

# Gas Metal Arc Welding

Alexandre Queiroz Bracarense

## 1. Definição e Histórico

Gas Metal Arc Welding - GMAW é um processo de soldagem a arco que utiliza um arco entre uma alimentação contínua de metal e a poça de fusão. Esse processo utiliza como proteção para a poça de soldagem contra contaminação do ar externo uma fonte externa de gás de proteção.

A concepção básica do GMAW iniciou-se em 1920, entretanto este somente se tornou comercial após 1948. Inicialmente, este era considerado ser, fundamentalmente, um processo de alta densidade de corrente, pequenos diâmetros de eletrodos de metal nu onde utiliza-se um gás inerte para proteção. Sua primeira aplicação foi na soldagem de alumínio. Por causa dessa característica, o processo era conhecido como Metal Inert Gas - MIG, denominação ainda utilizada para o processo. Evolução subsequente do processo incluiu a soldagem com baixas densidades de corrente e corrente pulsada, aplicação em uma vasta faixa de materiais e emprego de gás ativo ou uma mistura de gases. Este último desenvolvimento levou à aceitação formal do termo Gas Metal Arc Welding (GMAW) para denominação do processo, devido aos gases inertes e ativos serem utilizados.

Uma variação do processo GMAW utiliza um eletrodo tubular onde pós metálicos compõem o centro do arame. Tais eletrodos requerem uma proteção de gás para proteger a poça de fusão da contaminação atmosférica.

O processo de soldagem por arame tubular é considerado um segmento do processo de soldagem GMAW pela sociedade americana de soldagem (AWS). Associações estrangeiras podem agrupar este processo de forma diferente.

GMAW pode ser utilizado nos modos automático, semi-automático e mecanizado. Todos os metais comercialmente importantes, tais como aços car-

bono, aços de alta resistência e baixa liga (HSLA), aço inoxidável, alumínio, cobre, titânio e ligas de níquel podem ser soldados em todas as posições de soldagem através da escolha apropriada de gás de proteção, de eletrodos e das variáveis de soldagem.

## 2. Vantagens e Limitações

### 2.1. Vantagens

As principais vantagens do processo GMAW são:

- É o único processo de eletrodo consumível que pode ser utilizado com todos metais comerciais e ligas;
- Não existe a restrição de tamanhos limitados de eletrodos encontrados no SMAW;
- A soldagem pode ser feita em todas as posições, fator não encontrado em SAW (arco submerso);
- As taxas de deposição são significativamente maiores que aquelas obtidas com SMAW;
- As velocidades de soldagem são maiores que aquelas alcançadas com SMAW devido à alimentação contínua de eletrodo e às altas taxas de deposição;
- Longos cordões podem ser feitos sem paradas devido à alimentação contínua;
- Com transferência spray é possível se conseguir maior penetração que no SMAW, o que pode permitir a utilização de filetes menores de solda com a resistência equivalente;
- Limpeza mínima após solda é necessária devido a ausência de escória pesada;

Estas vantagens fazem do processo particularmente bem adequado para alta produção e soldagem automatizada. Isto se tornou evidente com o advento da utilização de robôs na produção, onde GMAW tem sido o processo mais utilizado.

## 2.2. Limitações

Como qualquer processo de soldagem, existem certas limitações que restringem a utilização de GMAW. Algumas delas são:

- O equipamento de soldagem é mais complexo, mais caro e menos portátil em relação ao SMAW;
- O processo GMAW apresenta maior dificuldade de utilização em locais difíceis de alcançar porque a tocha de soldagem é maior que a pinça utilizada no SMAW, além da tocha ter de estar perto da junta a ser soldada para assegurar proteção suficiente;
- O arco deve estar protegido de correntes de ar que possam dispersar o gás de proteção. Isto limita a soldagem em campo.
- O processo resulta em altos níveis de radiação e calor, o que pode resultar na resistência do operador ao processo.

## 3. Fundamentos do Processo

### 3.1. Princípios de Operação

O processo GMAW incorpora alimentação automática de um eletrodo consumível contínuo que é protegido por um suprimento externo de gás. O processo é ilustrado na figura 1. Depois da regulagem inicial ser feita pelo operador, o equipamento auto regula as características do arco automaticamente. Consequentemente, o único controle manual necessário pelo soldador para operação semi automática é a velocidade, direção e posição da tocha de soldagem. Com equipamento e regulagem adequados, o comprimento do arco e a corrente (velocidade de alimentação do arame) são automaticamente mantidos.

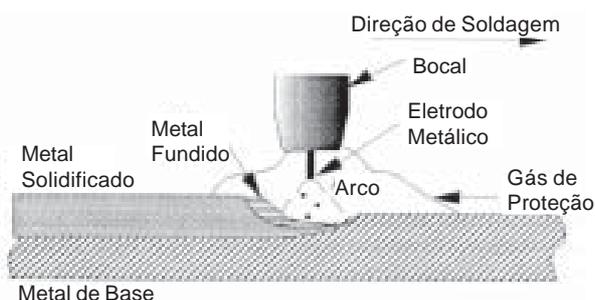


Figura 1 Processo GMAW.

O equipamento necessário para GMAW é mostrado na figura 2. Os componentes do equipamento básico são tocha de soldagem, a armação de cabos, a unidade alimentadora de eletrodo, a fonte de energia e a fonte de gás.

A tocha guia o eletrodo consumível e conduz a corrente elétrica e o gás de proteção para a área de trabalho, deste modo fornecendo a energia para estabelecer, manter o arco e fundir o eletrodo, fornecendo ainda a proteção da atmosfera necessária. Duas combinações de alimentadores de eletrodo e fontes de energia são utilizadas para alcançar a auto regulagem do comprimento do arco. Mais comumente esta regulagem consiste de uma fonte de voltagem constante (caracteristicamente fornecendo uma curva voltagem x corrente aplainada) em conjunção com uma unidade de alimentação de eletrodo de velocidade constante. Por outro lado, uma fonte de corrente constante origina em uma curva inclinada de voltagem x corrente sendo a unidade de alimentação de eletrodo controlada pela voltagem do arco.

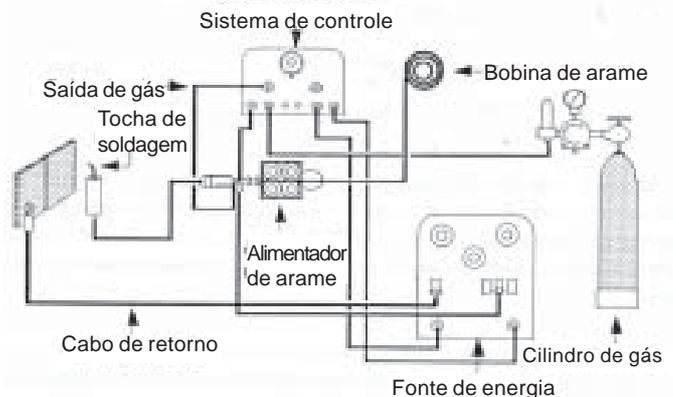


Figura 2 Diagrama do equipamento GMAW.

Com tensão constante e alimentação constante, mudanças na posição da tocha podem ocasionar mudanças na corrente de soldagem que levem exatamente à mudança na extensão (stick out) do eletrodo. Por exemplo, um aumento na extensão do eletrodo produzido pelo afastamento da tocha reduz a corrente que sai da fonte, entretanto mantendo a mesma resistência de aquecimento do eletrodo.

No sistema alternativo, a auto regulagem resulta quando flutuações na voltagem reajustam circuitos de controle do alimentador, que mudam apropriadamente a velocidade da alimentação de arame. Em alguns casos, (soldagem de alumínio por exemplo),

pode ser preferível desviar destas combinações padrões e se utilizar uma combinação de uma fonte de corrente constante com uma alimentação corrente de arame. Esta combinação origina somente um pequeno grau de auto regulagem automática, e entretanto requer mais da habilidade do operador em soldagem semi-automática. Entretanto, alguns usuários pensam que esta combinação proporciona uma faixa de controle da energia do arco (corrente) que pode ser importante para vencer a alta condutividade de metais como o alumínio.

