

MIG-MAG

Prof. Luiz Gimenes Jr.
Eng^o José Pinto Ramalho

INTRODUÇÃO

A soldagem a arco com eletrodos fusíveis sobre proteção gasosa, é conhecida pelas denominações de:

MIG, quando a proteção gasosa utilizada for constituída de um gás inerte, ou seja um gás normalmente monoatômico como Argônio ou Hélio, e que não tem nenhuma atividade física com a poça de fusão.

MAG, quando a proteção gasosa é feita com um gás dito ativo, ou seja, um gás que interage com a poça de fusão, normalmente CO₂ - dióxido de Carbono.
GMAW, (abreviatura do inglês Gás Metal Arc Welding) que é a designação que engloba os dois processos acima citados.

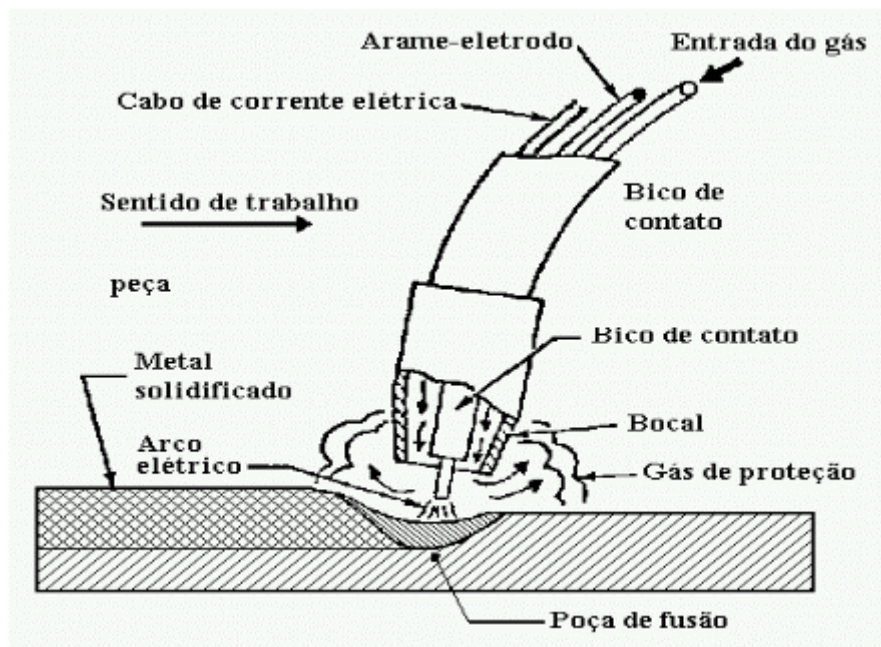


Figura 1 - Princípios básicos do processo MIG / MAG

Os dois processos diferem entre si unicamente pelo gás que utilizam, um vez que os componentes utilizados são exatamente os mesmos.

A simples mudança do gás por sua vez, será responsável por uma série de alterações no comportamento das soldagens.

Estes gases, segundo sua natureza e composição, tem uma influência preponderante nas características do arco, no tipo de transferência de metal do eletrodo à peça, na velocidade de soldagem, nas perdas por projeções, na penetração e no formato do cordão. Além disto, o gás também tem influência nas perdas de elementos químicos, na temperatura da poça de fusão, na sensibilidade a fissuração e porosidade, bem como na facilidade da execução da soldagem em diversas posições. Os gases inertes apresentam vantagens metalúrgicas enquanto o CO₂ puro, apresenta vantagens econômicas.

Como seria lógico de concluir, muitas vezes impossibilitados tecnicamente por um lado e economicamente por outro, acabamos por utilizar mistura dos dois tipos de gás, como por exemplo Argônio (inerte) com Oxigênio (ativo), Argônio com CO₂ e outros tipos de misturas.

Na verdade, se formos analisar puramente, 100% Argônio (ou Helio ou mix destes 2) são gases inertes, logo o processo se chamaria MIG. Qualquer adição de CO₂, O₂ ou H₂ deixaria a mistura com potencial de reação, ou seja ativa, e com isso o processo se chamaria MAG.

A questão de ser pouco ativo com teores baixos de CO₂ ou O₂ deve ser vista do ponto de vista da mistura (não de um gás). Quando se diminui o % de gás ativo (na mistura) o que ocorre é a diminuição do potencial ativo dela, NÃO a eliminação deste potencial, ou seja, 1% de O₂ ou CO₂ em Argônio, tem um baixo potencial ATIVO, não é INERTE.

CO₂ e O₂ sempre serão ativos e, se adicionados em teores pequenos, o potencial de reatividade da mistura como um todo será menor. Isto é a interpretação termodinâmica da questão.

A interpretação de Engenharia da Soldagem, leva em consideração os vícios de linguagem. Por ex. soldagem de aço carbono sempre será solda MAG (embora ninguém a chame deste nome) devido a adição de CO₂ e ou O₂ na mistura.

Ha um vicio também de chamar as misturas para MIG inox (com baixos teores de CO₂/O₂) de inertes, o que é um erro conforme demonstrado acima, mas o mercado o faz na pratica.

Para a soldagem de aços ao carbono, a mistura mais utilizada é a mistura de argônio com CO₂ (ou com O₂) com alto percentual de Ar.

