

Universidade Federal de Minas Gerais.
Escola de Engenharia.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Processo de Soldagem TIG - GTAW

Disciplina: Processo de Soldagem.

Professor: Alexandre Queiroz Bracarense, PhD.

Belo Horizonte
Maio de 2000.

PROCESSO DE SOLDAGEM TIG - GTAW

1 – DESCRIÇÃO DO PROCESSO

1.1 – INTRODUÇÃO:

O processo de soldagem TIG ou Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), como é mais conhecido atualmente, é um processo de soldagem a arco elétrico que utiliza um arco entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a poça de soldagem. Conforme pode-se notar pela figura abaixo, a poça de soldagem, o eletrodo e parte do cordão são protegidos através do gás de proteção que é soprado pelo bocal da tocha. No processo, pode-se utilizar adição ou não (solda autógena), e seu grande desenvolvimento deveu-se à necessidade de disponibilidade de processos eficientes de soldagem para materiais difíceis, como o alumínio e magnésio, notadamente na indústria da aviação no começo da Segunda grande guerra mundial. Assim, com o seu aperfeiçoamento, surgiu um processo de alta qualidade e relativo baixo custo, de uso em aplicações diversas, com inúmeras vantagens que descreveremos a seguir.

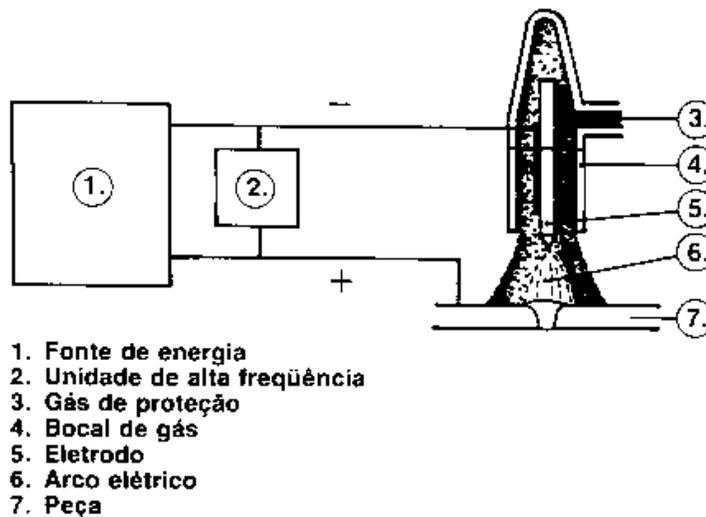


Figura 1 – Representação esquemática do processo TIG.

1.2 - PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO:

O GTAW funciona através do eletrodo de tungstênio (ou liga de tungstênio) preso a uma tocha. Por essa mesma tocha é alimentado o gás que irá proteger a soldagem contra a contaminação da atmosfera. O arco elétrico é criado pela passagem de corrente elétrica pelo gás de proteção ionizado, estabelecendo-se o arco entre a ponta do eletrodo e a peça. Em termos básicos, os componentes do GTAW são :

1. Tocha;
2. Eletrodo;
3. Fonte de Potência;
4. Gás de Proteção

1.3 - VARIÁVEIS DO PROCESSO:

As variáveis que determinam basicamente o processo são a tensão do arco, a corrente de soldagem, velocidade de avanço e o gás de proteção. Deve-se considerar que as variáveis não agem especificamente de forma independente, havendo forte interação entre elas.

No caso do gás de proteção, ao utilizar-se o Hélio é possível obter uma solda com maior penetração, devido ao maior potencial de ionização deste gás. Mais adiante, descreveremos mais detalhadamente os gases de proteção e suas características.

Em relação à corrente de soldagem pode-se considerar, de forma geral, que ela controla a penetração da solda, com efeito diretamente proporcional. Ainda assim, a corrente afeta também a tensão do arco, sendo que para um mesmo comprimento de arco, um aumento na corrente causará um aumento na tensão do arco. As soldagens com corrente contínua em eletrodo no pólo negativo oferecem elevada penetração e maiores velocidades de soldagem, enquanto a corrente alternada é especialmente eficaz quando na soldagem de materiais com óxidos refratários, como alumínio e magnésio, pois pode-se realizar a chamada limpeza catódica, quando o eletrodo encontra-se no pólo positivo. A terceira opção, de corrente alternada com eletrodo no pólo positivo, é pouco utilizada devido ao superaquecimento do eletrodo.

A tensão do arco, designação dada para a tensão entre o eletrodo e a peça, é fortemente influenciada por diversos fatores, a saber :

1. Corrente do arco;
2. Perfil da ponta do eletrodo;
3. Distância entre o eletrodo e a peça (comprimento do arco);
4. Tipo da gás de proteção;

Como existe uma relação direta entre a tensão e o comprimento do arco, a tensão é usada para controlar o processo, pois uma vez fixados diversos outros parâmetros, a tensão do arco possibilita o controle do comprimento do arco, que é difícil de monitorar. Por sua vez, o comprimento do arco afeta diretamente a largura da poça. Apesar disso, na maioria dos processos com chapas, o comprimento do arco desejado é o menor possível. Este controle do comprimento do arco pela tensão, entretanto, deve ser feito de maneira cuidadosa, observando-se outros parâmetros que também afetam a tensão como contaminação do eletrodo e do gás de proteção, alimentação imprópria do material de adição, mudanças de temperatura no eletrodo e erosão do eletrodo.

A velocidade de avanço afeta a penetração e a largura no processo, sendo esta última, porém, muito mais afetada. Sua grande importância reside no fato dela determinar o custo do processo por estar intimamente ligada à velocidade do processo. Entretanto, muitas vezes, a velocidade torna-se apenas uma consequência a partir da definição de padrões de qualidade e uniformidade.

A forma de alimentação do material de adição é outro parâmetro importante. Em processos manuais, a maneira como o material é adicionado influencia no número de passes e na aparência da solda acabada. Já no caso de soldas mecanizadas e automatizadas, a variação na velocidade irá significar variação na quantidade de adição por unidade de comprimento. Aumentando-se a velocidade de alimentação do arame produz-se soldas com menor penetração e perfis convexos. Diminuindo-se a velocidade aumenta-se a penetração e tem-

se perfis mais achatados. A redução da velocidade tem um limite, entretanto, pois pode levar a fissuras e falta de material.

2. - EQUIPAMENTO:

1.1 - Tochas

As tochas, que suportam o eletrodo e conduzem o gás de proteção até o arco, são classificadas basicamente pelo seu mecanismo de refrigeração. As tochas refrigeradas a gás são mantidas na temperatura adequada pelo efeito de resfriamento causado pelo próprio gás de proteção. Estas tochas estão limitadas a uma corrente máxima de cerca de 200 A. Já as tochas refrigeradas a água, como a da figura abaixo, promovem a circulação de água, normalmente em circuito fechado, para refrigeração. Desta forma, pode-se dispor de tochas que suportam correntes de até 1000 A. A tocha refrigerada a água é a mais empregada em equipamentos automatizados de GTAW.

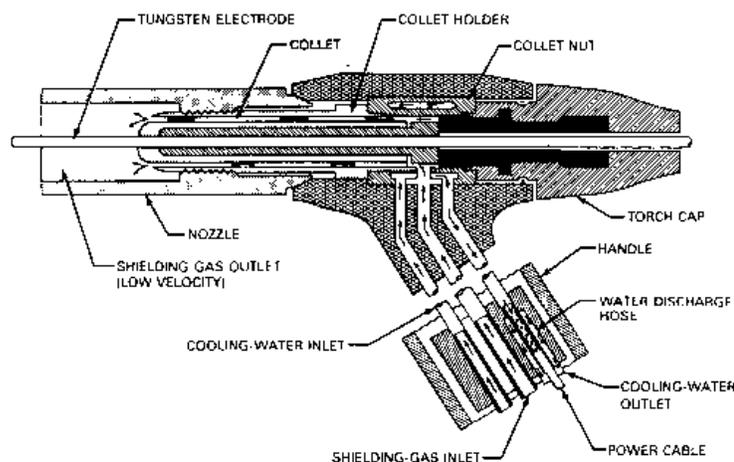


Figura 2 – Tocha para soldagem TIG.

