o tamanho do cordão de solda, deve ser mudada a quantidade de metal de solda depositado (kg) por unidade de comprimento linear da solda (m). A corrente e a velocidade de soldadura são os parâmetros mais influentes no controlo do tamanho do cordão de solda. Por exemplo, quando a corrente de soldadura é diminuída, o cordão de solda torna-se menor e vice-versa.

POSIÇÕES DE SOLDADURA

As recomendações que se seguem servem apenas como um guia pelos soldadores. À medida que cada um deles se torna mais eficiente no processo MIG/MAG, desenvolverá as suas próprias técnicas para melhor adequar as suas habilidades manuais ao trabalho.

Tabela 6 - Ajustes
nos parâmetros
e nas técnicas de
soldadura.

Variáveis de soldagem para modificar	Modificações desejadas							
	Penetração		Taxa de deposição		Área da seção reta do cordão		Largura do cordão	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Corrente e vel. alim. arame	↑	↓	↑	↓	↑	↓	+	+
Tensão	+	+	*	*	*	*	↑	↓
Velocidade de soldagem	+	+	*	*	↓	↑	↓	↑
Extensão do eletrodo	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Diâmetro do arame	↓	↑	↓	↑	*	*	+	+
Gás de proteção %CO ₂	↑	↓	*	*	*	*	*	*
Ângulo da tocha	puxando a 25°	empurrando	*	*	*	*	puxando	empurrando

* sem efeito

+ pequeno efeito

↑ aumento

↓ diminuição



Posição Plana

São mostrados na figura 20 alguns modelos recomendados de oscilação e posicionamento da tocha e sequência de passes. Numa junta de topo monopasse, emprega-se um ligeiro movimento de ida e volta. Os passes de raiz com abertura são executados com uma pequena oscilação (trançado). Para passes de enchimento e acabamento usa-se a mesma oscilação com um ajuste para a largura desejada, tomando-se cuidado nas paredes do chanfro, pausando para obter um enchimento adequado nessas áreas.

Posição Horizontal

São mostrados na figura 21 padrões de oscilação, posicionamentos da tocha e sequências de passes. Para juntas em ângulo é recomendado um movimento circular. Para passes de raiz e de enchimento em juntas de topo é utilizado um movimento de vai-e-vem alinhado com os ajustes na largura do cordão conforme a necessidade. É usual fazer-se uma ligeira pausa na ligação com o passe anterior.

Posição Vertical

São mostrados na figura 22 padrões de oscilação e posicionamento da tocha na posição vertical considerando as progressões ascendente e descendente. Na progressão ascendente para uma junta de topo com chanfro reto é aplicada uma oscilação em vai-e-vem alinhado. Numa junta multipasse biselada é utilizado um modelo de oscilação em “U” no passe de raiz. Os passes de enchimento e acabamento são feitos com uma oscilação para os lados com um ligeiro retorno nas laterais. O comprimento do retorno depende do diâmetro do arame. Na soldadura de uma junta em ângulo na progressão ascendente é aplicado um padrão do tipo “árvore de Natal” com pausa nas laterais. Na progressão descendente é utilizado um padrão em “U” invertido, pausando nas laterais nos passes de raiz, enchimento e acabamento.

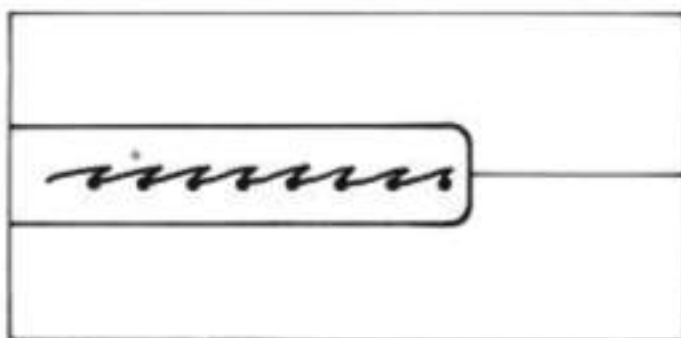
Deve-se sempre ter cuidado para manter o arco na borda da bolsa de fusão. Evitando-se que o metal de solda fundido corra à frente da bolsa de fusão melhora-se a integridade da solda.



POSIÇÃO PLANA

A. SOLDA DE TOPO MONOPASSE

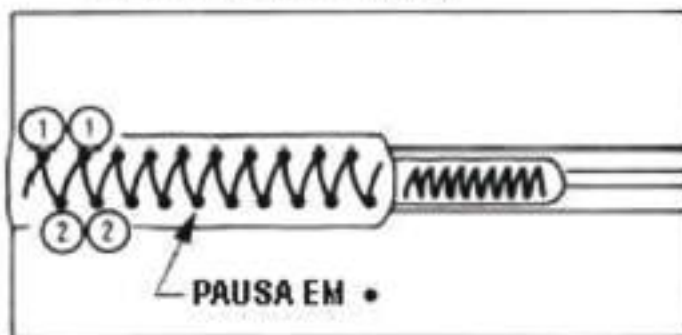
- ÂNGULO LONGITUDINAL DA TOCHA = $5^{\circ} - 10^{\circ}$
- ÂNGULO TRANSVERSAL DA TOCHA = 90°



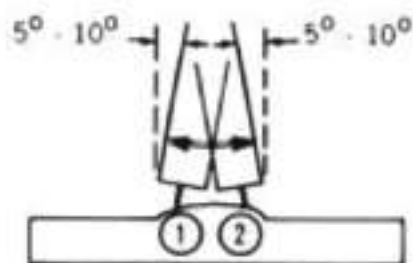
SENTIDO DE SOLDAGEM →

B. SOLDA DE TOPO MULTIPASSE

- ÂNGULO LONGITUDINAL DA TOCHA = $5^{\circ} - 10^{\circ}$
- ÂNGULO TRANSVERSAL DA TOCHA = (VEJA ABAIXO A TÉCNICA DE OSCILAÇÃO)



SENTIDO DE SOLDAGEM →



SEQUÊNCIA DE PASSES
PARA UMA JUNTA MULTIPASSE

Figura 20 - Manipulações da tocha na posição plana.