Com esta mistura é possível obter (a) a inertização do arco, poça de fusão, arame e zona fundida, (b) o molhamento adequado devido ao pequeno percentual de gás

ativo, e (c) a mínima repulsão da gota o que propicia a transferência em modo spray.

Ainda falando de soldagem de aços ao carbono, é possível soldá-lo até com CO₂ puro. O CO₂ é um gás ativo e como tal atua diretamente na tensão superficial fazendo com que a gota aumente a dimensão e tenha massa suficiente para ser mais facilmente repelida no arco elétrico.

Esta repulsão é uma força que entra no sistema de equilíbrio de forças atuantes durante a transferência metálica. Uma transferência spray ocorre em maior densidade de energia que uma transferência por curto-circuito e precisa do total da energia do arco para se concretizar.

A energia gasta na repulsão da gota é suficiente para que o modo spray não seja atingido. Na prática esta repulsão pode ser visualizada olhando (com máscara) atentamente para a ponta do arame durante a soldagem, e pela excessiva quantidade de respingos na soldagem com este gás.

Uma das características básicas deste processo, em relação aos outros processos de soldagem manuais, é sua alta produtividade, que é motivada, além da continuidade do arame, pelas altas densidades de corrente que o processo pode ser utilizado.

A tabela abaixo apresenta uma comparação entre os valores de densidade de corrente dos processos MIG MAG e eletrodo revestido.

TABELA - VALORES COMPARATIVOS DE DENSIDADE DE CORRENTE

Processo	Densidade de Corrente
E. revestido	5 a 20 A/mm ²
MIG MAG	100 a 250 A/mm ²

De um modo geral, pode-se dizer que as principais vantagens da soldagem MIG MAG são: alta taxa de deposição e alto fator de trabalho do soldador, grande versatilidade, quanto ao tipo de material e espessuras aplicáveis, não existência de fluxos de soldagem e, conseqüentemente, ausência de operações de remoção de escória e exigência de menor habilidade do soldador, quando comparada à soldagem com eletrodos revestidos.

A principal limitação da soldagem MIG MAG é a sua maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado.

Além da necessidade de um ajuste rigoroso de parâmetros para se obter um determinado conjunto de características para solda, a determinação desses parâmetros para se obter uma solda adequada é dificultada pela forte interdependência destes, e por sua influência no resultado final da solda produzida.

O maior custo do equipamento, a maior necessidade de manutenção deste, em comparação com o equipamento para soldagem com eletrodos revestidos e menor variedade de consumíveis são outras limitações deste processo.

A soldagem MIG MAG e a soldagem com arame tubular, tem sido as que apresentaram um maior crescimento em termos de utilização, nos últimos anos em escala mundial.

Este crescimento ocorre principalmente devido à tendência à substituição, sempre que possível da soldagem manual por processos semi-automáticos, mecanizados e automáticos, para a obtenção de maior produtividade em soldagem.

Estes processos tem se mostrado os mais adequados dentre os processos de soldagem à arco, à soldagem automática e com a utilização de robôs.

EQUIPAMENTOS

A soldagem MIG MAG é um processo em que a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento destas com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo consumível sem revestimento, e a peça de trabalho. A proteção do arco e da região de solda contra a contaminação da atmosfera, é feita por um gás, ou uma mistura de gases.

O processo de soldagem MIG MAG é considerado um processo semi-automático, em que a alimentação do arame-eletrodo é feita mecanicamente através de um alimentador motorizado, ficando para o soldador a responsabilidade pela iniciação e interrupção do arco, além da condução da tocha durante a execução da soldagem.

A alimentação do arco é garantida pela contínua alimentação do arame-eletrodo, enquanto que o comprimento do arco é, em princípio, mantido aproximadamente constante pelo próprio sistema, dentro de certos limites, independente dos movimentos do soldador.

O calor gerado pelo arco é usado para fundir as peças a serem unidas e o arame-eletrodo que é transferido para a junta como metal de adição.

O processo de soldagem MIG MAG pode ser utilizado em materiais em uma ampla faixa de espessuras.

No Brasil, o diâmetro dos arame-eletrodos utilizados varia entre 0,8 e 3,2 mm. No Japão, encontramos arames de menores diâmetros (0,5 mm) que irão facilitar os trabalhos em posições de soldagem diferentes da posição plana.

A transferência contínua de metal pela coluna de arco faz com que a eficiência do calor adicionado seja superior, neste caso, do que a soldagem pelo processo TIG.

A transferência é tão eficiente neste processo que até elementos muito ativos como o Titânio conseguem ser recuperados no metal de solda com relativa eficiência, desde que presentes no arame em forma de elementos de liga.