A tabela abaixo ilustra alguns dados sobre as tochas para GTAW

Torch Characteristic	Torch Size		
	Small	Medium	Large
Maximum current (continuous duty), A	200	200-300	500
Cooling method	Gas	Water	Water
Electrode diameters accommodated, in.	0.020 - 3/32	0.040 - 5/32	0.040 - 1/4
Gas cup diameters accommodated, in.	1/4 - 5/8	1/4 - 3/4	3/8 - 3/4

2.2 - Pinças ou mandril (COLLETS)

Eletrodos de vários tamanhos são fixados apropriadamente no mandril do bocal. Um bom contato entre o eletrodo e a parte interna do mandril é essencial para uma transmissão correta da corrente e refrigeração do eletrodo.

2.3 – Bocais

Gás de proteção é dirigido para a zona de soldagem por bocais fixados na extremidade das tochas. O objetivo da utilização dos bocais é produzir um fluxo laminar do gás de proteção. Os bocais podem ser fabricados de materiais cerâmicos, metais, metais revestidos com cerâmicos, quartzo fundido ou outros materiais. Dentre estes, os bocais cerâmicos são os mais baratos e mais populares, apesar de serem quebradiços e necessitarem de troca constante. Bocais metálicos tem vida útil mais longa e são usados principalmente em processos automatizados, que operam com correntes acima de 250 A. Os aspectos mais importantes nos bocais são suas dimensões e perfis. Os bocais devem ser largos o suficiente para prover cobertura da área de soldagem pelo gás e devem estar de acordo com o volume e a densidade necessária do gás no processo. Se a vazão do gás for excessiva para um determinado diâmetro, a eficiência da proteção é afetada devido a turbulência. Vazões mais altas, sem este efeito de turbulência, requerem maiores diâmetros de bocais, condições estas, essenciais para altas correntes. Na tabela seguinte, pode-se observar diversos diâmetros de eletrodos, correntes de trabalho e diâmetros dos bocais.

Electrode Diameter		Use Gas Cup I.D.	Direct Current, A		Alternating Current, A	
			Straight Polarity ^b	Reverse Polarity ^b	Unbalanced Wave ^c	Balanced Wave ^c
in.	mm	in.	DCEN	DCEP		
0.010	0.25	1/4	up to 15		up to 15	up to 15
0.020	0.50	1/4	5-20		5-15	10-20
0.040	1.00	3/8	15-80		10-60	20-30
1/16	1.6	3/8	70-150	10-20	50-100	30-80
3/32	2.4	1/2	150-250	15-30	100-160	60-130
1/8	3.2	1/2	250-400	25-40	150-210	100-180
5/32	4.0	1/2	400-500	40-55	200-275	160-240
3/16	4.8	5/8	500-750	55-80	250-350	190-300
1/4	6.4	3/4	750-1100	80-125	325-450	325-450

Os bocais são produzidos em diversos comprimentos, sendo que os mais longos provêm um fluxo mais firme e menos turbulento. A maioria dos bocais são cilíndricos, com as extremidades retas ou afuniladas. Os bocais são também disponibilizados com seções alongadas para prolongamento da proteção (veja figura abaixo) ou extremidades alargadas para fornecer melhor proteção para materiais como titânio, que é altamente susceptível à contaminação em altas temperaturas.

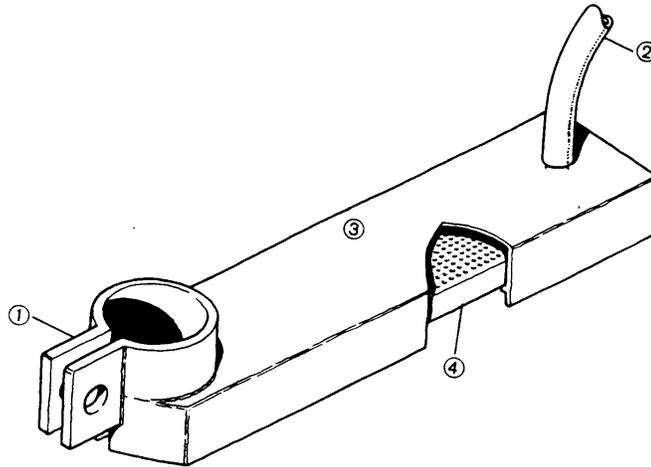


Figura 3 – Bocal de gás alongado para soldagem mecanizada.

Outro recurso utilizado na melhoria do fluxo são as lentes de gases, que asseguram um fluxo laminar do gás de proteção, através de sua estrutura porosa que é fixada ao redor do eletrodo. Desta forma, elas permitem ao operador trabalhar com a extremidade da tocha a uma maior distância da peça, auxiliando na visualização e facilitando o trabalho em locais de difícil acesso para a tocha, como cantos.

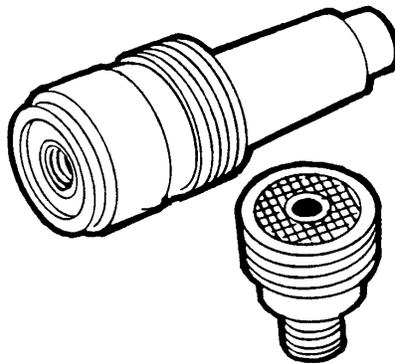


Figura 4 –Lentes de gás

2.4 - Eletrodos

No processo GTAW os eletrodos não são consumíveis e tem o papel de servir como um dos terminais do arco que irá gerar o calor para o processo. Ao aproximar-se da sua temperatura de fusão ($3410\text{ }^{\circ}\text{C}$), o tungstênio torna-se termoiônico, como uma fonte disponível de elétrons. Ele alcança esta temperatura através de aquecimento por resistência e, caso não houvesse um forte efeito de resfriamento pela saída dos elétrons de sua extremidade, esta ponta poderia fundir-se. Os eletrodos são classificados com base em sua composição química, como na tabela abaixo

Color Code and Alloying Elements for Various Tungsten Electrode Alloys

AWS Classification	Color^a	Alloying Element	Alloying Oxide	Nominal Weight of Alloying Oxide Percent
EWP	Green	—	—	—
EWCe-2	Orange	Cerium	CeO ₂	2
EWL-1	Black	Lanthanum	La ₂ O ₃	1
EWTh-1	Yellow	Thorium	ThO ₂	1
EWTh-2	Red	Thorium	ThO ₂	2
EWZr-1	Brown	Zirconium	ZrO ₂	.25
EWG	Gray	Not Specified ^b	—	—

Os eletrodos são produzidos através de acabamento químico ou mecânico para remoção de imperfeições e impurezas na sua superfície. As capacidades de corrente dos eletrodos devem ser respeitadas (tabela anterior) e a sua utilização acima de seu limite causará erosão ou fundição do eletrodo. Com correntes muito baixas haverá instabilidade no arco. Devido ao superaquecimento que provoca, a utilização de eletrodo como pólo positivo em CC (corrente contínua) necessita de diâmetros de eletrodos bastante superiores para uma mesma corrente, comparativamente com DCEN (corrente contínua com eletrodo no pólo negativo). DCEP (corrente contínua com eletrodo no pólo positivo), desta forma, permite uma corrente de apenas aproximadamente 10 % da utilizada para um mesmo eletrodo em DCEN. A corrente para CA (corrente alternada) é da ordem de 50 % da corrente em DCEN, para um mesmo eletrodo.