POSIÇÃO HORIZONTAL

A. JUNTA EM ÂNGULO

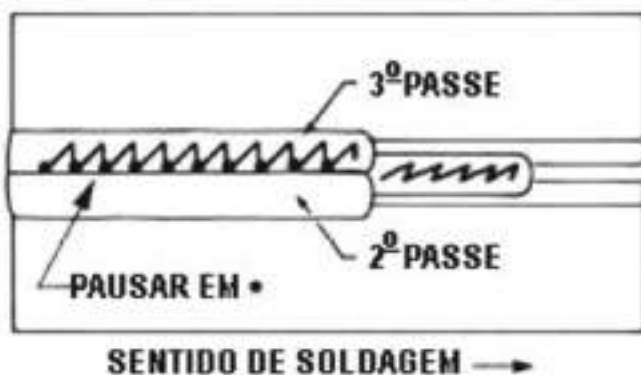
- ÂNGULO LONGITUDINAL DA TOCHA = $5^{\circ} - 10^{\circ}$
- ÂNGULO TRANSVERSAL DA TOCHA = 45°



SEQUÊNCIA DE PASSES
PARA UMA
JUNTA EM ÂNGULO MULTIPASSE

B. JUNTA DE TOPO

- ÂNGULO LONGITUDINAL DA TOCHA = $5^{\circ} - 10^{\circ}$
- ÂNGULO TRANSVERSAL DA TOCHA = 90° *
- PARA UM SÓ PASSE DE ENCHIMENTO USE A MESMA OSCILAÇÃO DO PRIMEIRO PASSE



SEQUÊNCIA DE PASSES
PARA UMA
JUNTA DE TOPO MULTIPASSE

* LEMBRE-SE DE INCLINAR A TOCHA EM DIREÇÃO ÀS PAREDES AO OSCILAR

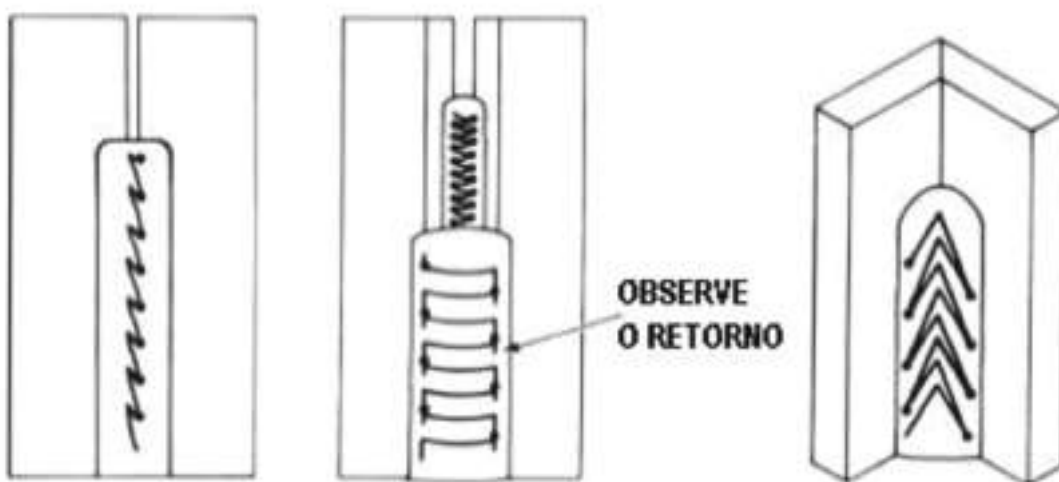
Figura 21 - Manipulações de tocha na posição horizontal.



POSIÇÃO VERTICAL

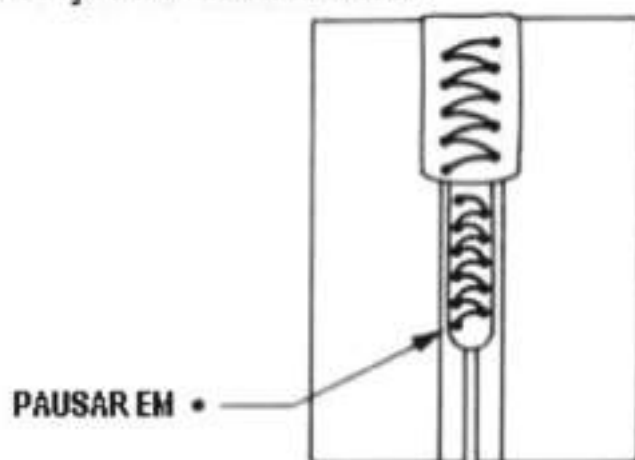
A. PROGRESSÃO ASCENDENTE

- ÂNGULO LONGITUDINAL DA TOCHA = 10° - 15°
- ÂNGULO TRANSVERSAL DA TOCHA = 90° *



B. PROGRESSÃO DESCENDENTE

- ÂNGULO LONGITUDINAL DA TOCHA = 5° - 10°
- ÂNGULO TRANSVERSAL = 90° *
- EMPREGUE A MESMA TÉCNICA DE OSCILAÇÃO PARA JUNTAS EM ÂNGULO
- PARA UM SÓ PASSE DE ENCHIMENTO USE A MESMA OSCILAÇÃO DO PRIMEIRO PASSE



* LEMBRE-SE DE INCLINAR A TOCHA EM DIREÇÃO ÀS PAREDES AO OSCILAR

Figura 22 - Manipulações da tocha na posição vertical.