## 4. Mecanismos de Transferência do Metal

As características do processo GMAW são melhor descritas em termos de três meios básicos sob os quais o metal é transferido do eletrodo para a peça de trabalho. Estes meios são:

- Transferência por curto circuito
- Transferência globular
- Transferência spray

O tipo de transferência é determinado por um grande número de fatores. Os que mais influenciam são:

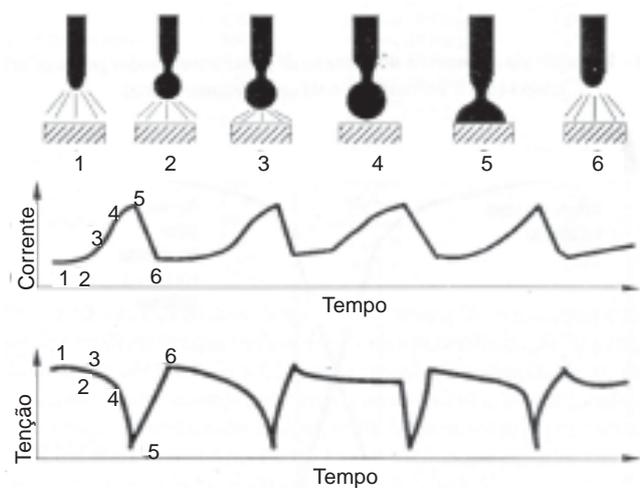
- Magnitude e tipo de corrente de soldagem
- Diâmetro do eletrodo
- Composição do eletrodo
- Extensão do eletrodo
- Proteção de gás

### 4.1. Transferência por Curto Circuito

A transferência por curto-circuito engloba soldagem com baixas correntes e diâmetros de eletrodo. Este tipo de transferência produz uma poça de fusão pequena e de rápido resfriamento que é geralmente utilizada para unir seções finas, para soldagem fora de posição e para fechar grandes aberturas de raiz. O metal é transferido do eletrodo para a peça somente durante o período quando o eletrodo está em contato com a poça de fusão. Nenhum metal é transferido através do arco.

O eletrodo toca a poça fundida numa faixa de aproximadamente 20 a 200 curtos circuitos em um se-

gundo. A seqüência de eventos na transferência de metal e a corrente e voltagem correspondentes são mostradas na figura 3. Quando o arame toca o metal de solda, a corrente aumenta. A taxa em que a corrente aumenta deve ser alta o suficiente de modo a aquecer o eletrodo e promover transferência metálica, contudo baixa o suficiente para minimizar respingos causados pela separação violenta da gota de metal. Esta taxa de aumento da corrente é controlado pela indutância da fonte de energia.



**Figura 3** Representação esquemática de transferência por curto circuito.

A regulagem de indutância ótima depende da resistência elétrica do circuito de soldagem e da temperatura de fusão do eletrodo. Quando o arco é estabelecido, o arame funde na ponta e é empurrado em direção a um novo curto circuito. A voltagem em aberto deve ser baixa de modo que a gota de metal fundido não se transfira para o metal base até que esta toque o metal base. A energia para manutenção do arco é parcialmente provida pela energia armazenada no indutor no período de curto circuito.

Embora a transferência ocorra somente durante o curto circuito, composição do gás de proteção tem efeito importante na tensão superficial do metal fundido. Mudanças na composição do gás podem afetar o tamanho da gota e a duração do curto circuito. Adicionalmente, o tipo de gás influencia as características de operação. Dióxido de carbono geralmente produz altas quantidades de respingos comparados com gases inertes, mas também produz uma

penetração mais alta. Para encontrar uma boa combinação entre respingos e penetração, misturas de CO<sub>2</sub> e argônio são freqüentemente utilizadas na soldagem de aços carbono e baixa liga. Adições de hélio ao argônio aumentam a penetração em metais não ferrosos.

## 4.2. Transferência Globular

Com eletrodo positivo (DCEP), a transferência globular acontece quando a corrente é relativamente baixa, independente do tipo de gás de proteção. Entretanto, com dióxido de carbono e hélio, este tipo de transferência ocorre em toda a faixa de corrente. Transferência globular é caracterizada por uma gota de diâmetro maior que o do eletrodo. Com o aumento do tamanho da gota, o seu peso aumenta e acaba por ocasionar a sua separação do arame e a gota de metal líquido se transfere para a poça de fusão pela ação da gravidade.

Em correntes médias, levemente maiores que as utilizadas em transferência de curto circuito, transferência globular diretamente axial pode ser alcançada com a utilização de proteção inerte. Se o comprimento do arco é muito pequeno (baixa voltagem), a gota em crescimento pode alcançar a peça, se superaquecer e desintegrar, produzindo respingos. O arco deve então ser longo o suficiente para assegurar o destacamento da gota antes que esta tenha contato com a poça de fusão. Entretanto, uma solda feita utilizando alta voltagem é provável de ser não ser aceita devido a falta de fusão, penetração insuficiente e reforço excessivo. Isto limita grandemente o uso de transferência globular em aplicações na produção.

Proteção por dióxido de carbono resulta em uma transferência globular com direção randômica quando a corrente de soldagem e voltagem estão significativamente acima da faixa de curto circuito. O momento da transferência axial é governado por forças eletromagnéticas, geradas pela corrente de soldagem agindo sobre a ponta fundida, como mostrado na figura 4. O mais importante destes são os "pinch" eletromagnético (P) e a reação anódica (R).

A magnitude da força (P) é função direta da corrente de soldagem e do diâmetro do eletrodo e é normalmente responsável pelo destacamento da gota. Com proteção de CO<sub>2</sub>, a corrente de soldagem

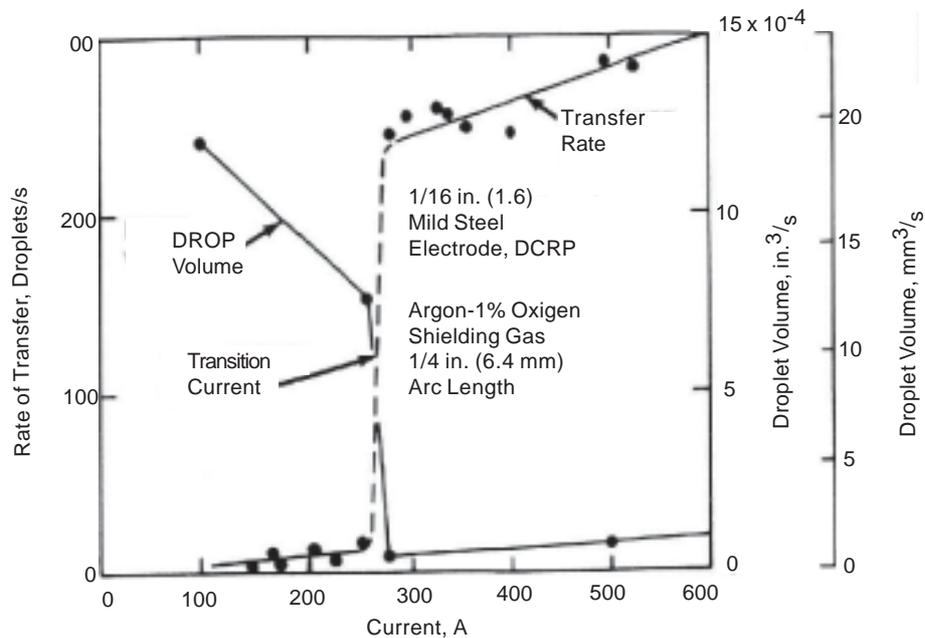
é conduzida através da gota fundida e a ponta do eletrodo não é envolvida pelo plasma. Fotografias de alta velocidade mostram que o arco move sobre a superfície da gota fundida e a peça de trabalho, pois a força R tende a suportar a gota. A gota fundida cresce até que ela se destaca por curto circuito ou por gravidade (em alguns casos sem se romper). A situação mais favorável envolve a gota curto circuitando a coluna do arco e explodindo. Respingos podem entretanto ser severos, o que limita o uso do CO<sub>2</sub> para muitas aplicações comerciais.