2.5 - Eletrodos de Tungstênio Puro

Os eletrodos de tungstênio puro (EWP) possuem, no mínimo, 99,5 % de W e tem uma capacidade de corrente inferior que os eletrodos de liga de tungstênio. Entretanto, são muito utilizados em soldagem com CA, pois mantém uma extremidade limpa e arredondada, que provê boa estabilidade ao arco neste processo.

2.6 - Eletrodos Ligados

Os eletrodos com óxido de tório, a tória, possuem 1% ou 2% deste material, sendo classificados respectivamente, como EWTh-1 e EWTh-2. A tória incrementa a emissividade termoiônica do tungstênio, permitindo a operação em correntes mais elevadas (aproximadamente 20 % de acréscimo). Os eletrodos torinados mantém um fino perfil da ponta durante a soldagem, o que é desejável na soldagem de aços. Por outro lado, na soldagem CA tornam-se deficientes, pois tem dificuldade de manter a extremidade arredondada.

Os eletrodos com óxido de cério (EWCe-2), a céria, possuem características muito semelhantes aos torinados com a vantagem de não trabalhar com um elemento radioativo. Estas mesmas características são mantidas nos eletrodos com óxido de lantânio. Já os eletrodos com óxido de zircônio (EWZr) tem características intermediárias para soldagem entre os eletrodos puros e os torinados. Eles são muito utilizados em soldagem CA pois combinam a estabilidade e ponta arredondada do eletrodo puro e a capacidade de corrente e partida dos eletrodos torinados. Ainda assim, eles possuem resistência à contaminação mais alta que os eletrodos puros. Os eletrodos que não se classifiquem nas designações acima são classificados como EWG, contendo quantidade não especificadas de uma adição não especificada ou uma combinação de óxidos.

2.7 - Configurações da Extremidade do Eletrodo

A extremidade do eletrodo normalmente é preparada pelo arredondamento, esmerilamento ou afiação química. Via de regra, uma ponta cônica é preparada, mesmo que a extremidade vá ser arredondada para um processo em CA.

Arredondamento - Utilizado em processo CA, o arredondamento é realizado pela abertura de um arco em um bloco de cobre refrigerado a água, utilizando CA ou DCEP. A corrente é aumentada até que a extremidade torne-se branca com o calor e o tungstênio começa a fundir-se, formando uma pequena bola em sua extremidade. A dimensão da extremidade não poderá ser excessiva sob pena de cair esta pequena quando amolecida.

Esmerilamento - Para permitir uma maior estabilidade do arco, as pontas cônicas dos eletrodos devem ser obtidas a partir do esmerilamento, com o eletrodo perpendicular ao eixo do rebolo. O rebolo deve ser exclusivo para esta operação para eliminar a possibilidade de contaminação do eletrodo.

Afiação química - A afiação química consiste em mergulhar a ponta do tungstênio em rubro em um recipiente contendo nitrato de sódio. A reação causa uma erosão uniforme em torno da circunferência e da extremidade do eletrodo. Repetindo seguidamente tal operação, forma-se a ponta cônica desejada.

2.8 - Contaminação do Eletrodo

Normalmente, a contaminação do eletrodo ocorre quando o soldador acidentalmente mergulha o eletrodo na poça ou toca o eletrodo com o metal de adição. Uma proteção imprópria também pode causar oxidação do eletrodo e conseqüente contaminação da solda. Outras fontes de contaminação podem ser : vaporização de metais no arco, erupções ou respingos da poça causados por aprisionamento de gás e evaporação de impurezas superficiais. A contaminação pode afetar as características do arco e causar inclusões no metal de solda. Caso isso ocorra, a operação deve ser interrompida e a porção contaminada do eletrodo deve ser removida, com nova afiação de acordo com as características necessárias na ponta

2.9 – Fontes de Energia

As fontes usadas nos processos GTAW são do tipo Corrente Constante, pois, uma vez sendo um processo tipicamente manual, ao haver variação no comprimento do arco e conseqüentemente na tensão, a variação na corrente (que controla a aposição de calor no processo) será mínima. Esta energia necessária pode ser fornecida, AC ou CC, tanto por fontes de transformadores/retificadores, quanto por geradores. As fontes para GTAW apresentam tanto uma resposta em queda (“drooping output”), para fontes do tipo com controle magnético, quanto resposta de saídas aproximadamente de corrente constante, para fontes controladas eletronicamente (veja figura abaixo).

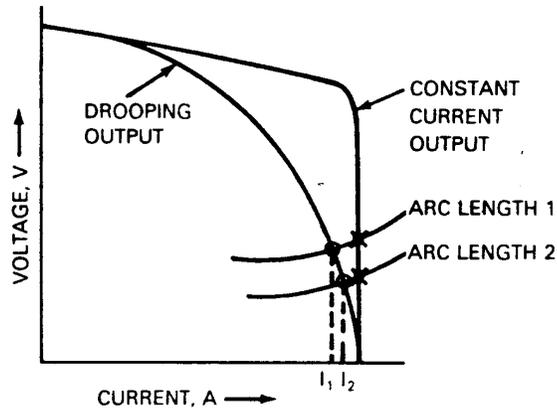


Figura 5 – Curva tensão / corrente para fonte TIG

Na soldagem manual, em locais onde não é possível a colocação de um pedal para controle da corrente, as fontes magnéticas oferecem uma alternativa para fazê-lo através do deslocamento do comprimento do arco (veja gráfico acima). Entretanto, devido ao seu alto tempo de resposta, estas fontes não são utilizadas em processos com corrente pulsada. A maior parte deste tipo de fonte é considerada como um circuito aberto de controle, isto é, não há “feed-back” dos parâmetros do processo para a própria fonte. Assim sendo, elas têm menor repetibilidade, precisão e resposta, além de serem menos eficientes e maiores. Suas vantagens estão na simplicidade de operação, baixa manutenção em ambientes industriais e relativo baixo custo.

Já as fontes eletrônicas são muito vantajosas para processos automatizados, pois como o seu controle acontece em circuito fechado, isto é, há “feed-back” dos parâmetros do processo (corrente), estas fontes provêm a necessária precisão e repetibilidade necessárias. Na sua maioria, oferecem tempos dinâmicos de resposta muito baixos, o que as habilita a soldagem por pulso. As maiores desvantagens destas máquinas é a maior complexidade na operação e manutenção e custos relativamente mais altos.

A escolha da fonte para GTAW dependerá fortemente do tipo de corrente que será utilizada no processo, incluindo-se aí correntes senoidais, correntes de onda quadrada, corrente contínua e corrente contínua pulsada.

2.10 - Corrente Contínua

Em corrente contínua, na maioria dos casos utiliza-se DCEN com os eletrodos fluindo do eletrodo para a peça e os íons no sentido contrário. Assim sendo, 70 % do calor estará na peça e somente 30 % no eletrodo. Desta forma, além de preservar o eletrodo a DCEN também provê maior penetração. Quando, entretanto, for importante o efeito de limpeza catódica, propiciada pela saída de elétrons da peça, a DCEP pode ser utilizada. Esta limpeza catódica é particularmente importante na soldagem de materiais que têm óxidos refratários, como alumínio e magnésio, que são retirados desta maneira. Esta forma de operação, entretanto, por manter o eletrodo extremamente aquecido, necessita de eletrodos de diâmetro sensivelmente maiores, ficando a capacidade do eletrodo neste processo em cerca de um décimo do que quando operando em DCEN.