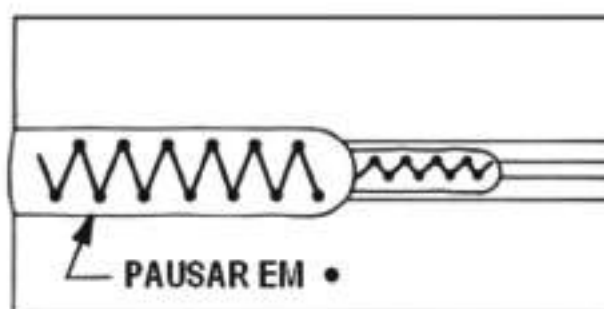


Posição ao Teto

São mostrados na Figura 23 padrões de oscilação e posicionamento da tocha para a posição ao teto. Aplicar uma oscilação em ziguezague com pausas nas laterais do chanfro. Isso se aplica aos passes de raiz, enchimento e acabamento.

POSIÇÃO SOBRECABEÇA

- ÂNGULO LONGITUDINAL DA TOCHA = 5° - 10°
- ÂNGULO TRANSVERSAL DA TOCHA = 90° *



- EMPREGUE A MESMA TÉCNICA DE OSCILAÇÃO PARA JUNTAS EM ÂNGULO
- PARA UM SÓ PASSE DE ENCHIMENTO USE A MESMA OSCILAÇÃO DO PRIMEIRO PASSE

* LEMBRE-SE DE INCLINAR A TOCHA EM DIREÇÃO ÀS PAREDES AO OSCILAR

Figura 23 - Manipulações da tocha na posição ao teto (sobrecabeça na figura).

CONDIÇÕES DE SOLDADURA

As tabelas de condições de soldadura devem servir apenas como um ponto de partida quando se iniciarem novas aplicações, mas não representam o único bom caminho pelo qual as soldas podem ser feitas. As alterações nas condições de soldadura serão provavelmente provocadas pelas diferentes experiências dos soldadores, pela configuração exata da junta de solda e pelo equipamento em uso. Para obter as



condições ótimas de soldadura que melhor satisfazem os requisitos particulares de uma nova aplicação é sempre aconselhável conduzir os testes de qualificação antes do início da produção. Entretanto, este é o ponto básico — escolher uma boa e estável condição de soldadura, e então ela provavelmente poderá ser utilizada em muitas aplicações. Quando as modificações nas condições de soldadura forem necessárias, devem ser feitas com cuidado. Como já foi referido, cada parâmetro de soldadura tem seus efeitos específicos nas características do cordão de solda e muitos desses efeitos são interdependentes. Todos os ajustes devem ser feitos um de cada vez e registrados para utilizações futuras.

Garantia da Qualidade na Solda

Independentemente do material a ser soldado existem algumas precauções que devem ser tidas em conta para evitar defeitos de porosidade e falta de fusão na solda:

- O material a ser soldado deve estar tão limpo quanto possível. Toda a graxa, óleo e lubrificantes devem ser removidos. Para se obter soldas de melhor qualidade a carepa, a ferrugem e outras camadas de óxidos devem ser mecânica ou quimicamente removidas. Essa atividade de limpeza é extremamente importante na soldadura do alumínio;
- Na soldadura de chapas de aço carbono use apenas as combinações arame-gás de proteção recomendadas para os diversos tipos de aço: acalmados, semi-acalmados ou efervescentes;
- Evite, de um modo geral, as condições de soldadura que resultarem numa solidificação muito rápida do cordão de solda, tais como velocidades de soldadura muito altas. Os gases que se desprenderiam normalmente do metal de solda durante um arrefecimento mais lento podem ficar aprisionados e gerar porosidade;
- Mantenha um fluxo adequado de gás de proteção e proteja o local de soldadura de ventos e de correntes de ar;
- Mantenha o arame de solda centralizado em relação ao fluxo de gás de proteção. A curvatura do arame é normalmente responsável pelo fato de o arame de solda estar fora de centro. Este desalinhamento pode ser corrigido



usando-se um dispositivo de endireitamento do arame de solda colocado no alimentador de arame;

- Ao soldar por ambos os lados duma chapa, ou onde não houve penetração total do primeiro passe no material de base, certifique-se que o segundo passe penetrará profundamente no primeiro. Quando o primeiro passe tiver penetrado completamente, ou quando for utilizada uma abertura na raiz, é prática comum esmerilhar o outro lado para limpar o metal de solda antes que seja aplicado o segundo passe. Essa prática é obrigatória na soldadura do alumínio e do cobre, e quando são necessárias soldas de qualidade radiográfica em aços carbono e inoxidáveis;
- Evite condições de soldadura nas quais o metal de solda fundido passe à frente da bolsa de fusão. Esta é a principal causa de defeitos de falta de fusão, particularmente na posição vertical com progressão descendente;
- Na soldadura multipasse, esmerilhe todos os cordões de solda que apresentarem convexidade excessiva e uma má molhabilidade para deixá-los com uma superfície mais plana;
- Remova os resíduos de óxidos ou de escória encontrados no cordão de solda com uma lixa ou com uma picadeira se for depositar outro cordão de solda posteriormente.