EQUIPAMENTOS PARA SOLDAGEM

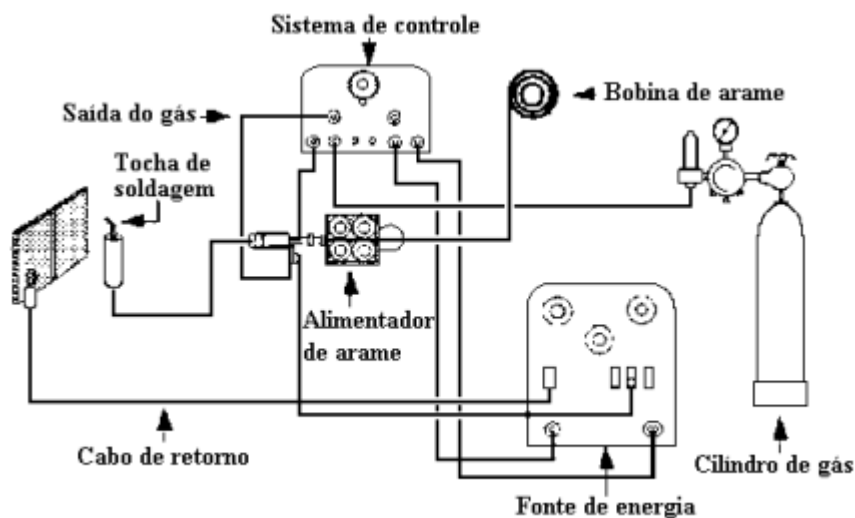


Figura 2 - Equipamento básico para a soldagem MIG MAG

O equipamento básico para soldagem MIG MAG consiste de uma fonte de energia, uma tocha de soldagem com um jogo de bocais, um alimentador de arame, um sistema de controle, um par de cabos elétricos, um jogo de válvulas redutoras para o gás de proteção, canalizações para transporte do gás (água se houver), uma fonte para o gás de proteção e uma garra para fixação do cabo a peça. Estes equipamentos podem ser vistos na figura acima e são descritos em seguida.

FONTES DE ENERGIA

O processo utiliza corrente do tipo contínua que pode ser fornecida por um conjunto transformador-retificador ou por um conversor.

A forma da característica estática da fonte pode ser do tipo corrente constante ou tensão constante, conforme o sistema de controle do equipamento.

Quando se utiliza uma fonte do tipo tensão constante, a velocidade de alimentação do arame-eletrodo se mantém constante durante a soldagem. Este sistema é mais simples e mais barato.

Com a fonte de energia do tipo corrente constante o comprimento do arco é controlado pelo ajuste automático da velocidade de alimentação do arame. este tipo de sistema é particularmente recomendado para arames de diâmetro superior a 1.2 mm.

Para certas aplicações particulares, pode-se sobrepor à corrente principal uma certa corrente pulsada, proveniente de um segundo gerador ligado ao primeiro.

TOCHA , BICOS DE CONTATO E BOCAIS

A tocha de soldagem consiste basicamente de um bico de contato, que faz a energização do arame-eletrodo, de um bocal que orienta o fluxo de gás protetor e de um gatilho de acionamento do sistema.

O bico de contato é um pequeno tubo à base de cobre, cujo diâmetro interno é ligeiramente superior ao diâmetro do arame-eletrodo, e serve de contato elétrico deslizante.

O bocal é feito de Cobre ou material cerâmico e deve ter um diâmetro compatível com a corrente de soldagem e o fluxo de gás a ser utilizado numa dada aplicação.

O gatilho de acionamento movimenta um contator que está ligado ao primário do transformador da máquina de solda, energizando o circuito de soldagem, além de acionar o alimentador de arame e uma válvula solenóide, que comanda o fluxo de gás protetor para a tocha.

As tochas para soldagem MIG MAG podem ser refrigeradas a água ou pelo próprio gás de proteção, dependendo de sua capacidade, dos valores de corrente utilizados e do fator de trabalho.

Quanto ao formato, as tochas podem ser retas ou curvas, sendo as mais utilizadas as do tipo "pescoço de cisne" que são as que oferecem maior manejabilidade. Na figura pode ser observado o esquema de uma tocha de soldagem MIG MAG.

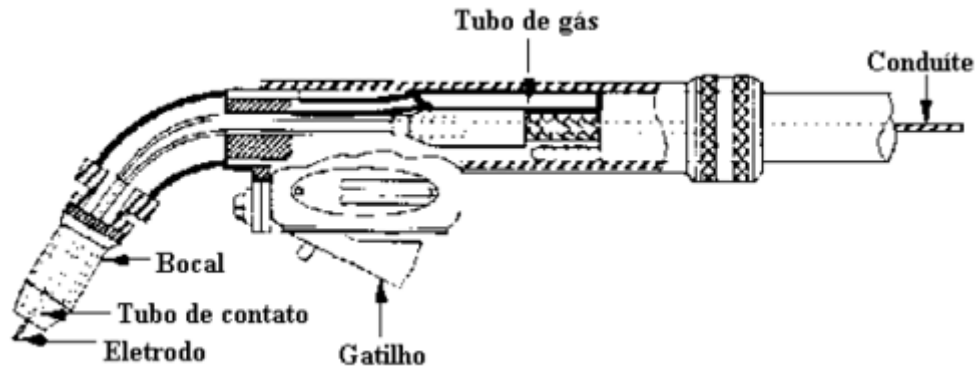


Figura 3 - Tocha para soldagem MIG - MAG

ALIMENTADOR DE ARAME

O alimentador de arame normalmente utilizado, é acionado por um motor de corrente contínua e fornece arame a uma velocidade constante ajustável numa ampla faixa. Não existe qualquer ligação entre o alimentador e a fonte de energia, entretanto ajustando-se a velocidade de alimentação de arame, ajusta-se a corrente de soldagem fornecida pela máquina, devido as características da fonte e do processo.

O arame é passado entre um conjunto de roletes chamados de roletes de alimentação que podem estar próximos ou longe da tocha de soldagem e, dependendo da distância entre o carretel de arame e a tocha de soldagem, um ou outro tipo de alimentador apresenta melhores resultados.

SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle permite a verificação e o ajuste de alguns parâmetros de soldagem, como por exemplo: velocidade de alimentação do arame, corrente e tensão de soldagem, etc.

Estes vários controles estão normalmente em um único painel.

Também neste processo, o sistema de controle é a parte que consideramos o "coração" do equipamento de soldagem.

Deve ser sempre manipulado com cuidado, especialmente, quando transportado, devido ao grande número de componentes eletro-eletrônicos que se encontram em seu interior.

CABOS ELÉTRICOS E GARRAS DE FIXAÇÃO

O processo necessitará, como no caso da soldagem com eletrodos revestidos, de cabos para transporte da eletricidade.

As garras de fixação servem para prender o cabo de retorno da eletricidade.

Deve ser verificado se prendem a peça com boa fixação, e se a fixação do cabo de soldagem nelas está feito de maneira adequada.

CANALIZAÇÕES E VÁLVULAS REDUTORAS

A tocha de soldagem manipulada pelo operador é conectada ao equipamento de soldagem por uma série de cabos e canalizações. Para além do cabo de transporte da eletricidade e da espiral que leva em seu interior o arame-eletrodo, existem também as canalizações do gás de proteção (obrigatória), e nos casos de tochas refrigeradas à água, as canalizações para a água.

Estas canalizações devem ser constituídas de mangueiras de resistência compatível com as pressões de trabalho utilizadas, e, em suas extremidades, serem fixadas por abraçadeiras.

FONTE DE GÁS

Os diversos gases de proteção, que serão vistos mais adiante, estão normalmente contidos em garrafas de aço de alta resistência. A garrafa é colocada na instalação na proximidade do posto de trabalho, e é equipada de um conjunto redutor-manômetro, que baixa a pressão do gás a um valor conveniente para a alimentação da tocha de soldagem, e que permite a regulação da vazão expressa em litros por minuto.

No caso de várias instalações funcionarem na mesma oficina, a fonte de gás pode ser substituída de um cilindro único, por uma central de vários cilindros conectados entre si num sistema único.

Esta central deve ter um conjunto redutor único, e o gás é distribuído por canalização à pressão desejada, a vazão é regulada por cada operador por meio de um manômetro local e individual.

No caso de consumos muito elevados pode-se adquirir o gás em sua forma líquida, ficando este também em uma instalação centralizada.

Estas duas últimas formas citadas, são investimentos inicialmente maiores, porém proporcionam numerosas vantagens, das quais algumas são citadas à seguir:

- eliminação de garrafas no interior das oficinas
- ganho de espaço
- melhor aproveitamento do conteúdo das garrafas
- funcionamento contínuo sem risco de interrupção da alimentação de gás durante a soldagem.
- ganhos de tempo (trocas de garrafas)
- aumento da segurança

CONSUMÍVEIS

Os principais consumíveis utilizados na soldagem MIG MAG, são o arame-eletrodo e os gases de proteção.

Os arames para soldagem são constituídos de metais ou ligas metálicas que possuem composição química, dureza, condições superficiais e dimensões bem controladas.

Arames de má qualidade em termos destas propriedades citadas, podem produzir falhas de alimentação, instabilidade do arco e descontinuidades no cordão de solda. Arames de aço Carbono geralmente recebem uma camada superficial; de cobre com o objetivo de melhorar seu acabamento superficial e seu contato elétrico com o bico de Cobre.

Os arames de aço usados com proteção de CO₂ contém maiores teores de Silício e Manganês em sua composição, devido a sua ação desoxidante. A seleção do arame a ser utilizado em uma dada operação, é feita em termos da composição química do metal de base, do gás de proteção a ser usado e da composição química e propriedades mecânicas desejadas para a solda. A tabela relaciona as especificações AWS de arames para soldagem MIG MAG.

TABELA ESPECIFICAÇÕES AWS DE MATERIAIS DE ADIÇÃO PARA MIG MAG

<i>Especificação</i>	<i>Materiais</i>
AWS - A 5.10	Alumínio e suas ligas
AWS - A 5.7	Cobre e suas ligas
AWS - A 5.9	Aço inóx e aços com alto Cr
AWS - A 5.14	Níquel e suas ligas
AWS - A 5.16	Titânio e suas ligas
AWS - A 5.18	Aço Carbono e baixa liga
AWS - A 5.19	Magnésio e suas ligas

A interpretação da especificação para arames utilizados na soldagem de aços ao Carbono é apresentada na figura a seguir.