2.11 - Corrente contínua Pulsada

A corrente contínua pulsada envolve a variação repetitiva da corrente do arco entre um valor mínimo ("background") e um valor máximo, controlando-se o tempo do pulso, o tempo no valor mínimo, nível de corrente máximo e nível de corrente mínimo.

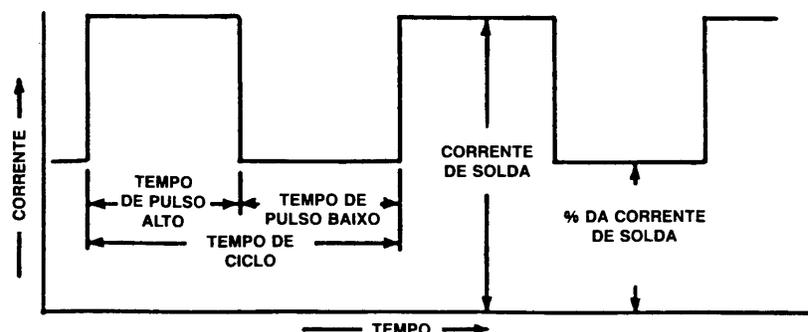
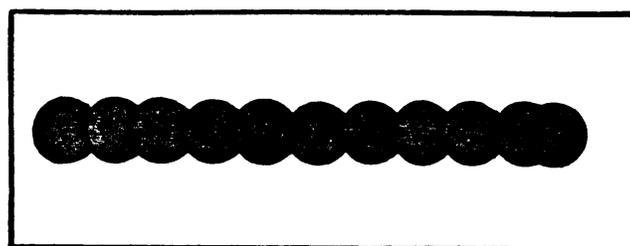
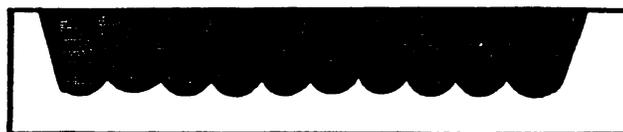


Figura 6 – Gráfico de tensão / corrente para fonte pulsada.

A principal vantagem da corrente pulsada é permitir uma combinação da força, boa penetração e fusão do pulso, enquanto mantém a área de soldagem relativamente fria. Assim, é possível obter maiores penetrações do que em corrente contínua constante e trabalhar com materiais mais sensíveis à aplicação de calor com minimização das distorções. Por esses motivos, o processo também é particularmente útil na soldagem de materiais muito finos. Apesar de muito utilizada nos processos automatizados, a corrente pulsada oferece vantagens também para a soldagem manual. Os soldadores mais inexperientes podem aumentar a sua habilidade através da contagem dos pulsos para controlar a velocidade da tocha e do arame frio de alimentação. Para os soldadores mais experientes, permite a soldagem de materiais mais finos e ligas não similares com maior facilidade. A figura abaixo apresenta uma representação de um cordão de solda realizado por corrente pulsante.



Vista Superior



Corte Transversal e Longitudinal

Figura 7 – Aspecto do cordão gerado por fonte pulsada.

A corrente pulsada pode ser aplicada ainda com uma alta frequência, de aproximadamente 20 Hz, que permite uma maior pressão de arco. Este aumento significa um arco mais firme, com

particularmente úteis em máquinas de precisão, onde características excepcionais de direção e estabilidade são requeridas. Entretanto, além de caros, estes equipamentos podem ser bastante incômodos se estiverem em uma frequência dentro da faixa de frequência audível.

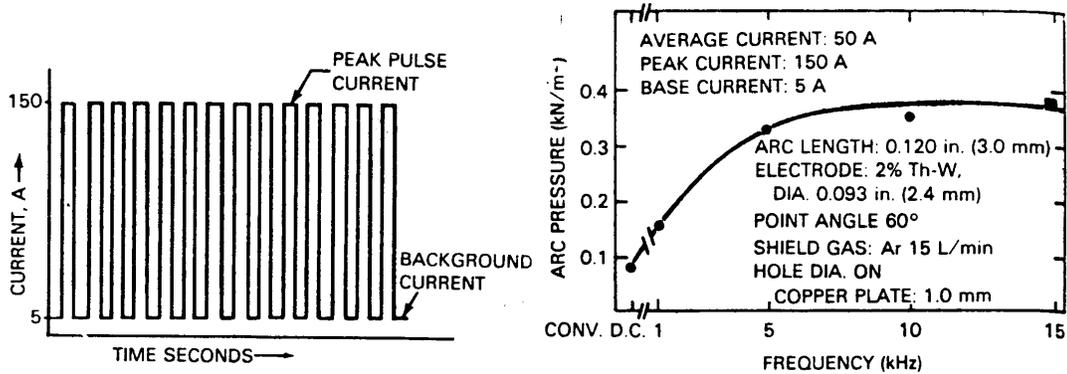
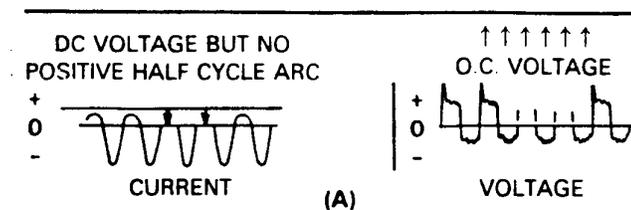


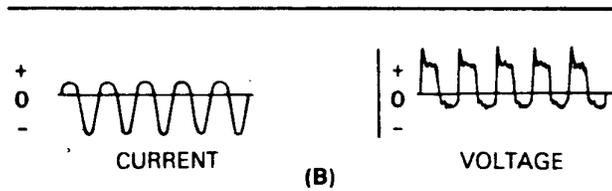
Figura 8 – Curva de análise para fonte pulsada.

2.12 - Corrente alternada

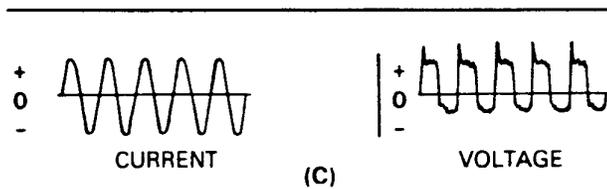
A CA é de grande utilidade em GTAW, pois combina a limpeza catódica do processo com o eletrodo no pólo positivo, com a penetração mais profunda do eletrodo negativo. Entretanto, quando em operação, diversos fenômenos podem ocorrer e devem ser analisados. Ao tornar-se negativo, o eletrodo termoiônico de tungstênio provê elétrons para a reignição do arco, imediatamente após ter passado pelo ponto de corrente zero. Entretanto, ao tornar-se positivo o mesmo não ocorrerá, pois a poça não poderá suprir elétrons até que um determinado nível de tensão seja atingido. Isto deriva de diferentes aspectos como área mais extensa da poça, material menos termoiônico e inércia na mudança de direção dos elétrons. Este efeito pode ser acompanhado pela figura abaixo.



Assim, algumas formas de estabilização do arco na corrente reversa são necessárias. Pode-se utilizar fontes de alta tensão em circuito aberto, capacitores para descarga no momento apropriado, a utilização de velas (ignitores) utilizando alta frequência e alta tensão em paralelo ao arco ou a utilização de ondas quadradas. Desde que é mais fácil manter o arco quando o eletrodo está no pólo negativo , a tensão requerida neste momento também é menor. Assim, a tendência é de se obter correntes desequilibradas entre as fases de eletrodo positivo e eletrodo negativo.



Esta retificação parcial que ocorre com tal desequilíbrio pode causar superaquecimento em algumas fontes, e em algumas máquinas uma queda na sua saída. Este desbalanceamento pode ser eliminado através do balanceamento de onda, mostrado na figura abaixo.