Não obstante, o CO<sub>2</sub> permanece o gás mais utilizado para soldagem de aços doces. A razão para isto é que o problema de respingos pode ser reduzido significativamente por "enterro" do arco. Deste modo, a atmosfera do arco se torna uma mistura de gás e vapor de metal, permitindo que a transferência se torne quase spray. As forças do arco são suficientes para manter a cavidade de depressão que captura a maioria do respingo. Esta técnica requer altas correntes de soldagem e resulta em uma penetração profunda. Entretanto, a menos que a velocidade de soldagem seja cuidadosamente controlada, isto pode resultar em reforço excessivo devido as tensões superficiais de soldagem.

## 4.3. Transferência Spray

Na soldagem GMAW com proteção a base de argônio é possível produzir um modo de transferência axial spray muito estável e livre de respingos. Isto requer o uso de eletrodo positivo e corrente direta, e um nível de corrente acima do valor denominado corrente de transição. Abaixo desta corrente, a transferência ocorre em modulo globular e acima desta corrente, a transferência ocorre em forma de pequenas gotas que são formadas e destacadas a uma taxa de centenas por segundo. Elas são aceleradas axialmente através do arco. A figura 4 mostra a relação entre a taxa de transferência e a corrente, observando-se a faixa de corrente de transição utilizada para a transferência spray.

A corrente de transição depende de inúmeros fatores, particularmente, da composição e temperatura de fusão do eletrodo, do tipo de gás de proteção, é inversamente proporcional ao seu diâmetro e depende em menor grau do comprimento energizado. A tabela 1 mostra algumas correntes de transição para os metais mais comuns.



**Figura 4** Variação em volume e taxa de transferência com a corrente de soldagem.

**Tabela 1** Correntes de transição transferência globular-spray para uma variedade de eletrodos.

Tipo de eletrodo	Diâmetro do arame		Gás de proteção	Corrente mínima para arco Spray (A)
	Polegadas	mm		
Aço Doce	0,030	0,8	98% Argônio - 2% Oxigênio	150
Aço Doce	0,035	0,9	98% Argônio - 2% Oxigênio	165
Aço Doce	0,045	1,1	98% Argônio - 2% Oxigênio	220
Aço Doce	0,062	1,6	98% Argônio - 2% Oxigênio	275
Aço Inoxidável	0,035	0,9	98% Argônio - 2% Oxigênio	170
Aço Inoxidável	0,045	1,1	98% Argônio - 2% Oxigênio	225
Aço Inoxidável	0,062	1,6	98% Argônio - 2% Oxigênio	285
Alumínio	0,030	0,8	Argônio	95
Alumínio	0,045	1,1	Argônio	135
Alumínio	0,062	1,6	Argônio	180
Cobre Desoxidado	0,035	0,9	Argônio	180
Cobre Desoxidado	0,045	1,1	Argônio	210
Cobre Desoxidado	0,062	1,6	Argônio	310
Bronze Silício	0,035	0,9	Argônio	165
Bronze Silício	0,045	1,1	Argônio	205
Bronze Silício	0,062	1,6	Argônio	170

O modo de transferência spray resulta em um fluxo altamente direcionado de gotas discretas que são aceleradas por forças do arco a velocidades que vencem a força da gravidade. Devido a isto o processo, sob certas condições, pode ser utilizado em qualquer posição. Devido as gotas serem menores que o comprimento do arco, curtos circuitos não ocorrem e respingos são mínimos, se não totalmente eliminados.

Outra característica do modo de transferência spray é o penetração em forma de dedo. Embora esta penetração possa ser profunda, ela é afetada por forças magnéticas que devem ser controladas para mantê-la localizada no centro da solda.

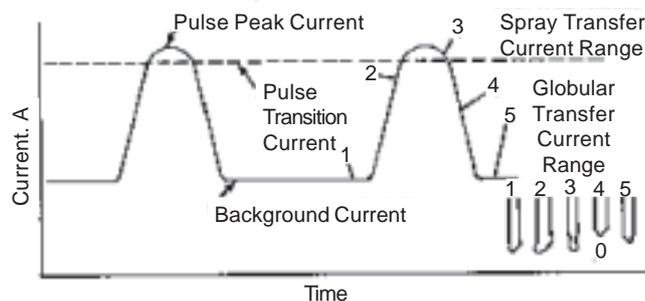
A transferência spray pode ser utilizada em quase qualquer tipo de metal e ligas devido as características inertes da proteção de argônio. Entretanto, a aplicação do processo para peças finas pode ser difícil devido as altas correntes necessárias para produzir um arco spray. A resultante das forças podem perfurar chapas relativamente finas em vez de soldá-las. Ainda, a alta taxa de deposição pode produzir uma poça de fusão muito larga para ser suportada pela tensão superficial na posição vertical e sobre cabeça.

A espessura da peça e limitações de posição de soldagem podem ser superadas com fontes especiais de energia. Estas máquinas produzem formas

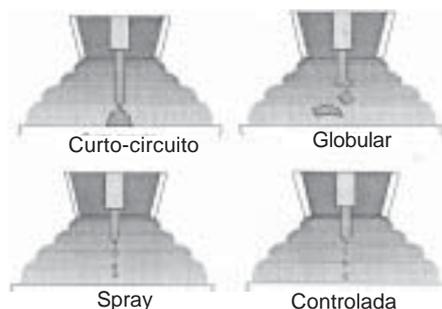
de onda cuidadosamente controladas e frequências que pulsam a corrente de soldagem. Como mostrado na figura 5, elas fornecem 2 níveis de corrente: uma constante, é uma corrente baixa de background que sustenta o arco sem prover energia suficiente para causar a formação de gotas; a outra, um pulso de corrente superposto com amplitude maior que a corrente de transição necessária para transferência spray. Durante o pulsos, uma ou mais gotas são formadas e transferidas. A frequência e a amplitude dos pulsos e conseqüentemente a taxa com que o arame se funde são controladas pelo nível de energia do arco. Pela redução da energia do arco médio, a transferência spray se torna disponível para soldagem de folhas de metal e de materiais espessos em todas as posições.

Muitas variações destas fontes de energia estão disponíveis. As mais simples fornecem uma única frequência de pulsação com controle independente da corrente de background e da corrente de pulsação. As mais sofisticadas, chamadas sinérgicas, fornecem uma combinação ótima e automática entre corrente de pulsação e de background para qualquer regulagem de velocidade de alimentação.

A figura 6 apresenta como varia o modo de transferência de acordo com os parâmetros corrente e tensão previamente explicados.



**Figura 5** Características de corrente arco pulsado para transferência spray.



**Figura 6** Modos de Transferência.

## 5. Variáveis do Processo

A seguir são apresentadas algumas variáveis que afetam a penetração da solda, a geometria do leito e consequentemente as qualidades globais da solda:

- Corrente de soldagem (velocidade de alimentação);
- Polaridade;
- Voltagem do arco (comprimento do arco);
- Velocidade de soldagem;
- Extensão do eletrodo;
- Orientação do eletrodo;
- Posição da junta;
- Diâmetro dos eletrodos;
- Composição do gás de proteção e fluxo de saída.

O Conhecimento e controle destas variáveis são essenciais para a obtenção de soldas de qualidade satisfatória. Estas variáveis não são completamente independentes e mudanças em uma delas requerem mudanças em uma ou mais das outras para produzir os resultados desejados. Habilidade considerável e experiência podem ser necessárias para seleção de parâmetros para cada aplicação. Os valo-

res ótimos são afetados pelo tipo de metal de base, pela composição do eletrodo, pela posição de soldagem e pelos requisitos de qualidade. Então, não há uma mudança única nos parâmetros que leve a um resultado ótimo em cada caso.

### 5.1. Corrente de Soldagem

Quando todas as outras variáveis do processo são mantidas constantes, a corrente de soldagem varia com a velocidade de alimentação do arame ou com a taxa de fusão de maneira não linear. A medida que a velocidade de alimentação do eletrodo é variada, a corrente de soldagem vai variar de maneira semelhante se uma fonte de tensão constante for utilizada. Esta relação da corrente de soldagem com a velocidade de alimentação para eletrodos de aço carbono é mostrada na figura 7.