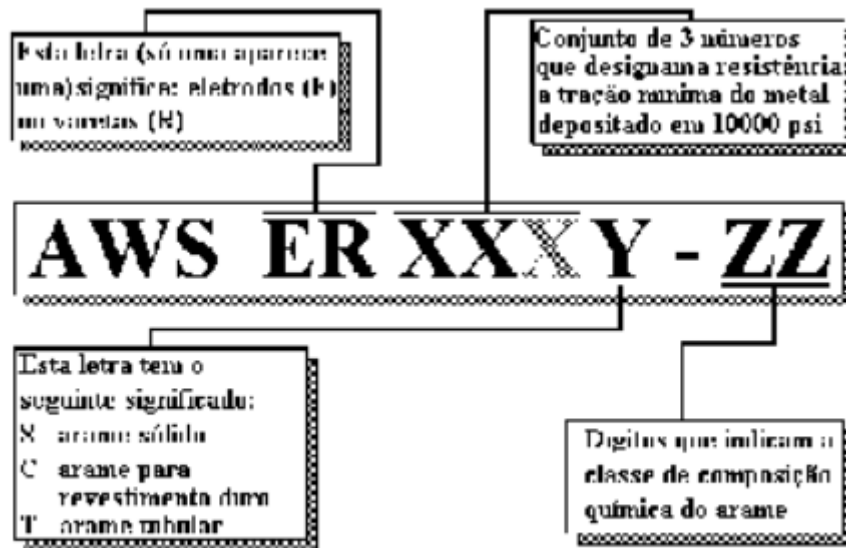


Figura 4

Tabela - Análise química de arames conforme AWS

Classificação	C	Mn	Si	P	S
ER 70S- 2	0,07	0,90 to 1,40	0,40 to 0,70	0,025	0,035
ER 70S- 3	0,06 to 0,15	0,90 to 1,40	0,45 to 0,70	0,025	0,035
ER 70S- 4	0,07 to 0,15	1,00 to 1,50	0,65 to 0,85	0,025	0,035
ER 70S- 5	0,007 to 0,19	0,90 to 1,40	0,30 to 0,60	0,025	0,035
ER 706S- 6	0,07 to 0,15	1,40 to 1,85	0,80 to 1,15	0,025	0,035
ER 70S - 7	0,07 to 0,15	1,50 to 2,00	0,50 to 0,80	0,025	0,35

GASES DE PROTEÇÃO

Os gases de proteção utilizados em soldagem MIG MAG podem ser inertes, ativos ou misturas destes dois tipos. O tipo de gás influencia as características do arco e transferência do metal, penetração, largura e formato do cordão de solda, velocidade de soldagem, tendência a aparecimento de defeitos e o custo final do cordão de solda.

Os principais gases e misturas utilizados na soldagem MIG MAG são apresentados na tabela a seguir:

TABELA - GASES E MISTURAS UTILIZADOS NA SOLDAGEM MIG MAG

<i>Gás ou mistura</i>	<i>Comportamento químico</i>	<i>Aplicações</i>
Argônio (Ar)	inerte	quase todos metais (- aço)
Hélio (He)	inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas
Ar + 20 a 50 % He	inerte	ídem He (melhor que 100% He)
Ar + 1 a 2 % O ₂	ligeiram. oxidante	aços inóx e alg. ligas Cu
Ar + 3 a 5 % O ₂	oxidante	aços Carb. e alguns b. liga
CO ₂	oxidante	aços Carb. e alguns b. liga
Ar + 20 a 50 % CO ₂	oxidante	div. aços - transf. c. circ
Ar + CO ₂ + O ₂	oxidante	diversos aços

Os gases inertes puros são utilizados principalmente na soldagem de metais não ferrosos, principalmente os mais reativos como Titânio e Magnésio.

Na soldagem de metais ferrosos, a adição de pequenas quantidades de gases ativos melhora sensivelmente a estabilidade do arco e a transferência de metal.

Para aços Carbono e baixa liga, o custo da soldagem pode ser reduzido com a utilização de CO₂ como gás de proteção.

As misturas de gases inertes ou inertes com ativos, em diferentes proporções, permitem a soldagem com melhor estabilidade de arco e transferência de metal

em certas aplicações. Nitrogênio e misturas com Nitrogênio, são utilizados na soldagem de Cobre e suas ligas.

De um modo geral, com a utilização de Hélio e CO₂ obtém-se maiores quedas de tensão e maior quantidade de calor gerado no arco de soldagem para uma mesma corrente e comprimento de arco, em relação ao Argônio, devido a maior condutividade térmica destes gases. Em geral, misturas contendo He são utilizadas em peças de maior espessura.

A figura mostra o perfil do cordão de solda característico para diversos gases e misturas. Entretanto, deve-se lembrar que o perfil do cordão de solda também pode ser alterado por alterações nos parâmetros de soldagem.

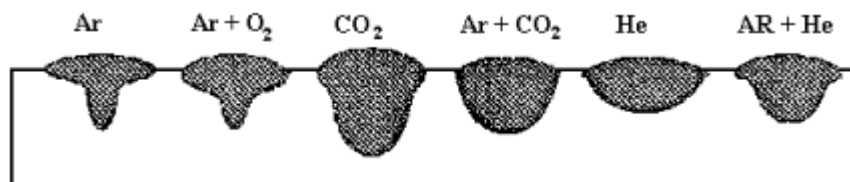


Figura 5 - Perfil de cordões de solda feitos com diferentes gases

GENERALIDADES SOBRE ALGUNS GASES DE PROTEÇÃO

Argônio e Hélio

São utilizados frequentemente para a soldagem de metais não ferrosos. Em ligas ferrosas, quando puros, causam instabilidade e salpicos.

· Hélio apresenta maior condutividade térmica do que o Argônio, o que resulta em maior área de penetração da soldagem. Para correntes iguais, o Hélio apresentará maior potência de arco.

Daí a preferência de seu uso em soldagens de materiais de elevada espessura, especialmente aqueles de elevada condutividade térmica, tais como Alumínio e Cobre. Para ligas ferrosas, em chapas finas ou em soldagens fora de posição, a preferência é pelo Argônio.