As vantagens da corrente balanceada são uma melhor remoção de óxidos, soldagem mais suave e a não necessidade de redução da saída de uma máquina convencional. Suas desvantagens são a necessidade de eletrodos de maior porte, altas tensões de circuito aberto associadas (questão de segurança) e aumento de custos do equipamento.

2.13 - Controle da tensão do arco

O controle da tensão do arco (AVC) é utilizado em processos automatizados e mecanizados de GTAW onde através da monitoração do arco, controla-se o comprimento do arco, comparando-se a tensão do processo com a tensão desejada, para adequação da posição do eletrodo.

2.14 - Oscilação do arco

A largura dos cordões de solda podem ser aumentados por oscilação mecânica, através da montagem da tocha sobre um oscilador. As oscilações provocadas magneticamente são úteis para melhorar a fusão das extremidades das peças e reduzir os efeitos de mordedura. Estes osciladores podem defletir o arco tanto longitudinalmente quanto lateralmente, sem mover o eletrodo.

3. – CONSUMÍVEIS

3.1 - Gases de proteção

Os gases de proteção são direcionados pela tocha para o arco e a poça de fusão para proteger o eletrodo e o material metálico fundido da contaminação atmosférica. Eles também podem ser utilizados como “back-up” para proteção do lado contrário da solda da oxidação durante a soldagem.

3.2 - Tipos de gases

Os tipos mais comuns de gases são o argônio e o hélio e as misturas entre estes, utilizadas em aplicações especiais, além de misturas com hidrogênio e nitrogênio. O argônio utilizado em processos de soldagem normalmente possui uma pureza de 99,95 %, sendo aceitável para a maioria dos metais, excetuando-se aqueles reativos ou refratários. O argônio é mais utilizado que o hélio no processo devido às seguintes características :

- Possibilita arco mais suave
- Penetração reduzida
- Ação de limpeza quando da soldagem de alumínio ou magnésio
- Baixo custo e alta disponibilidade
- Boa proteção com baixos fluxos
- Maior resistência a ventos cruzados
- Melhor partida do arco

A menor penetração é particularmente útil na soldagem de materiais finos ou soldagens verticais ou sobre cabeça.

Como vimos acima, o Hélio transmite maior calor para uma mesma corrente e tensão que o argônio e, portanto, é particularmente importante na soldagem de peças espessas ou materiais com alta condutividade térmica como o cobre. Características intermediárias podem ser obtidas através da mistura dos dois gases. A principal característica envolvida no processo de proteção é a densidade dos gases. Neste aspecto, o argônio, por ter uma densidade aproximadamente dez vezes maior que a do hélio, forma uma camada sobre a área de solda após deixar o bocal, ao contrário do hélio que, por ser extremamente leve, tende a subir em torno do bocal ao deixá-lo. Assim, para prover a mesma eficiência de proteção, a vazão de hélio deverá ser de 2 a 3 vezes maior que a vazão de argônio.

Em relação ao arco, as características dos gases são definidas pela sua curva tensão-corrente, como a da figura abaixo

Como pode-se avaliar pelas curvas, a tensão do arco obtido com hélio é significativamente maior que com o argônio. Assim sendo, o hélio fornece mais calor ao processo, permitindo as vantagens discutidas acima.

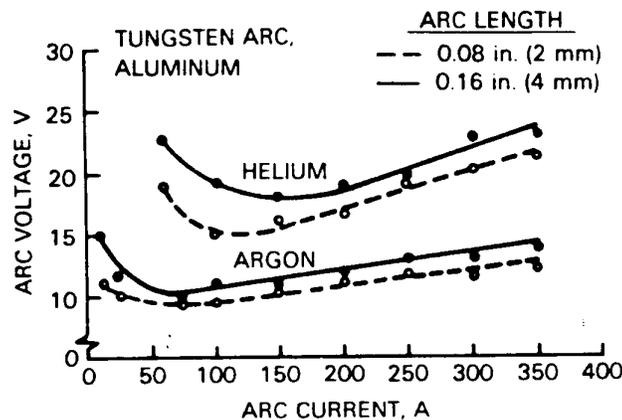


Figura 9 – Comportamento do Argônio e Hélio sobre a tensão e corrente.

Misturas de ARGÔNIO-HIDROGÊNIO também podem ser utilizadas, especialmente em casos de soldas mecanizadas de tubos finos de aço inoxidável. Aumento na velocidade pode ser obtido de forma diretamente proporcional à quantidade de hidrogênio adicionada à mistura, limitado, entretanto, para não permitir a porosidade. As misturas mais comuns deste tipo contêm cerca de 15 % de Hidrogênio.

A vazão de gás é baseada no movimento do ar, no tamanho do bocal e na dimensão da poça. O ponto mínimo é determinado pela necessidade de manutenção de uma corrente firme do gás, enquanto vazões excessivas causam turbulência que pode aspirar contaminantes da atmosfera. Quando o ambiente for sujeito a ventos cruzados, deve-se introduzir telas de proteção, ao invés de aumentar a vazão do gás, o que além de mais oneroso pode levar ao problema da turbulência..

3.3 - Gás de “back-up” e purga

Quando na realização de passes de raiz, a solda pode ser contaminada pela atmosfera do lado contrario à solda. Para evitar este problema, o ar deve ser purgado dessa região. O nitrogênio pode ser utilizado satisfatoriamente para esse fim na soldagem de aços inoxidáveis austeníticos, cobre e ligas de cobre. Uma atmosfera relativamente inerte pode ser obtida através da injeção de cerca de 4 vezes o volume a ser purgado. Uma vez efetivada a purga, a vazão deste gás deve ser mantida apenas para manter-se uma ligeira pressão positiva. A área de escape do gás deve ser no mínimo igual à área de entrada e especial cuidado deve ser tomado para não haver excessos de pressão, principalmente nos últimos cinco centímetros do passe de raiz, prevenindo-se a sopragem da poça ou concavidade da raiz.

3.4 - Câmaras de atmosfera controlada e protetores prolongados

Máxima proteção pode ser obtida na soldagem de materiais reativos com a utilização de câmaras com atmosfera controlada para execução da solda. Outra forma de aumentar a proteção é a utilização de protetores prolongados, que são extensões do bocais de forma a promover uma proteção maior sobre uma área maior, com entrada extra de gás de proteção.

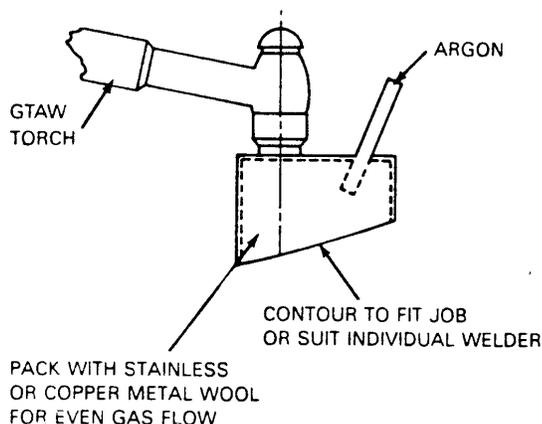


Figura 10 – Bocal especial para Tocha TIG.

3.5 – Metais de Adição

Os metais de adição em GTAW, quando utilizados, devem ser similares ao metal e base, mas não necessariamente idênticos. Sua produção é realizada sob controle mais rígido da composição química, pureza e qualidade que o metal de base. Algumas modificações são feitas para permitir uma melhor resposta para tratamentos térmicos posteriores à solda. A escolha do metal de adição para qualquer aplicação é um compromisso que envolve compatibilidade metalúrgica, características corretas para o serviço solicitado e custos.

Os arames podem estar dispostos em rolos ou arames cortados de 1 m e esforços devem ser empreendidos para evitar a contaminação destes materiais na sua estocagem e uso. Mais importante ainda é a manutenção da extremidade do arame na proteção do gás durante o processo de soldagem.