A baixos níveis de correntes para cada diâmetro de eletrodo, a curva é aproximadamente linear. Entretanto, aumentando-se a velocidade de alimentação, a linearidade da curva não é mais observada, aumentando progressivamente as taxas quando a soldagem aumenta. Este efeito é atribuído ao aquecimento da extensão do eletrodos além do tubo de contato.

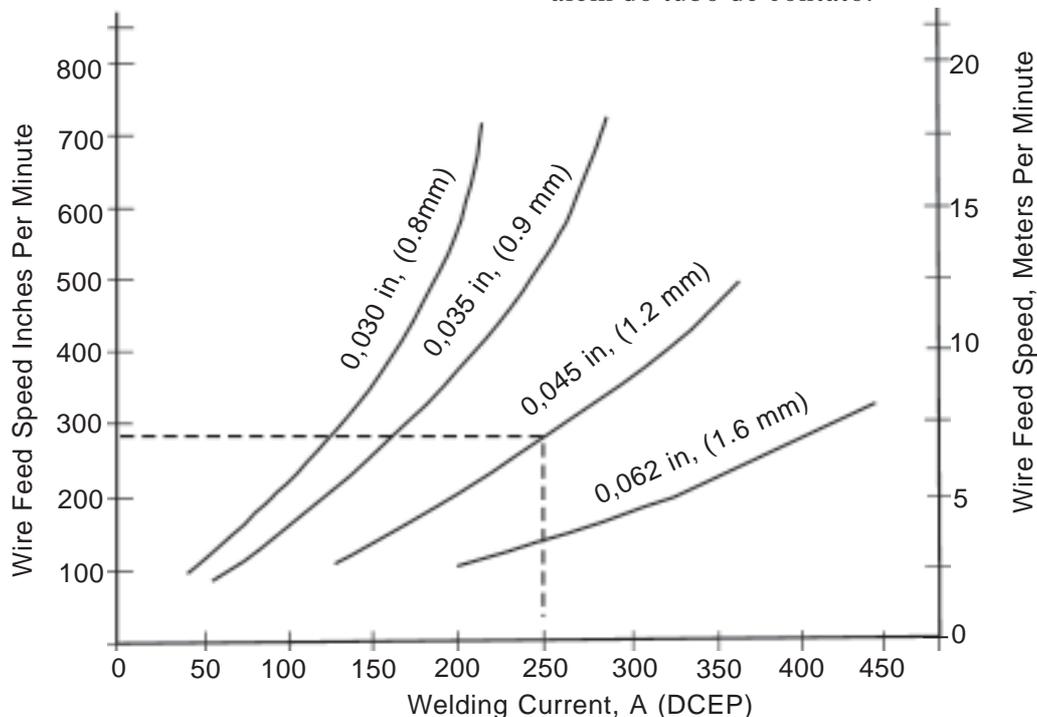


Figura 7 Correntes de soldagem típicas versus alimentação de eletrodos de aço carbono.

Como mostrado na figura 7, quando o diâmetro do eletrodo é aumentado (enquanto mantendo a mesma velocidade de alimentação), uma corrente de soldagem maior é requerida. A relação entre a alimentação do eletrodo e a corrente de soldagem é também afetada pela composição química do eletrodo, principalmente devido às diferenças nas temperaturas de fusão e resistividade elétrica dos metais.

Com todas as outras as variáveis do processo mantidas constante e aumentando-se a corrente, pode-se concluir:

*Há um aumento da penetração e profundidade da solda;*

*Há um aumento da taxa de deposição do metal de adição;*

*Há um aumento do tamanho da gota de solda;*

A soldagem spray pulsada é uma variação do GMAW onde a corrente é pulsada para obter as vantagens de modo spray de transferência metálica com médias de correntes iguais ou menores que as correntes de transição globular para spray.

Desde que a força do arco e taxa de deposição são exponencialmente dependentes da corrente, a operação sobre a corrente de transição freqüentemente torna as forças do arco incontroláveis nas posições vertical e sobrecabeça. Pela redução da média de corrente com pulsação, as forças de arco e taxas de deposição podem ser reduzidas, permitindo soldagem em quase todas as posições e seções finas.

## 5.2. Polaridade

O termo polaridade é usado para descrever a conexão elétrica da tocha de soldagem com relação aos terminais de corrente da saída da fonte de tensão. Quando a tocha é conectada ao terminal positivo da fonte, a polaridade é designada como DCEP (direct current electrode positive) ou polaridade inversa. Caso o terminal negativo seja conectado à tocha, a polaridade é designada como DCEN (direct current electrode negative) ou polaridade direta.

A grande maioria das aplicações utilizando-se GMAW empregam DCEP como polaridade. Esta condição leva a um arco estável, transferência metálica suave, baixa quantidade de respingos, boas características do leito e maior profundidade de penetração para uma vasta gama de correntes de soldagem.

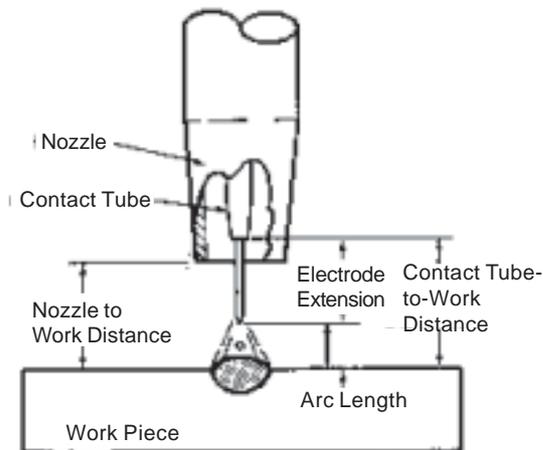
A DCEN é raramente utilizada devido a transferência axial não ser possível sem modificações que não são aceitas comercialmente. DCEN tem uma vantagem de se obter altas taxas de fusão que não podem ser exploradas devido a transferência ser globular. Com aços, a transferência pode ser melhorada com a adição de um mínimo de 5% de oxigênio à proteção de argônio (neste caso ligas são requeridas para compensar a oxidação) ou pelo tratamento do arame para torná-lo iônico (aumento de custo). Em ambos casos, a taxa de deposição cai, eliminando a única vantagem de inversão de polaridade. Entretanto, devido à alta taxa de deposição e reduzida penetração, DCEN tem ainda alguma utilização em operações de revestimento.

Tentativas de se utilizar corrente alternada não foram bem sucedidas. A onda cíclica forma instabilidade no arco devido a tendência do arco em se extinguir quanto a corrente passa através do ponto zero. Arames especiais podem ser desenvolvidos para resolver o problema, porém o custo torna a técnica não econômica.

## 5.3. Tensão no Arco (comprimento do arco)

Tensão no arco (ou tensão de soldagem) e comprimento do arco são utilizadas com o mesmo sentido na soldagem. Deve ser realçado entretanto que eles são diferentes, apesar de estarem relacionados. Com GMAW, o comprimento do arco é a variável crítica que deve ser cuidadosamente controlada. Por exemplo, em modo spray, com proteção de argônio, um arco que é muito curto, experimenta curtos circuitos momentâneos. Eles causam flutuações de pressão que bombeiam o ar dentro do fluxo de soldagem, produzindo porosidade ou fragilização devido a absorção de nitrogênio. Se o arco fosse muito longo, ele tende a vagar, afetando a penetração e o perfil do leito. Um arco longo pode também romper a proteção gasosa.

Comprimento de arco é uma variável independente, mas a tensão no arco depende tanto do comprimento do arco, como de outras variáveis tais como composição e diâmetro do eletrodo, gás de proteção e técnica de soldagem. A voltagem do arco é significativa aproximadamente a posição física (ver ilustração na figura 8) do arco em termos elétricos; entre-



**Figura 8** Terminologia.

tanto, a tensão no arco inclui a queda de tensão devido a extensão do eletrodo além do tubo de contato.

Mantendo-se as variáveis do processo constante, a tensão no arco é diretamente proporcional ao comprimento do arco. Embora o comprimento do arco seja uma variável de interesse, a variável mais facilmente monitorada é a tensão no arco. Devido a isto, o requerimento normal que deve ser especificado nos procedimentos de soldagem é a tensão no arco.