O Hélio é cerca de 10 vezes mais leve do que o Argônio, isto resultará em maior consumo para garantir a mesma proteção à soldagem. A transferência por spray é melhor obtida com Argônio do que com Hélio. O custo do Hélio é muito maior do que o do Argônio na maioria dos países que não tem Hélio em suas riquezas naturais

Adições de O₂ e CO₂ ao Argônio ou Hélio

· Adições de O₂ e CO₂ ao Argônio ou Hélio melhoram a transferência metálica, estabilizam o arco e minimizam os salpicos nos aços. Em alguns casos pode causar porosidade e perdas de elementos de liga como por exemplo: Cromo, Vanádio, Titânio, Manganês e Silício devido ao seu poder oxidante. Para se evitar este problema, deve-se utilizar arames com desoxidantes.

Em soldagens de aços inoxidáveis com teor de Carbono menor que 0,07%, pode ocorrer aumento do teor de Carbono do metal depositado com a adição de CO₂ no gás de proteção. Isto acarretará problemas futuros de corrosão.

CO₂ puro

· A utilização de CO₂ puro como gás de proteção apresenta, inicialmente, uma vantagem muito grande em comparação a utilização de gases inertes que é o custo do gás.

Por isto sua utilização na soldagem de aços Carbono tem aumentado muito ultimamente. A utilização deste gás possibilita a transferência metálica ocorrer tanto em modo globular ou curto circuito.

A obtenção de transferência tipo spray com a utilização deste gás é discutível, e de qualquer forma, instável e com muitos salpicos.

Uma outra característica deste gás é sua característica oxidante.

Na elevada temperatura do arco, o CO₂ se decompõe em monóxido de Carbono (CO) e Oxigênio (O₂). O O₂ livre oxida o ferro do metal de base dando FeO e este reage com o Carbono da poça de fusão liberando monóxido de carbono (gás) que pode vir a provocar porosidades no cordão de solda. Em temperaturas mais baixas, parte deste CO se decompõe em Carbono e Oxigênio.

De acordo com a quantidade original de Carbono na poça de fusão, o efeito final poderá ser de aumentar ou diminuir o conteúdo definitivo de Carbono no cordão solidificado.

Para evitar isto, os arames recomendados para a soldagem sob proteção de CO₂, possuem em sua composição, quantidades altas de desoxidantes, principalmente Manganês e Silício, pois estes apresentam maior afinidade química pelo O₂ do que o Carbono.

O silicato de Manganês assim formado se deposita sobre os cordões como uma capa fina e descontínua de escória facilmente destacável.

O manganês cumpre também a função de dessulfurante, formando MnS.

O Silício e o Manganês remanescentes são transferidos para o metal de solda sob a forma de elementos de liga.

Certas composições de arames conhecidos como "triplo-desoxidados" apresentam para além do Manganês como desoxidante um outro elemento para esta função. Este elemento pode ser: Alumínio, Titânio ou Zircônio.

VARIÁVEIS

A habilidade manual requerida para o soldador no processo MIG MAG é menor do que a necessária para a soldagem com eletrodos revestidos, uma vez que a alimentação do arame é mecanizada, dispensando com isto o movimento de mergulho da tocha em direção a poça de fusão.

No entanto, a otimização de parâmetros é mais difícil de ser feita devido ao maior número de variáveis existentes neste processo.

A abertura do arco se dá por toque do eletrodo na peça. Como a alimentação é mecanizada, o início da soldagem é feita aproximando-se a tocha à peça e acionando o gatilho.

Neste instante é iniciado o fluxo de gás protetor, a alimentação do arame e a energização do circuito de soldagem.

Depois da formação da poça de fusão, a tocha deve ser deslocada ao longo da junta, com uma velocidade uniforme. Movimentos de tecimento do cordão devem ser executados quando necessários.

Ao final da operação simplesmente se solta o gatilho da tocha que interromperá automaticamente a corrente de soldagem, a alimentação do arame e o fluxo de gás, extinguindo com isto, o arco de soldagem.

O processo de soldagem MIG MAG utiliza normalmente corrente contínua e polaridade inversa (eletrodo positivo), que é o tipo de corrente que apresenta melhor penetração e estabilidade de arco.

Polaridade direta pode eventualmente ser utilizada para aumentar a velocidade de deposição, quando não for necessária grande penetração (revestimentos), porém causa grande instabilidade de arco.

A corrente alternada não é normalmente utilizada em MIG MAG.

ESTUDO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM

As variáveis mais importantes, que afetam a penetração e a geometria do cordão são:

CORRENTE DE SOLDAGEM

Se forem mantidas constantes todas as demais variáveis de soldagem, um aumento na corrente de soldagem (aumento na velocidade de alimentação do rame), irá causar aumento na profundidade e largura de penetração, aumento na taxa de deposição e aumento do cordão de solda.

TENSÃO DE SOLDAGEM

Nas mesmas condições citadas acima, um aumento na tensão proporcionará alargamento e achatamento do cordão de solda, aumento da largura de fusão e aumento do aporte térmico que resultará em um aumento do tamanho da zona termicamente afetada.

Uma tensão de soldagem muito alta poderá causar porosidades, respingos e mordeduras. Já uma tensão muito baixa tenderia a estreitar o cordão de solda e aumentar a altura do reforço do cordão.

VELOCIDADE DE SOLDAGEM

Uma velocidade de soldagem baixa resultará em um cordão muito largo com muito depósito de material. Já velocidades muito altas produzem cordões estreitos e com pouca penetração.

Quando a velocidade é excessivamente alta, a tendência é de que cause mordeduras no cordão de solda.