A alimentação do arame que servirá de adição à solda nos processos automatizados ou mecanizados pode ser feita tanto à temperatura ambiente quanto pré-aquecida, sendo estes processos designados como arame frio e arame quente, respectivamente. O arame frio é alimentado no início da poça enquanto o arame quente é alimentado no final da poça. O sistema de alimentação do arame frio é composto pelo mecanismo de alimentação, pelo controle de velocidade e pela guia de alimentação. No processo de arame quente há um pré-aquecimento por resistência elétrica. O arame é alimentado mecanicamente e recebe uma proteção de gás auxiliar para evitar a sua oxidação. As taxas de deposição obtidas através deste método são comparáveis às obtidas em GMAW. O arame é aquecido por uma fonte que opera em CA e tensão constante. A CA permite a operação desta fonte com mínima sopragem do arco. O método, entretanto, não é recomendado para alumínio e cobre pois, devido à sua baixa resistência, estes materiais requerem correntes elevadas para o aquecimento que, por sua vez, acarretam uma deflexão excessiva do arco.

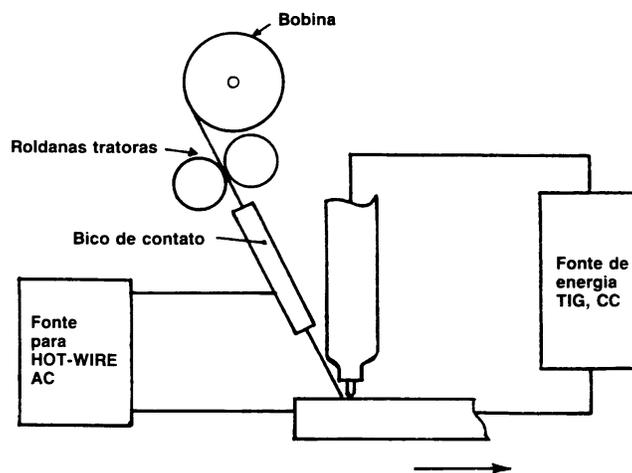
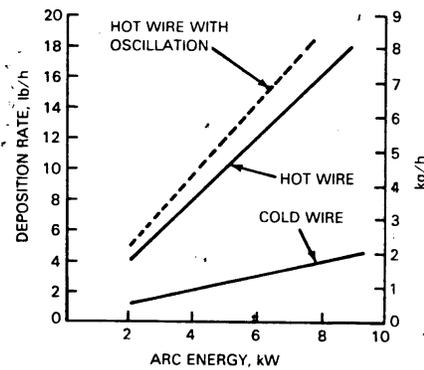


Figura 11 – Esquema de adição de arame.

4. – TÉCNICAS DE SOLDAGEM:

4.1 – Métodos de Iniciação do Arco

O método mais simples de iniciação do arco, o toque do eletrodo na peça, apesar de extremamente simples, não é recomendado, pois ao tocar a peça o eletrodo pode contaminá-la e danificar-se. Outro método é a utilização de uma fonte de alta frequência, que fornece uma alta tensão com alta frequência em série ao circuito de soldagem, para ionizar o gás e permitir a abertura do arco e poder trabalhar com uma corrente igual à corrente de soldagem ou não. Este método tem o inconveniente de gerar grande quantidade de distúrbios para a rede de alimentação elétrica.

A partida pulsada também pode ser utilizada, sendo obtida através de pulsos de alta tensão que ionizam o gás e permitem a abertura do arco, trabalhando via de regra com corrente iguais às de soldagem.

A partida através de arco piloto pode ser utilizada com fontes de CC mantendo-se um arco entre o eletrodo e o bocal da tocha. Este arco piloto ioniza o gás necessário para estabelecer o arco. O arco piloto é alimentado por uma pequena fonte e é iniciado por alta frequência.

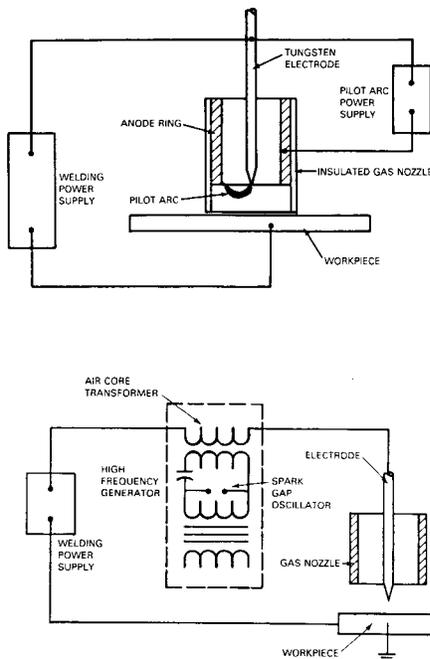


Figura 12 – Esquemas para dispositivos de abertura de arco.

4.2 – Soldagem Manual

Em GTAW, quando define-se a soldagem manual isso significa que uma pessoa irá controlar todas as funções do processo de soldagem, como a adição e o suprimento de gás, a soldagem manual utiliza a tocha, cabos e condutores elétricos, pedal de pé (para controle de nível de corrente de soldagem) e controles de fluxo de gás.

Na soldagem manual, uma vez iniciado o arco, o eletrodo é movido circularmente até o estabelecimento da poça de soldagem. A tocha é então inclinada em 15 graus conforme a figura abaixo e é movida ao longo da junta para fundir progressivamente as superfícies. O material de adição é adicionado, se frio, no início da poça. A figura abaixo ilustra o processo

de soldagem manual. Deve-se tomar especial cuidado para manter sempre a ponta do arame de adição dentro do fluxo do gás de proteção.