Regulagem de tensão do arco pode depender do material, gás de proteção e modo de transferência. Soldas de tentativa são necessárias para ajustar a tensão do arco para produzir características favoráveis e boa aparência no cordão de solda. Tentativas são essenciais pois a voltagem ótima é dependente de uma grande variedade de fatores, incluindo espessura do material, tipo de junta, posição de soldagem, tamanho do eletrodo, composição do gás de proteção e tipo de solda. Partindo de um valor qualquer para tensão no arco, um aumento na tensão tende a achatá-lo e aumentar a zona de fusão. Tensões excessivamente grandes podem causar porosidade, respingos e trincas. Redução na tensão resulta em um cordão mais estreito com coroa grande e penetração profunda. Tensões excessivamente baixas podem causar toque do eletrodo.

#### 5.4. Velocidade de Soldagem

Velocidade de soldagem é a taxa linear com que o arco é movido ao longo da junta. Mantendo-se todas as variáveis do processo constante, a penetração é máxima para velocidades intermediárias.

Quando a velocidade de soldagem é reduzida, a deposição de metal por unidade de comprimento aumenta. Em velocidades muito baixas o arco de soldagem colide com a poça de fusão mais do que com o metal base, reduzindo assim a penetração efetiva. Uma poça larga também é esperada como resultado.

Quando a velocidade é aumentada, a energia térmica por unidade de comprimento de solda transmitida para o metal base através do arco é, em princípio aumentada, devido ao arco agir diretamente no metal base. Com aumentos sucessivos na velocidade, menor energia por unidade de comprimento de solda é cedida ao metal base. Então, a fusão do metal base primeiramente aumenta e depois diminui com o aumento da velocidade. Com aumentos sucessivos das velocidades, há uma tendência à mordedura nas bordas do cordão devido a deposição insuficiente.

#### 5.5. Comprimento do Eletrodo ou Stickout

O comprimento do eletrodo ou "stick-out" é a distância entre o final do tubo de contato, e o final do eletrodo. O aumento do comprimento do eletrodo resulta no aumento da resistência elétrica, aumentando assim a temperatura do eletrodo e resultando em um pequeno aumento da taxa de fusão do eletrodo. Globalmente o aumento da resistência elétrica produz uma grande queda de tensão, sendo compensado pela fonte de soldagem com uma redução na corrente que reduz imediatamente taxa de fusão do eletrodo, levando assim a um encurtamento do arco. Assim, a menos que haja um aumento na tensão da máquina de soldagem, o metal vai ser depositado como um cordão estreito e altamente restrito.

O stick-out desejável é de 6 a 13mm para transferência por curto-circuito, e de 13 a 25mm para as outras formas de transferência.

#### 5.6. Orientação do Eletrodo

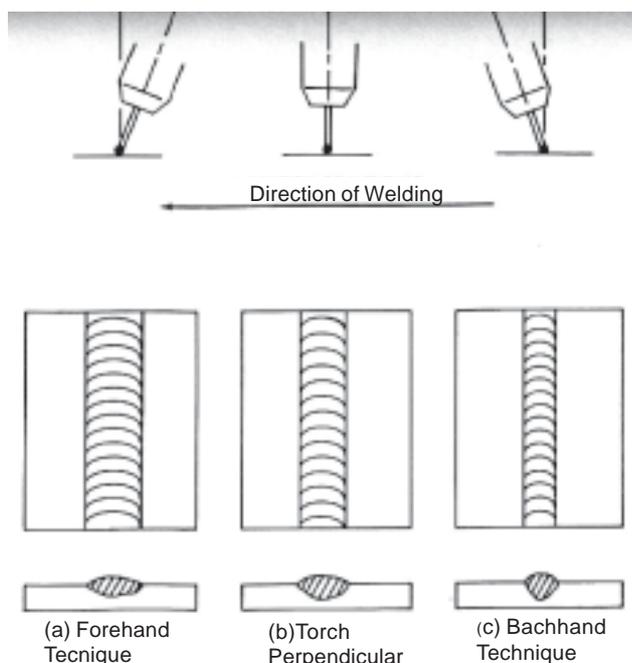
Como em todos processos de soldagem, a orientação do eletrodo afeta a penetração e a forma do cordão de solda. A orientação do eletrodo é descrita de 2 formas:

- Pela relação entre o eixo do eletrodo com respeito a direção de soldagem
- Pelo ângulo entre o eixo do eletrodo e superfície de trabalho de soldagem

A orientação do eletrodo e seu efeito na penetração e na forma do cordão de solda é ilustrado na figura 9 (a), (b), (c).

Quando o eletrodo é mudado da posição perpendicular para uma técnica de ângulo com as outras condições constantes, a penetração diminui e a forma do cordão de solda fica mais largo e achatado. Penetração máxima é obtida na posição inclinada com técnica de soldagem plana para trás com um ângulo de aproximadamente 25° com a perpendicular. Esta técnica produz uma poça mais convexa e estreita devido a um arco mais estável e menos respingo na peça de trabalho. Para todas as posições, o ângulo normal gira em torno de 5 a 15 graus para bom controle da proteção da poça de fusão.

Para alguns materiais como o alumínio, a soldagem à frente é preferível porque provoca a ação de limpeza da poça (cleaning action), reduzindo a oxidação do metal de base. Para soldas de filete, a posição do eletrodo é de 45°, como na figura 10.



**Figura 9** Efeito da posição do eletrodo e da técnica de soldagem.

## 5.7. Posição da Junta a ser Soldada

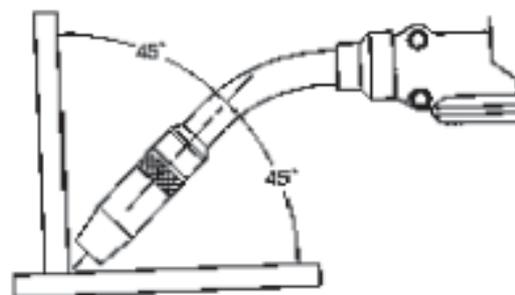
A maioria das operações de soldagem com transferência por SPRAY é utilizada nas soldagens na posição horizontal ou plana. Enquanto com baixos níveis de energia e utilização de pulsos e curto circuito o GMAW pode ser utilizado em todas as posições de soldagem.

Soldagem de filetes feitas na posição horizontal com transferência spray pode ser usualmente mais uniforme, com menor possibilidade de apresentar contornos convexos na solda, e menor tendência a apresentar rebaixamento do filete de solda na posição plana.

Para vencer a força da gravidade em soldagem vertical e sobre cabeça, pequenos diâmetros de eletrodos são utilizados, com transferência por curto circuito ou spray com arco direto pulsado. O baixo aporte de calor permite que o metal fundido resfrie rapidamente. Soldagem descendente é usualmente efetivo em folhas de metal

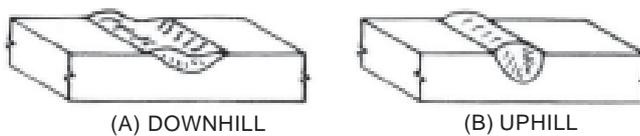
Quando soldando em posição plana, a inclinação da solda com respeito ao plano horizontal vai influenciar a forma do cordão de solda, penetração e velocidade de soldagem.

Posicionando-se juntas lineares com o eixo de soldagem a 15 graus da horizontal e soldando-se descendente, o reforço de soldagem pode diminuir sobre condições de soldagem que produziriam reforço excessivo quando o trabalho é feito em posição plana. Ao mesmo tempo a penetração é menor, que é benefício para soldagem de folhas mais finas.



**Figura 10** Ângulo de trabalho normal para soldagem de filete.

Soldagem descendente afeta a o contorno e penetração, como mostrado na figura 11 (A). A poça de soldagem tende a escorrer na direção do eletrodo e pre-aquecer o metal de base. Isto produz uma forma irregular chamada (secondary wash). A medida que o ângulo de inclinação aumenta, acontece uma depressão na superfície média da solda, a penetração diminui e largura aumenta. Para o alumínio, a técnica descendente não é recomendada devido a perda da ação limpante e proteção inadequada.