Projeto de Juntas

Independentemente do material a ser soldado, existem algumas poucas práticas gerais que devem ser consideradas no projeto de juntas de solda. as chapas de espessura até 4,8 mm podem ser soldadas de topo com chanfro reto utilizando a transferência por curto-circuito ou por aerossol com baixa corrente (alumínio) se for mantida uma abertura de raiz até 0,8 mm. Chapas de espessura 4,8 mm e 6,5 mm podem ser soldadas em juntas de topo com chanfro reto por meio de transferência por aerossol quando for utilizada uma abertura de raiz de 0,8 - 2,4 mm. Em todos os casos, pode ser aplicado um único passe se for utilizada uma chapa como cobre-juntas. Na soldadura na posição ao teto é prática usual usar cobre-juntas em juntas de topo. Entretanto, se não for utilizado cobre-juntas na soldadura de chapas de espessura 3,2 mm e acima,



serão normalmente necessários dois passes — um de cada lado. É desejável uma sobreposição maior que a abertura original da raiz para evitar porosidade na linha de centro e falta de fusão. Consegue-se máxima sobreposição se for utilizada no segundo passe a técnica de soldadura puxando.

As chapas de espessura 6,5 mm e acima necessitam normalmente de chanfros em “V” simples ou duplo com ângulos de 45° até 70° — dependendo do material de base e da espessura — para produzir soldas de boa qualidade. Utiliza-se um nariz até 1,6 mm e uma abertura de raiz até 0,8 mm. Em chanfros em “V” simples, onde não for utilizado um cobre-juntas, será normalmente necessário um passe de selagem depositado no lado oposto.

Ambas as técnicas de soldadura puxando ou empurrando podem ser utilizadas alternadamente sem a necessidade de reajuste nas condições de soldadura. Geralmente a técnica de soldadura empurrando proporciona melhor visibilidade da junta de solda e uma bolsa de fusão mais plana. A técnica de soldadura puxando proporciona melhor penetração e é algumas vezes considerada mais fácil pelo soldador pouco experiente.

Adicionalmente, podem ser utilizadas as progressões ascendente e descendente, porém não alternadamente. As velocidades de soldadura associadas com a progressão descendente são muito maiores que a progressão ascendente. A progressão descendente é normalmente a preferida para a soldadura de peças de pequena espessura (até 6,5 mm), onde a velocidade de soldadura é importante, e para passes de raiz na soldadura multipasse. A progressão ascendente é recomendada para a soldadura de materiais de maior espessura — onde a qualidade e a resistência são necessárias — por causa da menor tendência à colagem.

DEFEITOS DE SOLDADURA

Com as condições e técnicas de soldadura corretas e com os materiais também corretos o processo MIG/MAG resultará num depósito de solda de alta qualidade. No entanto, assim como em qualquer outro processo de soldadura, podem ocorrer defeitos de solda. A maioria dos defeitos encontrados na soldadura é causada por práticas de soldadura inadequadas. Uma vez que as causas sejam determinadas, o operador pode facilmente corrigir o problema.



Os defeitos normalmente encontrados incluem falta de penetração, falta de fusão, mordedura, porosidade e fissuras longitudinais.

Falta de Penetração

Este tipo de defeito é encontrado num dos três casos:

- Quando o cordão de solda não penetrar completamente na espessura do metal de base;
- Quando dois cordões de solda opostos não se interpenetram;
- Quando o cordão de solda não penetrar na garganta de uma junta em ângulo.

A corrente de soldadura é o parâmetro que tem o maior efeito na penetração. A penetração incompleta é normalmente causada pela aplicação de uma corrente de soldadura muito baixa e pode ser evitada simplesmente aumentando essa corrente de soldadura. Outras causas podem ser o emprego de uma velocidade de soldadura muito baixa e um ângulo incorreto da tocha. Ambas permitirão que a bolsa de fusão passe à frente do arco, atuando como um amortecimento à penetração. O arco deve ser mantido na margem anterior da bolsa de fusão.



Figura 24 - Exemplos de falta de penetração.

Falta de Fusão

A falta de fusão ocorre onde não existir fusão entre o metal de solda e as superfícies do metal de base. Este defeito pode ser observado na Figura 25. A causa mais comum de falta de fusão é uma técnica de soldadura deficiente, ou a bolsa de fusão fica muito larga (por causa de uma velocidade de soldadura muito baixa) e/ou o metal de solda



passou à frente do arco. Mais uma vez, o arco deve ser mantido na margem anterior da bolsa de fusão. Quando isto é feito, a bolsa de fusão não ficará muito larga e não poderá “amortecer” o arco.