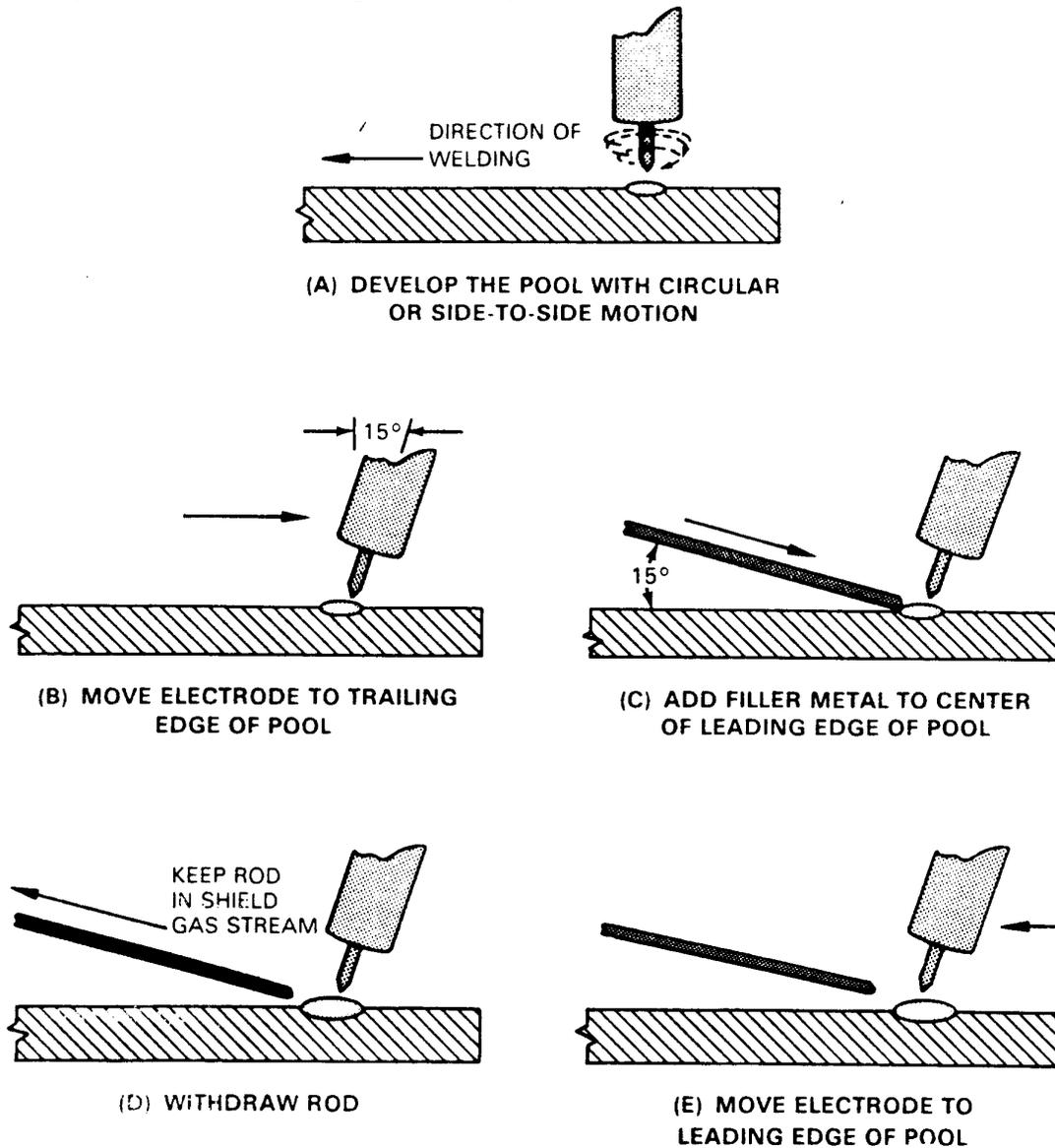


Figura 13 – Técnica operatória para soldagem TIG manual.

4.3 - Soldagem Mecanizada

A soldagem mecanizada é feita através de equipamento que produz a solda com a constante supervisão e controle do operador de solda. Os maiores custos deste processo tem de ser compensados pela maior produtividade e qualidade obtidas. Os processos ocorrem como um controle aberto de forma que os níveis pré ajustados são mantidos durante o processo sem realimentação ou ajuste.

4.4 - Soldagem Semi-Automática

A soldagem semi-automática é definida como a soldagem na qual o único parâmetro automaticamente controlado é a alimentação do arame de adição, sendo o avanço da tocha realizado manualmente.

4.5 - Soldagem Automática

A soldagem com equipamentos que auto - ajustam o processo sem a interferência de um operador são designadas como soldagem automática. Algumas máquinas modernas deste tipo fazem correções nas variáveis de soldagem baseadas em informações obtidas durante o próprio processo.

4.6 – Soldagem por Pontos

A soldagem a ponto por GTAW é sempre executada manualmente com um suporte tipo pistola que tem um bocal de gás refrigerado a água e o eletrodo concêntricamente posicionado no bocal, além de um gatilho para controle da operação. Podem ser obtidos também suportes para soldagem a ponto automatizadas. Neste processo, como mostrado na figura abaixo, o bocal é pressionado contra a peça para assegurar um contato firme das superfícies, sendo então acionado o gatilho para execução do ponto. A soldagem por ponto pode ser executada tanto em CA quanto DCEN, sendo que em algumas aplicação múltiplos pulsos são preferíveis a um único pulso longo.

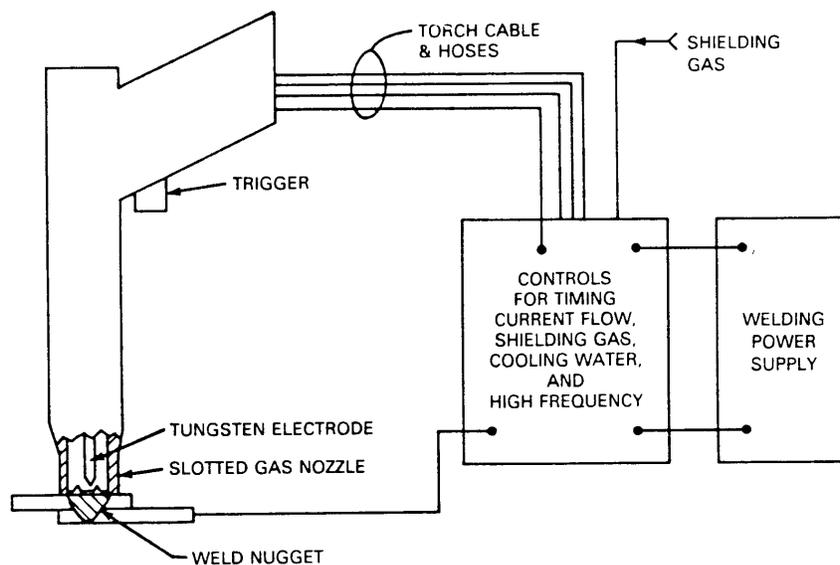


Figura 14 – Esquema de ponteadeira TIG.

5. – PROJETO DAS JUNTAS

O objetivo das juntas é minimizar os custos de soldagens enquanto mantém as características desejadas de qualidade e performance. Os fatores que afetam o custo são o tempo de preparação, área da junta a ser preenchida e tempo de “set-up”. As principais variáveis do projeto da junta são a abertura da raiz, espessura da face da raiz e ângulo do chanfro. A colocação de tiras na parte posterior da solda não é normalmente utilizada devido ao acréscimo de custo e fixação, assim como a dificuldade de interpretação das radiografias. O ângulo do chanfro deve permitir a manipulação do suporte do eletrodo para obter a fusão

adequada da face do chanfro. A abertura do ângulo do chanfro aumenta as distorções, tempo de soldagem, custos e devem ser limitadas o máximo possível.

A preparação da junta é muito importante no processo e deve ser evitada a contaminação por rebolos utilizados em outros materiais. Materiais macios como alumínio vem impregnados de partículas abrasivas, as quais podem resultar em porosidade excessiva. O fluido de corte também deve ser cuidadosamente selecionado, caso seja utilizado.

A tolerância do ajuste das juntas depende do processo a ser utilizado, sendo que os processos manuais tem maior tolerância a irregularidade.

A limpeza das peças, assim como do material de alimentação, pode ser realizada por métodos mecânicos, por uso de vapor ou limpadores, ou pela combinação de ambos.

A fixação das peças tem por finalidade :

1. Localizar as partes precisamente;
2. Manter o alinhamento durante a soldagem;
3. Minimizar distorção na soldagem;
4. Controlar superaquecimento

6. - VANTAGENS

1. Produz soldas de qualidade superior, geralmente livres de defeitos;
2. Está livre dos respingos que ocorrem em outros processos a arco;
3. Pode ser utilizado com ou sem adição;
4. Permite excelente controle na penetração de passes de raiz;
5. Pode produzir excelentes soldagem autógenas (sem adição) a altas velocidades;
6. Utiliza-se de fontes de energia de baixo custo;
7. Permite um controle preciso das variáveis da soldagem;
8. Pode ser usado em quase todos os metais, inclusive metais dissimilares;
9. Permite um controle independente da fonte de calor e do material de adição.