**Figura 11** Efeito da inclinação de trabalho na forma do cordão de solda.

Soldagem ascendente afeta o contorno da zona de fusão e a superfície da solda, como ilustrado na figura 11 (B). A força da gravidade causa o escorrimento da poça de fusão sobre o eletrodo. As bordas da solda perdem material que vão para o centro. A medida que o ângulo de inclinação aumenta, o reforço e a penetração aumentam e a largura da poça de fusão diminui. Os efeitos são os opostos aos produzidos na soldagem descendente.

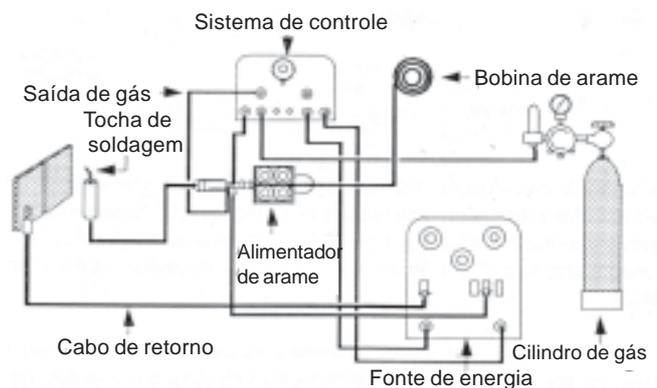
## 5.8. Diâmetro do Eletrodo

O diâmetro do eletrodo influencia a forma do cordão de solda. Quanto maior o diâmetro do arame, maior será a corrente necessária para a sua fusão. Correntes grandes produzem fusão adicional do eletrodo e depósitos maiores e mais fluidos. Altas correntes também originam altas taxas de deposição e grande penetração. Entretanto nas posições vertical e sobre cabeça, menores diâmetros de arame são utilizados com baixas correntes de soldagem.

## 6. Equipamentos

O GMAW pode ser utilizado automaticamente ou semi automática. O equipamento básico para qualquer utilização consiste de:

- Tocha de soldagem (resfriada por ar ou água)
- Unidade de alimentação de eletrodo
- Controle de soldagem
- Fonte de energia
- Fonte regulável de gás protetor
- Fonte de eletrodo
- Cabos e mangueiras de conexão
- Sistema para recirculação de água. A figura 12 ilustra o equipamento necessário para tal operação.



**Figura 12** Instalação para soldagem GMAW mecanizada.

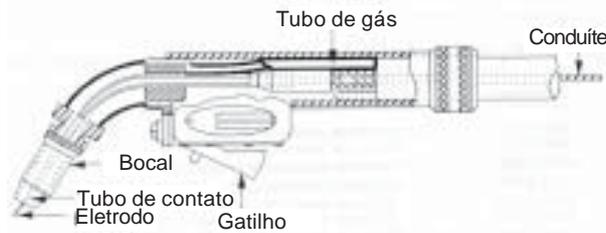
## 6.1. Tochas de Soldagem

Diferentes tipos de tochas de soldagem são projetadas se obter para a máxima eficiência do processo independente do tipo de aplicação, variando de soldas pesadas para altas correntes, soldas para alta produção e soldas leves para baixa corrente e soldagem fora de posição.

Os componentes básicos da tocha são os seguintes:

- Bico de contato
- Bocal de proteção de gás
- Conduíte do eletrodo
- Mangueira de gás
- Mangueira de água
- Cabo de força
- Interruptor de controle

Estes componentes são ilustrados na figura 13.



**Figura 13** Vista de uma tocha de soldagem típica.

O bico de contato é um tubo a base de cobre ou liga de cobre que transfere a corrente e guia o eletrodo em direção a área de trabalho. O tubo de contato é conectado eletricamente à fonte de energia pelo cabo de força. A superfície interna do tubo de contato deve ser suave, permitindo a passagem do arame sem restrições. As tabelas do fabricante especificam a lista dos tamanhos corretos de contato para cada tamanho de eletrodo e material.

O diâmetro interno é ligeiramente superior ao diâmetro do arame (0,13 a 0,25mm), embora diâmetros menores sejam necessários para soldagem com o alumínio. A sua fixação deve ser firme na tocha e centralizada no bocal de saída de gás. A posição do contato em relação ao fim do tubo de gás deve variar dependendo do tipo de transferência. Deve-se inspecionar constantemente o tubo de contato, verificando se o seu orifício não está fora das tolerâncias indicadas pelo manual do fabricante. O uso excessivo ou a obstrução podem resultar em perdas de energia, modificando as características do arco elétrico.

O bocal direciona uma coluna de gás de proteção em direção a poça de soldagem. Um fluxo constante é extremamente importante para assegurar proteção apropriada contra a atmosfera para poça de fusão. Diferentes dimensões de bocal são disponíveis e devem ser escolhidas de acordo com o tipo de operação a ser executada: altas correntes de soldagem requerem bocais mais largos, enquanto baixas correntes e transferência por curto-circuito requerem bocais mais estreitos.

O conduíte suporta, protege e direciona o eletrodo dos roletes até a tocha de soldagem e tubo de contato. Alimentação ininterrupta é necessária para assegurar uma boa estabilidade do arco.

Cuidados especiais devem ser tomados com o arame. O arame não deve dobrar ou torcer quando introduzido na tocha. No contato do arame com os roletes de contato do carro de alimentação, existe

uma tendência de esmagamento do arame, o que se deve evitar. Os tubos de contato devem ser os recomendados pelo fabricante, evitando o enrugamento do arame (cada arame possui uma tolerância quanto ao diâmetro do orifício do tubo de contato).

O gatilho de acionamento do processo aciona um contactor que está ligado ao primário do transformador da fonte de soldagem, energizando o circuito de soldagem, além de acionar o alimentador de arame, e a uma válvula solenóide que comanda o fluxo de gás protetor para a tocha. As tochas para soldagem GMAW podem ser refrigeradas a água ou pelo próprio gás de proteção, dependendo de sua capacidade e do fator de trabalho. Quanto ao formato, elas podem ser retas ou curvas, possibilitando melhor manobrabilidade do soldador.

## 6.2. Alimentador de Arame

O alimentador de arame normalmente utilizado é acionado por um motor de corrente contínua. Alimentadores de arame normalmente são utilizados em combinação com uma fonte de tensão constante. Eles podem ser utilizados com uma fonte de corrente constante se adaptações forem feitas.

Quando uma fonte de corrente constante é utilizada, um sensor de tensão automático é necessário. Este controle detecta mudanças na tensão do arco e ajusta a velocidade da alimentação de arame de modo a manter constante a tensão do arco. Esta combinação de velocidade variável de alimentação e fonte de tensão constante permite diâmetros de arames mais grossos, onde as velocidades de alimentação são menores. Em altas velocidades de alimentação, a dificuldade de se manter o arco estável é maior.

O motor de alimentação é conectado a um sistema de roletes que transmitem força ao eletrodo, puxando-o da fonte de arame e empurrando em direção a tocha de soldagem. Pode-se utilizar várias combinações de roletes para garantir que o arame não enrugue ou dobre após o seu deslocamento

## 6.3. Controle de Soldagem

A função principal do controle de soldagem é regular a velocidade de alimentação do arame. Com o aumento da velocidade do arame, o operador aumenta

a corrente de soldagem. A redução da velocidade de alimentação resulta em uma redução nos valores de corrente. O processo também regula o início e fim da alimentação do eletrodo através de gatilho na tocha.

Existem também disponíveis controles de alimentação que permitem o uso de "touch start", onde a alimentação começa quando o eletrodo toca a peça, ou "slow run in", onde a alimentação é reduzida até que o arco seja iniciado e então aumentada para os valores necessários a soldagem. Estes dois melhoramentos são empregados inicialmente em conjunto com fontes de correntes constantes, e são particularmente úteis para soldagem de alumínio.

Normalmente, o gás de proteção, água de resfriamento e energia de soldagem são também levadas a tocha através do controle, requerendo conexão direta do controle com estes recursos. O fluxo de água e gás são regulados de modo a coincidir com o começo da soldagem. O controle pode sequenciar o começo e interrupção do fluxo de gás, energizar o contactor, permitir que o fluxo de gás seja iniciado antes do começo da soldagem e que se interrompa após o término da soldagem do modo a proteger a poça fundida.