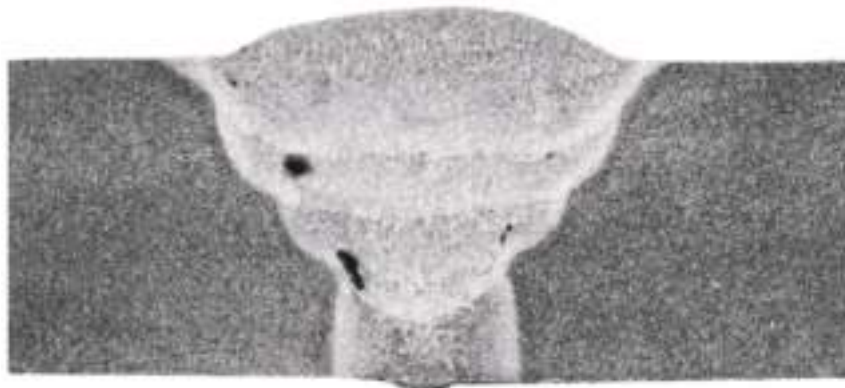


Figura 25 - Exemplo de falta de fusão.

Outra causa é o uso de uma junta de solda muito larga. Se o arco for dirigido diretamente para o centro da junta, o metal de solda fundido apenas fluirá e fundir-se-á contra as paredes do chanfro sem, porém, fundi-las. O calor do arco deve ser usado também para fundir o metal de base, o que é alcançado tornando a junta mais estreita ou dirigindo o arco também para as paredes do chanfro. Na soldadura multipasses de juntas espessas deve ser adotada uma técnica de oscilação sempre que possível após o passe de raiz. No entanto, os cordões de solda muito largos ligando os dois lados do chanfro devem ser evitados.

A falta de fusão também pode ocorrer na forma de uma gota fria. Este defeito é geralmente provocado por uma velocidade de soldadura muito baixa na tentativa de se depositar uma camada num único passe de solda. É, também, muito frequentemente provocado por uma tensão de soldadura muito baixa. Como resultado, a molhabilidade do cordão de solda fica má.

Na soldadura do alumínio, a causa mais comum deste tipo de defeito é a presença do óxido de alumínio, que é refratário com um ponto de fusão de aproximadamente 1.927°C , além de ser insolúvel no próprio alumínio. Se esse óxido estiver presente nas superfícies a serem soldadas, a fusão com o metal de solda será prejudicada.

A melhor proteção contra a formação de óxidos é removê-los imediatamente antes da soldadura. Embora nos aços seja possível soldar sobre o óxido de ferro (ferrugem, carepa), uma quantidade excessiva desse óxido pode causar falta de fusão.



Mordedura

Como se mostra na figura 26, a mordedura é um defeito que aparece como um entalhe no metal de base ao longo das bordas do cordão de solda. É muito comum em juntas em ângulo sobrepostas, porém pode também ser encontrada em juntas de topo e em ângulo. Esse tipo de defeito é normalmente provocado por parâmetros de soldadura inadequados, particularmente a velocidade de soldadura e a tensão do arco.



Figura 26 - Exemplos de mordedura.

Quando a velocidade de soldadura é muito alta, o cordão de solda fica com uma crista por causa da solidificação extremamente rápida. As forças da tensão superficial arrastaram o metal fundido ao longo das margens do cordão de solda e empilharam-no ao longo de seu centro. As partes fundidas do metal de base são afetadas da mesma maneira. O entalhe da mordedura fica onde o metal de base fundido foi arrastado para a solda e não retornou devido à rápida solidificação.

A diminuição da velocidade de soldadura reduzirá gradualmente o tamanho da mordedura e eventualmente eliminá-la-á. Quando estão presentes mordeduras pequenas ou intermitentes, aumentar a tensão do arco ou soldar empurrando podem ser ações corretivas eficazes. Em ambos os casos o cordão de solda ficará mais plano e a molhabilidade será melhor.

No entanto, quando a tensão do arco é aumentada até níveis excessivos, a mordedura poderá aparecer novamente. Esse fato é particularmente verdade no modo de transferência por aerossol. Quando o arco se torna muito longo, também se torna muito largo, que resulta num aumento da quantidade de metal de base fundido. No entanto, a transferência de calor de um arco longo é má, e assim, na realidade, o arco não está a transferir mais calor para a região da solda. As áreas mais externas arrefecem muito rapidamente e novamente não se consegue uma boa molhabilidade. O comprimento



do arco deve ser mantido curto, não só para evitar as mordeduras, mas também para aumentar a penetração e garantir a integridade da solda.

As correntes de soldadura excessivas também podem causar mordeduras. A força e o calor do arco e a penetração são tão grandes que o metal de base sob o arco é realmente “soprado” para fora. Mais uma vez, as áreas mais externas do metal de base são fundidas, mas solidificam rapidamente. A turbulência da bolsa de fusão e a tensão superficial não permitem que a bolsa de fusão molhe adequadamente o metal de base. É sempre recomendável permanecer dentro das faixas de corrente especificadas para cada diâmetro de arame.

Porosidade

A porosidade consiste em poros de gás que podem ser encontrados na superfície ou no interior do cordão de solda solidificado. Como está ilustrado na Figura 27, estes poros podem variar em tamanho e são geralmente distribuídos numa forma aleatória. Entretanto, também é possível que a porosidade seja encontrada apenas no centro da solda.