EXTENSÃO LIVRE DO ELETRODO

Define-se como extensão livre do eletrodo ou stick-out a distância entre o último ponto de contato elétrico do arame (normalmente o tubo de contato), e a ponta do eletrodo ainda não fundida.

Quando esta distância aumenta, aumenta também a resistência elétrica do eletrodo, que terá assim mais tempo para aquecer-se por efeito Joule.

Com esta elevação da temperatura do eletrodo, será necessária uma menor corrente para fundir o eletrodo para a mesma taxa de alimentação, ou vindo de outra forma, para a mesma corrente de soldagem utilizada, se obterá uma maior taxa de deposição, porém com menor penetração.

As extensões normalmente utilizadas situam-se na faixa entre 6 e 13 mm. para a transferência por curto-circuito e entre 13 e 35 para os demais modos de transferência.

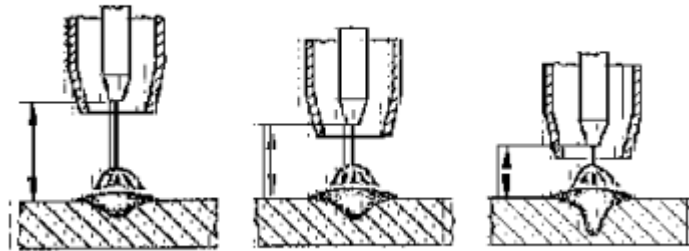


Figura 6 - Influência da distância entre o bico de contato e a peça

INCLINAÇÃO DA PISTOLA DE SOLDAGEM

A inclinação da pistola de soldagem durante a execução dos cordões, tem, a nível de forma e penetração do cordão, um efeito mais marcante do que algumas variações em parâmetros como velocidade e tensão de soldagem.

Na soldagem à esquerda, aponta-se o cordão para o metal de base frio, causando com isto cordões mais largos, achatados e de menor penetração.

Já quando se solda no sentido oposto (à direita), apontando-se para a poça de fusão os cordões são mais estreitos, o reforço é mais convexo, o arco é mais estável e a penetração é máxima.

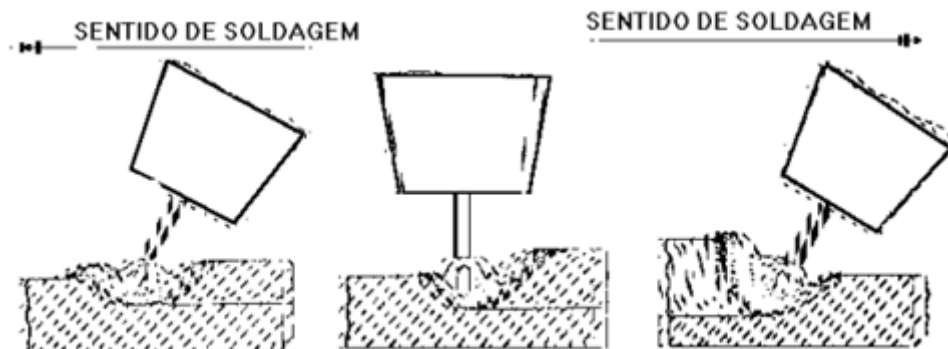


Figura 7

- Sentido Positivo: Nesse sentido de soldagem, ocasiona uma penetração profunda e cordão estreito.

- Sentido Negativo: A configuração do cordão de solda nesse sentido o cordão é de baixa penetração e largo.
- Sentido Neutro: A configuração do cordão de solda nesse sentido é de média penetração como também a largura do mesmo.

DIÂMETRO DO ELETRODO

Cada eletrodo de uma dada concepção e natureza, tem uma faixa de corrente utilizável de trabalho.

Esta faixa é naturalmente delineada por efeitos indesejáveis, tais como ausência de molhabilidade em valores muito baixos de correntes, e salpicos e porosidades no caso de valores muito elevados

Tanto a taxa de fusão de um eletrodo, como sua penetração, são entre outras coisas função da densidade de corrente. Assim, em igualdade de corrente, um eletrodo mais fino penetrará mais e depositará mais rapidamente do que um eletrodo de maior diâmetro.

Deve-se lembrar porém, que esta aparente vantagem acabará saindo mais caro uma vez que, devido ao processo produtivo, em igualdade de peso, o arame de menor diâmetro é sempre mais caro.

CARACTERÍSTICAS

Na soldagem com eletrodos consumíveis, o metal fundido na ponta do arame tem que ser transferido para a poça de fusão.

O modo como esta transferência ocorre, é muito importante na soldagem MIG MAG, pois afeta muitas características do processo, como por exemplo: a quantidade de gases (principalmente Hidrogênio, Nitrogênio e Oxigênio) absorvido pelo metal fundido, a estabilidade do arco, a aplicabilidade do processo em determinadas posições de soldagem e o nível de respingos gerados.

Os principais fatores que influenciam no modo de transferência são:

- Intensidade e tipo de corrente
- Tensão do arco elétrico
- Densidade da corrente
- Natureza do arame-eletrodo
- Extensão livre do eletrodo
- Gás de proteção
- Características da fonte de energia

De uma forma simplificada, pode-se considerar que existem quatro modos distintos de transferência. Estes modos são apresentados à seguir:

TRANSFERÊNCIA GLOBULAR

Em CC+ a transferência globular toma lugar com níveis baixos de corrente, independente do tipo de gás de proteção. Com CO₂ este tipo de transferência ocorre com alta intensidade de corrente utilizável)

Este tipo de transferência é caracterizado pela formação de gotas maiores do que o diâmetro do eletrodo.