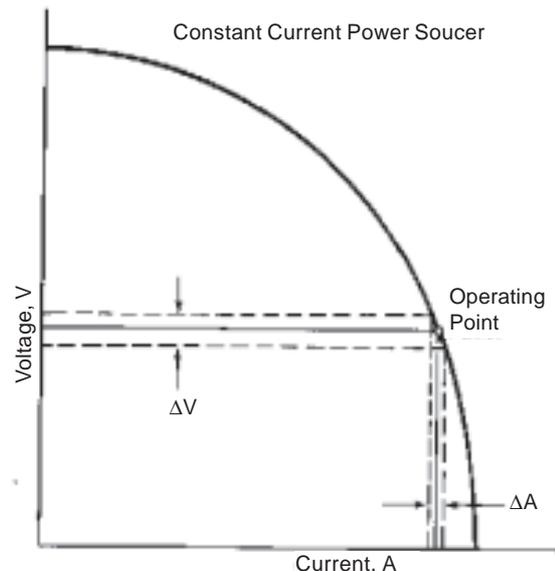
## 6.4. Fontes de Energia

As fontes de soldagem fornecem energia elétrica para o eletrodo e para a peça de trabalho de forma a produzir o arco elétrico. Para a maioria das aplicações usando a soldagem GMAW, utilizam-se fontes de corrente constante com eletrodo positivo (DCEP), então, o polo positivo é conectado a tocha e o negativo a peça de trabalho. A constituição interna destas fontes são, geralmente, do tipo transformador-retificador, ou geradores (pouco usuais). Os transformadores-retificadores são preferíveis em oficinas pois trabalham com fonte entre 230V ou 460V. Este tipo responde mais rápido que os geradores quando as condições do arco mudam. Os geradores são utilizados normalmente quando não existe fonte de energia disponível.

Ambos os tipos de fonte de energia são designados para fornecer corrente constante ou tensão constante.

As fontes de corrente constante mantêm um nível relativamente fixo de corrente durante a soldagem

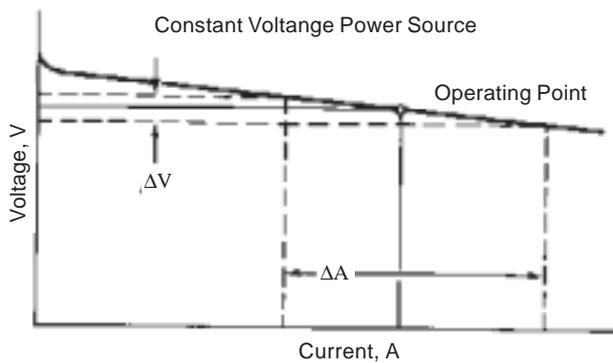
indiferentemente da variação no comprimento do arco, como ilustrado na figura 14. Estas máquinas são caracterizadas por alta tensão em aberto e são limitadas a níveis de corrente por curto circuito. Como elas fornecem uma saída em corrente constante, o arco vai ser mantido com comprimento fixo somente se a distancia do tubo de contato a peça permanecer fixa com uma alimentação constante de arame.



**Figura 14** Curva Tensão corrente para fonte de corrente constante (cc).

Na prática, como a distância vai variar, o arco vai tender então a queimar em direção ao contato ou mergulhar na poça. Isto é evitado então com o uso de uma alimentação controlada pela tensão. Quando a tensão (comprimento do arco) aumenta ou diminui, o motor de alimentação acelera ou reduz a velocidade de modo a fazer com que o comprimento do arco permaneça constante. Este tipo de fonte é geralmente utilizada com transferência spray, pois a duração limitada do arco com a transferência em curto-circuito torna o controle da voltagem impraticável neste caso.

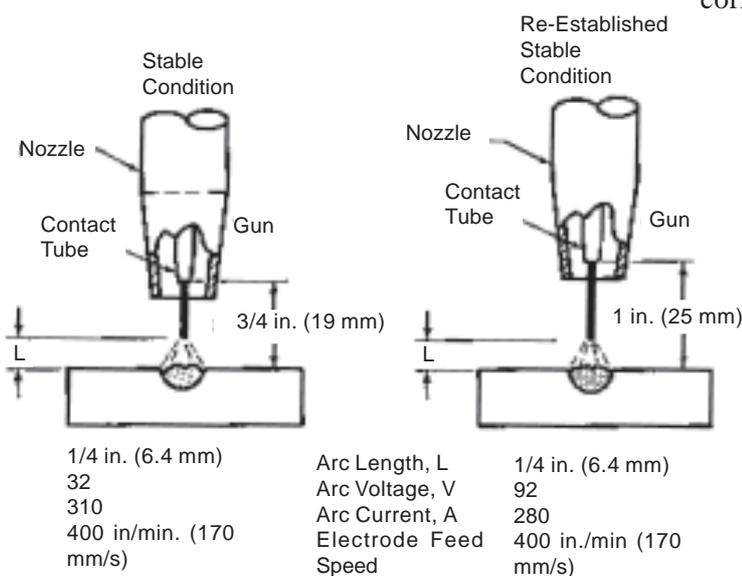
As fontes do tipo tensão constante são utilizadas em conjunto com uma alimentação constante de arame e mantêm uma tensão aproximadamente constante durante a soldagem. A curva volt ampere característica é mostrada na figura 15. Estas fontes compensam variações da distância entre o contato e peça de trabalho, que ocorrem normalmente durante a soldagem, pelo aumento ou redução instantânea da corrente de soldagem.



**Figura 15** Curva tensão corrente para fontes de tensão constante.

O mecanismo de auto correção é ilustrado pela figura 16. Se a distância entre a ponta do eletrodo a peça aumentar, a tensão e o comprimento do arco também tendem a aumentar. Entretanto, a corrente diminui com o menor aumento na tensão, deste modo o stick-out tende a voltar ao valor original com a redução no consumo do eletrodo. Reciprocamente, se a distância é diminuída, a baixa tensão vai ser acompanhada em um aumento na corrente que compensa a diminuição do stick-out através do aumento na taxa de fusão.

As características de auto correção das fontes de tensão constantes são importantes para produção de condições estáveis de soldagem, mas existem algumas variáveis que contribuem para performance ótima de soldagem, particularmente para transferência em curto-circuito.



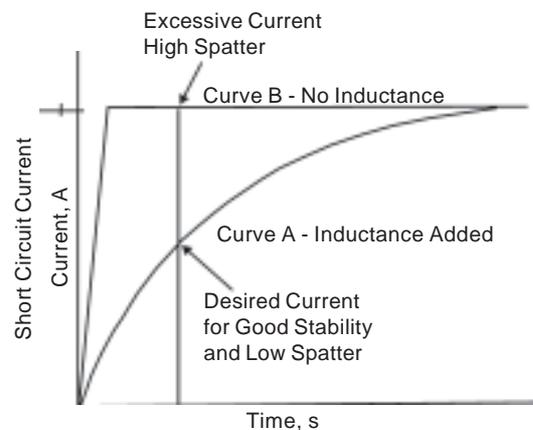
**Figura 16** Regulagem automática do tamanho do arco em GMAW.

Uma importante variável das fontes de soldagem é a indutância. Quando o eletrodo toca a peça a corrente aumenta rapidamente até um alto nível. A característica do circuito que afeta a taxa em que a corrente sobe é a indutância. O efeito da indutância é ilustrado na figura 17. A curva (A) ilustra a curva de corrente imediatamente após o curto circuito quando este tem um certo valor de indutância. A curva (B) ilustra o caminho se o circuito não tivesse nenhuma indutância.

O efeito Pinch (ver figura 18) é determinado pelo nível final de corrente de curto circuito. Como a indutância controla a taxa de crescimento da corrente, sem indutância o efeito pinch vai ser aplicado rapidamente fazendo com que a gota caia violentamente do eletrodo causando respingos excessivos. Alta indutância resulta na diminuição dos curtos circuitos por segundo e no aumento dos tempos de arco ligado. Na transferência Spray a variação da indutância não vai influenciar as condições de soldagem.