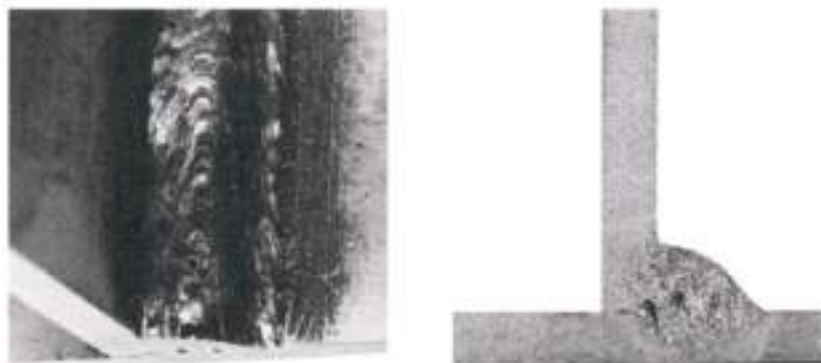


Figura 27 - Exemplos de porosidade

As causas mais comuns da porosidade são a contaminação atmosférica, excesso de oxidação nas superfícies das peças a serem soldadas, elementos de liga desoxidantes inadequados no arame e a presença de sujeira. A contaminação atmosférica pode ser provocada por:

- Vazão de gás de proteção insuficiente;
- Vazão de gás de proteção excessiva, que pode causar aspiração de ar para dentro do fluxo do gás de proteção;



- Bocais obstruídos ou sistema de fornecimento de gás danificado (mangueiras e conexões com vazamentos, etc.);
- correntes de ar excessivas na área da soldadura, que podem arrastar o gás de proteção da região da bolsa de fusão.

Os gases atmosféricos que são primariamente responsáveis pela porosidade no aço são o nitrogénio e o oxigénio em excesso. No entanto, uma quantidade considerável de oxigénio pode ser tolerada sem gerar porosidade na ausência do nitrogénio. O oxigénio na atmosfera pode causar problemas graves com o alumínio por causa da rápida formação de óxidos. A vazão de gás deve ser inspecionada a intervalos regulares para assegurar que esteja livre de vazamentos.

Adicionalmente, a humidade excessiva na atmosfera pode causar porosidade no aço e particularmente no alumínio. deve ser tomado um cuidado especial em climas húmidos. Por exemplo, as tochas arrefecidas continuamente a água podem apresentar condensação durante os períodos de alta humidade e consequentemente contaminar o gás de proteção. A oxidação excessiva das peças é uma fonte óbvia de oxigénio, bem como a humidade aprisionada, particularmente para o alumínio. Os revestimentos anodizados no alumínio devem ser removidos antes da soldadura porque podem conter água, bem como atuar como isolantes.

A porosidade pode também ser causada por uma desoxidação inadequada do arame de solda durante a soldadura de aços semiacalmados ou efervescentes. O oxigénio no aço pode causar porosidade por monóxido de carbono (CO) se os elementos desoxidantes adequados não estiverem presentes.

A sujidade orgânica pode ser uma fonte de porosidade. Um exemplo é o lubrificante excessivo no arame de solda. Esses hidrocarbonetos são fontes de hidrogénio, que é especialmente prejudicial ao alumínio.

Outras causas de porosidade podem ser taxas de solidificação da solda extremamente altas e características de arco errático. Quando as taxas de solidificação são muito altas, qualquer gás que normalmente escaparia fica aprisionado. Devem ser evitados velocidades de soldadura muito altas e valores de corrente muito baixos.

as características de arco errático podem ser causadas por condições de soldadura ruins (tensão muito baixa ou muito alta, má transferência de metal) e variação na velocidade



de alimentação do arame. Todas essas ocorrências causam uma turbulência violenta na bolsa de fusão, que tende a romper a envoltória do gás de proteção e provoca a contaminação da bolsa de fusão pela atmosfera.

Fissuras Longitudinais

Fissuras longitudinais (ou de centro) do cordão de solda não frequentemente encontradas na soldadura MIG/MAG. Entretanto, essas fissuras só podem ser de dois tipos: fissuras a quente e fissuras a frio.

As fissuras a quente típicas são mostradas na Figura 28. Fissuras a quente são aquelas que ocorrem enquanto o cordão de solda está entre as temperaturas de fusão (linha liquidus do Diagrama Fe-C) e de solidificação (linha solidus do Diagrama Fe-C). Nessa faixa de temperatura o cordão de solda está “pastoso”. As fissuras a quente normalmente resultam do uso de um arame de solda incorreto (particularmente em ligas de alumínio e de aço inoxidável). A composição química do metal de base também pode levar a esse defeito (um exemplo seria um fundido de aço inoxidável de alto carbono).

Qualquer combinação de projeto de junta, condições e técnicas de soldadura que resulte num cordão de solda com uma superfície excessivamente côncava poderá conduzir à fissuração.