7. - LIMITAÇÕES E POTENCIAIS PROBLEMAS

1. Taxas de deposição inferiores com processos de eletrodos consumíveis;
2. Há necessidade de maior destreza e coordenação do operador em relação ao SMAW e GMAW;
3. É menos econômico que os processos de eletrodos consumíveis para espessuras a 10 mm;
4. Há dificuldade de manter a proteção em ambientes turbulentos;
5. Pode haver inclusões de Tungstênio, no caso de haver contato do mesmo com a poça de soldagem;
6. Pode haver contaminação da solda se o metal de adição não for adequadamente protegido;
7. Há baixa tolerância a contaminantes no material de base ou adição;
8. Vazamento no sistema de refrigeração pode causar contaminação ou porosidade Sopro ou deflexão do arco, como em outros processos;

8. – MATERIAIS SOLDÁVEIS PELO PROCESSO

A maioria dos metais podem ser soldados pelo processo GTAW, não sendo utilizado, entretanto, para soldar metais como cádmio, zinco e estanho devido à baixa pressão de vapor dos líquidos destes metais, De uma forma geral, melhores resultados são obtidos com DCEN, a menos os casos específicos como o alumínio e o eletrodo mais utilizado é o torinado com 2 %.

8.1 - AÇOS CARBONO E DE BAIXA LIGA

A qualidade do gás da soldagem por GTAW nestes materiais são mais fortemente dependentes das contaminações no metal de base que nos processos SMAW ou SAW devido à ausência dos fluxos para remoção das impurezas. Argônio é utilizado em espessuras de até 12 mm. Na soldagem de maiores espessuras são utilizados o argônio e misturas argônio-hélio.

8.2 - AÇOS INOXIDÁVEIS E LIGAS REFRAATÁRIAS

Devido ao seu alto grau de proteção, estes materiais são extensivamente utilizados com soldagem por GTAW. Além disso, o metal de adição, por não atravessar o arco, pode conservar os elementos de liga, levando-se essa pureza para a formação final do metal. Argônio, misturas argônio-hélio e argônio-hidrogênio e hélio puro

8.3 - LIGAS DE ALUMÍNIO

O GTAW é um processo perfeito para a soldagem destes materiais, podendo ser realizadas operações em todas as espessuras e soldagens autógenas ou não. Na maioria do casos é utilizada CA, devido à limpeza catódica. Na soldagem de superfícies finas algumas vezes é utilizado o DCEP. Para seções espessas (Acima de 1/4 ") utiliza-se DCEN com Hélio em processos automáticos sendo que devido à ausência de limpeza catódica as peças tem de ser limpas imediatamente antes do processo. Em CA, utiliza-se o Argônio por prover melhor limpeza, melhor inicialização do arco e qualidade superior de solda.

8.4 - LIGAS DE MAGNÉSIO

As ligas de magnésio tem operações próximas às das ligas de alumínio, utilizando-se também na maioria das vezes de soldagem com CA.

8.5 - BERÍLIO

As soldagens deste material são difíceis devido a sua tendência de fratura a quente e fragilização. Assim sendo, o processo é conduzido em câmaras de atmosfera inerte geralmente com misturas de cinco partes de hélio par uma parte de Ar. Deve-se considerar também que os fumos de berílio são tóxicos.

8.6 - LIGAS DE COBRE

O GTAW é apropriado para a soldagem de cobre devido à alta intensidade de geração de calor pelo arco, o que permite um mínimo aquecimento das vizinhanças da região de solda. A maioria das ligas de cobre são soldadas com DCEN com proteção de hélio, devido a sua alta condutividade.

8.7 - LIGAS DE NÍQUEL

Normalmente são soldadas por DCEN com proteção de Ar, Ar-He e He.

8.8 - METAIS REFRACTÁRIOS E REATIVOS

Estes materiais possuem pontos de fusão extremamente elevados e são altamente reativos, oxidando-se rapidamente a altas temperaturas. Dessa forma, GTAW provê alta intensidade de calor com proteção adequada ao processo destes materiais. Frequentemente são utilizadas câmaras purgadas contendo gases de alta pureza.

8.9 - FERRO FUNDIDO

Devido ao controle independente de adição de calor e metal no processo GTAW a diluição do metal de base pode ser diminuída no GTAW. Ainda assim, o processo é utilizado normalmente para pequenos reparos e a adição recomendada é de aços inoxidáveis austeníticos e a base de níquel para minimizar a fratura devido à sua ductilidade e sua tolerância ao hidrogênio.

9. - QUALIDADE DA SOLDA

9.1 - Descontinuidades e Defeitos

Descontinuidades são interrupções na estrutura típica da soldagem e podem ocorrer no metal de base, no metal fundido e nas zonas termicamente afetadas. Quando estas descontinuidades levam o material a não satisfazer as requisições do trabalho a ser realizado elas são classificadas como defeitos.

Um tipo de descontinuidade encontrado exclusivamente em processos GTAW são inclusões de Tungstênio. As causas típicas destas inclusões são :

1. Contato da ponta eletrodo com a poça;
2. Contato do material de adição com a ponta aquecida do eletrodo;
3. Contaminação do eletrodo por respingo da poça;
4. Extensão dos eletrodos muito além da pinça ou mandril, resultando em superaquecimento;
5. Eletrodo inadequadamente preso ao mandril;
6. Taxas de gás inadequadas ou ventos excessivos;
7. Defeitos como rachaduras e trincas;
8. Uso de gases não apropriados como misturas Argônio - CO₂

A falta de proteção no processo está relacionada a descontinuidades como inclusão de tungstênio, porosidade, filmes óxidos e inclusões, fusão incompleta e fissuras. A tabela que segue ilustra os principais defeitos suas causas e forma de correção :

Troubleshooting Guide for Gas Tungsten Arc Welding

Problem	Cause	Remedy
Excessive electrode consumption	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inadequate gas flow. 2. Operating on reverse polarity 3. Improper size electrode for current required. 4. Excessive heating in holder. 5. Contaminated electrode 6. Electrode oxidation during cooling. 7. Using gas containing oxygen or CO₂. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Increase gas flow. 2. Use larger electrode or change to straight polarity. 3. Use larger electrode. 4. Check for proper collet contact. 5. Remove contaminated portion. Erratic results will continue as long as contamination exists. 6. Keep gas flowing after stopping arc for at least 10 to 15 seconds. 7. Change to proper gas.
Erratic arc	<ol style="list-style-type: none"> 1. Base metal is dirty, greasy 2. Joint too narrow 3. Electrode is contaminated. 4. Arc too long 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Use appropriate chemical cleaners, wire brush, or abrasives. 2. Open joint groove; bring electrode closer to work; decrease voltage. 3. Remove contaminated portion of electrode. 4. Bring holder closer to work to shorten arc
Porosity	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entrapped gas impurities (hydrogen, nitrogen, air, water vapor). 2. Defective gas hose or loose hose connections. 3. Oil film on base metal. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Blow out air from all lines before striking arc; remove condensed moisture from lines; use welding grade (99.99%) inert gas. 2. Check hose and connections for leaks. 3. Clean with chemical cleaner not prone to break up in arc; DO NOT WELD WHILE BASE METAL IS WET
Tungsten contamination of workpiece	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contact starting with electrode. 2. Electrode melting and alloying with base metal. 3. Touching tungsten to molten pool. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Use high frequency starter; use copper striker plate 2. Use less current or larger electrode; use thoriated or zirconium-tungsten electrode. 3. Keep tungsten out of molten pool.

10. - PRÁTICAS DE SEGURANÇA

Os principais tópicos a serem observados nos itens de segurança são:

1. Usar sistematicamente o equipamento de proteção individual;
2. Cuidados na manipulação de cilindros pressurizados;
3. Evitar a aspiração de Gases tóxicos associados ao processo (ozônio, dióxido de nitrogênio, etc.), gases inertes de proteção ou fumos metálicos;
4. Proteger-se da energia radiante, especialmente na pele e olhos (cuidados especialmente com UV, inclusive refletido pelas paredes);
5. Proteger-se de choques elétricos.
6. Evitar a aspiração de partículas radioativas quando da preparação de eletrodos com adição de Tório.