A transferência globular e axialmente dirigida, pode ser obtida em uma atmosfera gasosa substancialmente inerte (teores de CO₂ menores que 5%).

O comprimento do arco deve ser longo bastante para garantir o destacamento da gota antes que mesma atinja a poça de fusão (curto-circuito). Entretanto, a solda resultante não é considerada de boa qualidade por típicas faltas de fusão, insuficiente penetração e reforço excessivo.

Quando sob um gás ativo (CO₂), a transferência em tensões elevadas é tipicamente globular, não axial. Isto é devido o aparecimento de uma força contrária (jato catódico) ao destacamento da gota. A gota cresce de uma forma desordenada, oscilando na ponta do arame, levando consigo o arco elétrico. A gota é finalmente destacada, quer por excesso de peso (forças gravitacionais) ou por curto circuito com a peça (efeito Pinch).

TRANSFERÊNCIA POR SPRAY

Com uma proteção gasosa de pelo menos 80% de Argônio ou Hélio, a transferência do metal de adição muda de globular para spray (ou aerosol) a partir de um determinado nível de corrente conhecido como corrente de transição para um dado diâmetro de eletrodo.

Na transferência spray pequenas gotas são arrancadas do arame-eletrodo e ejetadas em direção ao metal de base.

A redução do tamanho da gota é acompanhado de um aumento na taxa de destacamento dos mesmos.

Sob proteção de CO₂ não há transição de globular para spray. Com o aumento da corrente, as gotas diminuem de tamanho, mas não são axialmente dirigidas. Com isto a quantidade de salpicos será muito grande. Isto pode ser minimizado com a utilização de um arco muito curto.

Em metais ferrosos, a transferência por spray é limitada a posição plana, devido a grande quantidade de material transferido e a fluidez da poça de fusão. Também devido a grande penetração, nestes mesmos materiais não é o tipo de transferência adequado para chapas finas. Em metais não ferrosos, pode ser utilizada com maior liberdade.

TRANSFERÊNCIA POR CURTO-CIRCUITO

A soldagem por curto circuito é a característica mais importante de utilização das misturas de gases ativas (CO₂ puro ou misturas com teor deste gás superior a 25%).

Com esta proteção gasosa em baixos níveis de corrente e tensão, os glóbulos crescem algumas vezes o diâmetro do eletrodo até que tocam na poça de fusão.

Quando ocorre o curto, a gota na extremidade saliente do arame se estrangula por capilaridade ocasionando alta densidade de corrente que irá destacar, finalmente, a gota dando origem a novo arco.

O eletrodo curto circuita a poça de fusão numa taxa de 20 a 200 vezes por segundo.

Este tipo de transferência produz uma poça de fusão pequena e de rápido resfriamento, sendo por isto adequada para chapas finas, soldagem fora de posição e passes de raiz. Por outro lado, como o calor transferido para a poça de fusão é menor, ocorrerão menores problemas de distorções.

Nesta transferência alguns problemas de salpicos poderão ocorrer, porém podem ser eficientemente controlados por modificações de indutância que são normalmente colocadas em série com o circuito de soldagem, diminuindo assim a velocidade de estabelecimento do pico de corrente de curto circuito.

TRANSFERÊNCIA CONTROLADA

Sob esta denominação estão agrupados outros modos de transferência que podem ser obtidos pela introdução de perturbações controladas na corrente de soldagem e/ou na alimentação do arame.

Estas perturbações tem como objetivo obter uma transferência controlada de metal de adição com as características desejáveis da transferência por spray, mas a níveis de corrente média bem mais baixos, de forma a permitir sua utilização na soldagem de chapas finas ou fora da posição plana.

A transferência controlada mais usada é a pulsada, que é um tipo de transferência mais estável e uniforme obtido pela pulsação da corrente de soldagem em dois patamares, um inferior a corrente de transição e outro superior a esta, de modo que durante o período de tempo que a corrente é baixa, uma gota se forma e cresce na ponta do arame e é transferida quando o valor da corrente é elevado.

Para se obter este modo de transferência deve-se utilizar fontes de energia especiais, capazes de fornecer corrente pulsada, com parâmetros de pulso controláveis.

Um problema acarretado pela adoção deste tipo de transferência é a introdução de quatro novas variáveis no processo de soldagem MIG MAG (tempo de pico, corrente de pico, tempo de pulso e corrente de pulso). Isto dificultará um pouco mais a seleção e otimização dos parâmetros de soldagem.

OUTRAS INFORMAÇÕES

BIBLIOGRAFIA

MARQUES, P. V. Tecnologia da Soldagem - Universidade Federal de Minas Gerais - 1ª edição – 1991

IBQN Soldagem I - Processos de soldagem - apostila do curso de formação de supervisores técnicos independentes - abril 1987

QUITES, A Tecnologia da soldagem a arco voltaico

EDEME Florianópolis - 1979

FATEC Processos Usuais de soldagem II - Apostila do curso superior de tecnologia de soldagem

AWS Welding Handbook eight edition
volume 2 -Welding process

MACKENZIE Curso de Solda - Apostila do Curso Superior de Engenharia

Mecânica - São Paulo - 1982

SENAI Manual de soldagem ao arco elétrico SENAI- SP - 1976