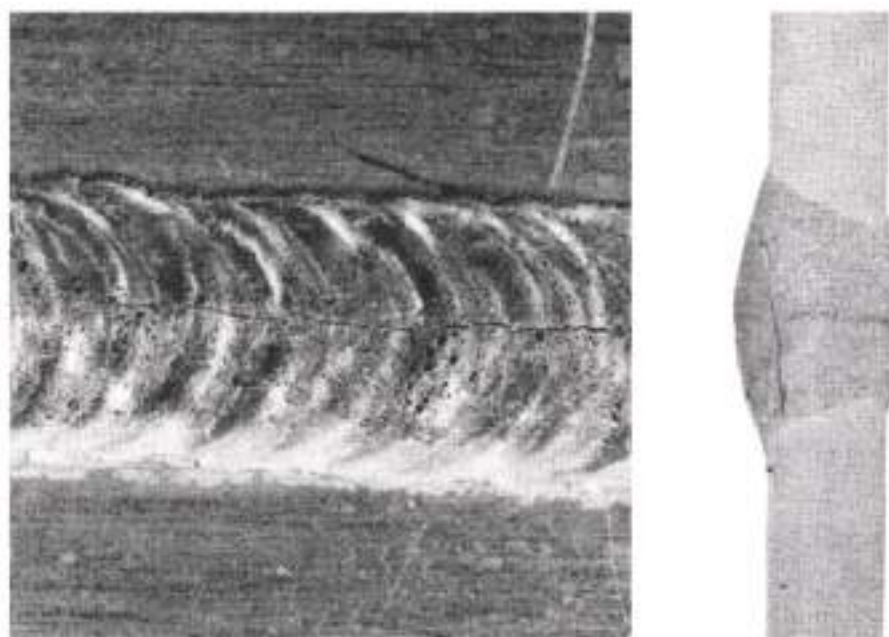


Figura 28 - Exemplo de fissura longitudinal.



Uma forma desse defeito que pode ser encontrada frequentemente — particularmente com qualquer liga de alumínio série 5000 — é denominada fissura de cratera, que são pequenas fissuras que aparecem no final do cordão de solda onde o arco foi interrompido. Embora pequenas, essas fissuras são perigosas, pois podem se propagar para o interior do cordão de solda. Uma fissura de cratera está mostrada na Figura 29. O principal motivo desse defeito é a técnica incorreta de terminar o cordão de solda. Para terminar corretamente um cordão de solda, a cratera deve ser preenchida, o que pode ser feito retornando com o arco antes de interrompê-lo (veja a Figura 28). Adicionalmente, se o controle de soldadura for programado para fornecer gás de proteção por um curto período de tempo após a interrupção do arco, a cratera deve ser protegida até que esteja completamente solidificada.

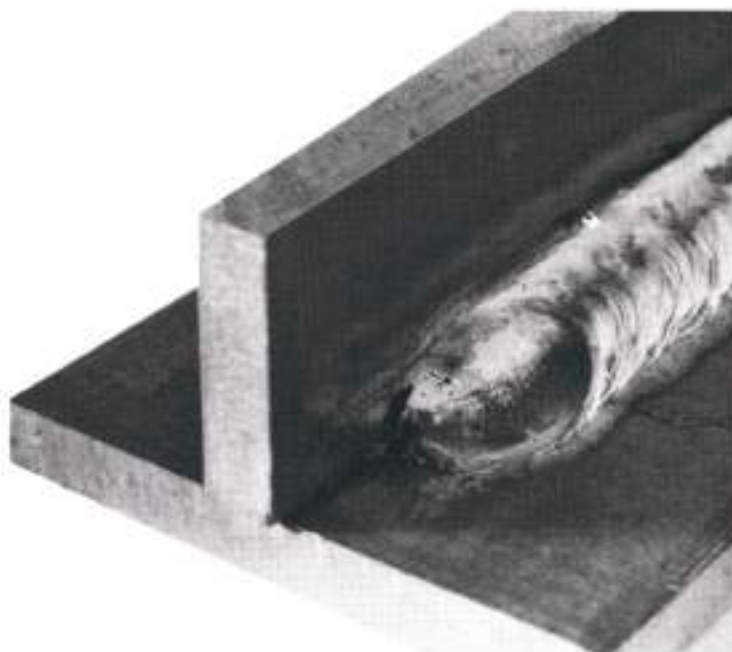


Figura 29 - Exemplo de fissura de cratera.

As fissuras que sucedem após o cordão de solda estar completamente solidificado são denominadas fissuras a frio, que podem ocorrer quando a secção reta do cordão solda é muito pequena para suportar as tensões atuantes envolvidas ou mesmo devido à presença de hidrogénio difusível, principalmente na soldadura de aços ligados, entre outras causas.



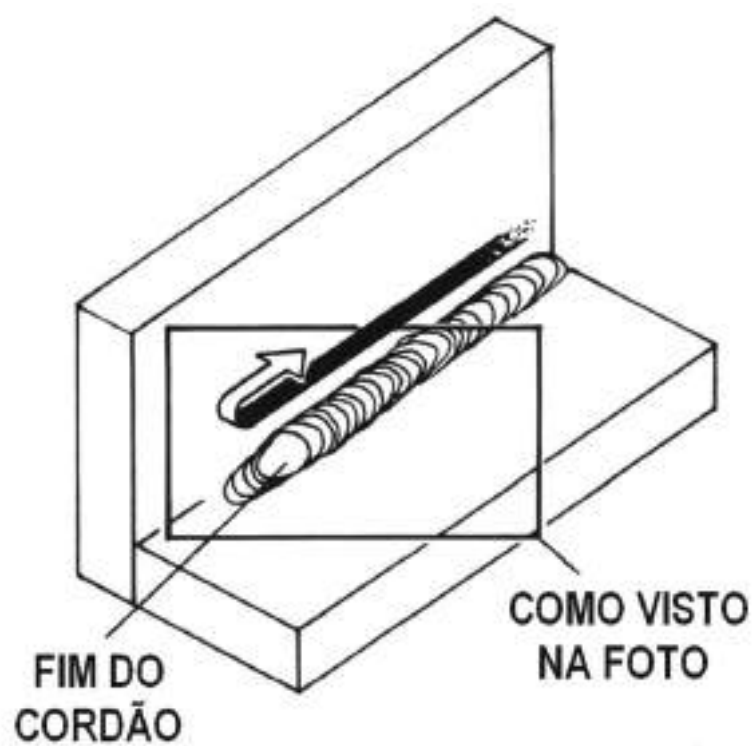


Figura 30 - Técnica de enchimento de fissura de cratera.



EXERCÍCIOS TEÓRICOS

EXERCÍCIO 1. Qual o significado das siglas MIG e MAG?

EXERCÍCIO 2. A soldadura MIG/MAG utiliza-se em corrente contínua com polaridade direta ou inversa? Justifique.

EXERCÍCIO 3. Enuncie algumas vantagens deste processo quando comparado com outros.

EXERCÍCIO 3. Basicamente o processo MIG/MAG inclui três técnicas distintas de modo de transferência de metal. Diga quais são.

EXERCÍCIO 4. Indique a ordem pela qual o soldador deve executar as seguintes tarefas.
Abertura do arco.

Liberação do gatilho para interrupção da corrente, da alimentação do eletrodo, do fluxo do gás e extinção do arco.

Preparação das superfícies.

Início da soldadura pela aproximação da tocha da peça e acionamento do gatilho para início do fluxo do gás, alimentação do eletrodo e energização do circuito de soldadura.

Produção do cordão de solda, pelo deslocamento da tocha ao longo da junta, com velocidade uniforme.

Formação da bolsa de fusão.

EXERCÍCIO 5. Qual a função dos gases de proteção?

EXERCÍCIO 6. O que pode acontecer ao aço se este tiver azoto na sua composição, após uma soldadura mal protegida?

EXERCÍCIO 7. Diga o que entende por desoxidação.



EXERCÍCIO 8. Assinale os elementos químicos que costumam estar presentes no arame.

- a) Silício;
- b) Chumbo;
- c) Estanho;
- d) Manganês;
- e) Alumínio;
- f) Titânio;
- g) Lítio;
- h) Rádio;
- i) Carbono;
- j) Prata;
- k) Zircônio;
- l) Níquel;
- m) Crômio.

EXERCÍCIO 9. Justifique a seguinte afirmação: “A maioria dos arames de cobre contém elementos de liga, embora estes elementos geralmente reduzam a condutividade do cobre puro”.

EXERCÍCIO 10. O que entende por corrente de soldadura?

EXERCÍCIO 11. Como varia a corrente de soldadura com a velocidade de alimentação do arame?

EXERCÍCIO 12. O que entende por extensão do eletrodo?

EXERCÍCIO 13. Tendo em conta a figura seguinte, diga como varia a corrente de soldadura com a distância entre o bico de contacto e a peça.

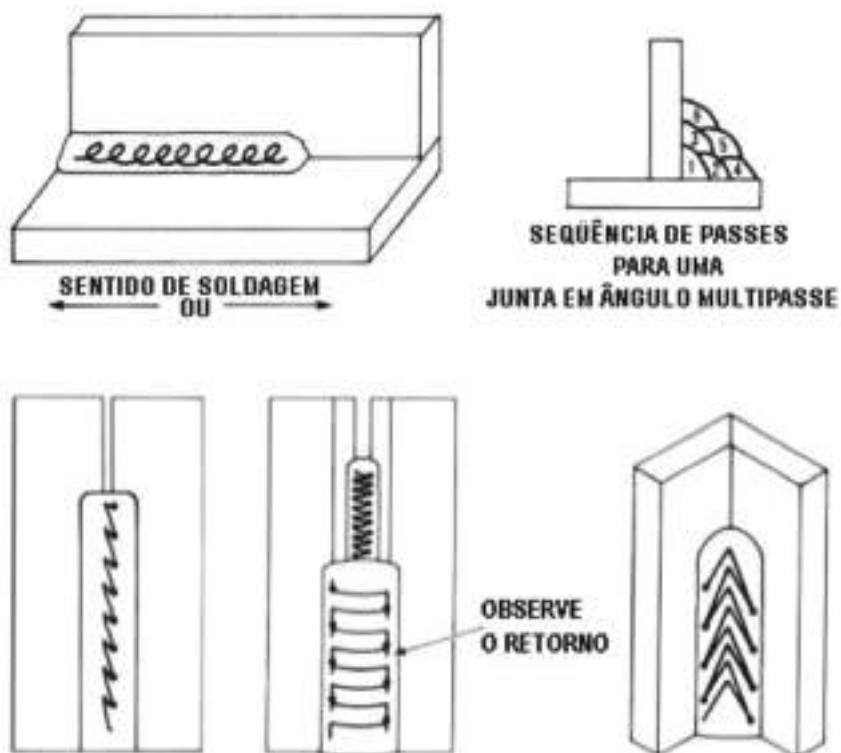


EXERCÍCIO 12. O que entende por velocidade de soldadura?

EXERCÍCIO 13. Tendo em conta as técnicas de soldar puxando ou empurrando, qual delas proporciona um arco mais estável e menos respingos?



EXERCÍCIO 14. Considere a figura seguinte. Diga que tipo de posição de soldadura se trata.



EXERCÍCIO 15. A falta de penetração é um defeito de junta que pode ocorrer em que circunstâncias?

EXERCÍCIO 16. Diga que fatores influenciam a falta de penetração.

EXERCÍCIO 17. Diga que fatores influenciam a falta de fusão.



Notas