A inclinação da curva estática é outra característica importante da fonte de soldagem. A inclinação é definida pelo fabricante ou pode ser determinada pelo usuário através de métodos simples.

A maior função desta variável na transferência curto circuito é que ela controla a magnitude da corrente de curto circuito, que é a amperagem que resulta quando o eletrodo toca a peça. Como a separação das gotas se dá pelo efeito pinch, a qualidade de corrente no curto circuito durante a transferência



**Figura 17** Mudanças na taxa de aumento da corrente devido a indutância.

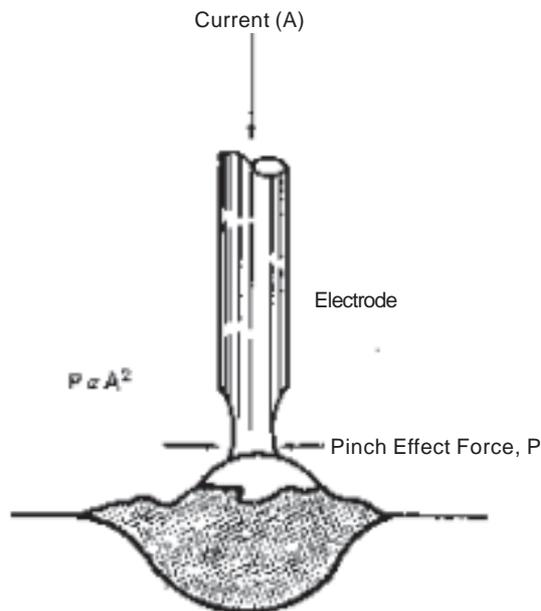


Figura 18 Efeito pinch.

determina o modo com que as gotas se destacam. Quando esta inclinação é pequena na fonte de energia, a corrente de curto circuito vai crescer rapidamente até um nível alto. O efeito pinch vai ser alto e as gotas fundidas vão separar violentamente do arame criando respingos excessivos assim como por efeito da baixa indutância.

Se a corrente de curto circuito disponível é limitada devido a uma curva íngreme, o efeito pinch vai ser baixo para separar a gota e estabelecer o arco. Por este motivo, muitas máquinas são equipadas com ajustes de inclinação.

## 6.5. Regulador do Gás de Proteção

Um sistema é requerido para fornecer fluxo constante de gás de proteção. A fonte de gás consiste normalmente de um cilindro de gás ou mistura de gases a ser usada na proteção do cordão de solda, ajustadas por reguladores de pressão e/ou vazão. Em oficinas com um número grande de equipamentos, instalações centralizadas para armazenamento e distribuição de gases podem ser úteis.

## 6.6. Fontes de Arame

O processo GMAW utiliza uma alimentação contínua de arame como eletrodo, consumido a altas velocidades. Por isso, a fonte de arame deve, deste modo, suprir um grande volume de fio para que a alta eficiência do processo seja garantida. Normalmente, os arames são fornecidos em bobinas ou rolos de pesos entre 0,45 a 27Kg de fio. Algumas indústrias podem utilizar tambores ou carretéis de pesos entre 340 a 450Kg, ou bobinas menores (colocadas nas tochas) de baixo peso (0,45 a 0,9Kg). Aplicações especiais ou de utilização militar podem requerer embalagens especiais. Normalmente, necessidades especiais podem ser acordadas entre o fornecedor e o usuário.

## 6.7. Consumíveis

Os principais tipos de consumíveis utilizados na soldagem GMAW são o arame e o gás de proteção. A composição química do eletrodo, do metal de base e do gás de proteção é que determinarão a composição química do cordão de solda. A composição química do metal de solda determina grandemente as propriedades mecânicas e químicas da solda feita. Os fatores que influenciam a escolha do tipo de eletrodo e do gás de proteção são:

- Metal Base
- Propriedades mecânicas requeridas pelo cordão de solda
- Condição e pureza do metal base
- Tipo de serviço e aplicações específicas requeridas
- Posição de soldagem
- Modo pretendido de transferência do metal.

## 6.8. Eletrodos

Geralmente, para união, as composições dos eletrodos são similares às encontradas no metal de base. A composição do metal de enchimento pode ser alterada suavemente de modo a compensar perdas que possam ocorrer devido ao arco de soldagem ou para levar à desoxidação do metal de solda. Em

alguns casos isto envolve algumas modificações na composição do metal de base. Em certas aplicações, entretanto, a obtenção de características de soldagem satisfatórias e de certas propriedades do metal de solda requer um eletrodo com composição química diferente do metal base. Devido a isto, ligas para o eletrodo são designadas para produzir as propriedades do metal desejadas com as características operacionais aceitáveis.

Mesmo que outras modificações na composição do eletrodo sejam feitas, desoxidantes e limpantes são geralmente adicionados. Isto é feito para reduzir a incidência de porosidade e assegurar a qualidade mecânica da solda. Os desoxidantes mais utilizados são sílica, manganês e alumínio. Titânio e sílica são os principais desoxidantes usados nos arames de liga de níquel. Arames de ligas de cobre podem utilizar titânio, sílica e fósforo como elementos desoxidantes

Os diâmetros mais comuns dos arames variam entre 0,9 a 1,6mm. Arames mais finos (0,5mm) ou mais grossos (3,2mm) podem ser utilizados. Entretanto, as altas velocidades de alimentação requeridas por arames finos podem inviabilizar o processo.

Quaisquer compostos utilizados na superfície do eletrodo ou do metal de base, tais como lubrificantes, podem afetar a qualidade da solda e portanto não devem ser utilizados. Conseqüentemente os eletrodos devem ser manufaturados com alta qualidade superficial de modo a permitir sua passagem pelo contato elétrico e prevenir o acúmulo de contaminantes.

Os arames para soldagem GMAW são cobertos por várias especificações da AWS. Outras normas também definem especificações especiais. As normas definem requerimentos para tamanho, embalagem, composição química e algumas vezes propriedades mecânicas. As especificações dos eletrodos para soldagem GMAW são listadas na tabela 2.

## 7. Gases de Proteção

### 7.1. Geral

A principal função dos gases de proteção é eliminar o contato do ar atmosférico com o metal fundido. Isto é necessário devido a forte tendência dos metais, quando aquecidos até o seu ponto de fusão, de formarem óxidos e, em menor extensão, nitretos, resultando em soldas deficientes, com retenção de escória, porosidade e conseqüente fragilização no cordão de solda. Logo, precauções devem ser tomadas no sentido de excluir o oxigênio e o nitrogênio do ar atmosférico das proximidades da poça de fusão.

Em adição ao fornecimento de atmosfera de proteção, o gás e o fluxo de gás produzem efeitos importantes nas seguintes variáveis:

- Características do arco
- Modo de transferência
- Penetração e forma do cordão de solda
- Velocidade de soldagem

**Tabela 2** Especificações para eletrodos para soldagem GMAW.

Tipo de Metal Base	Especificação
Aço carbono	A5.18
Aços de baixa liga	A5.28
Ligas de alumínio	A5.10
Ligas de cobre	A5.7
Magnésio	A5.19
Ligas de níquel	A5.14
Aço inoxidável	A5.9
Titânio	A5.16

- Tendência ao trincamento
- Ação de limpeza.
- Propriedades mecânicas do metal de solda.

Os principais gases utilizados são mostrados na tabela 3, sendo a maioria mistura de gases inertes que podem conter CO<sub>2</sub>. A tabela 4 lista os gases utilizados para transferência curto circuito.

## 7.2. Gases de Proteção Inertes

Argônio e hélio são gases inertes. Estes gases puros ou misturas destes gases são utilizados na soldagem de materiais não ferrosos, inoxidáveis, aços carbono e aços baixa liga. As principais diferenças entre o argônio e o hélio são a densidade, a condutividade térmica e o potencial de ionização.

O argônio é aproximadamente 1.4 vezes mais denso que o ar, enquanto a densidade do hélio é aproximadamente 0.14 vezes a do ar. O argônio, mais pesado, é mais efetivo na proteção do arco e cobrimento da área de soldagem na posição plana. O Hélio requer aproximadamente 2 ou 3 vezes maiores vazões que o argônio para fornecer proteção igual.

O hélio tem maior condutividade térmica que o argônio e produz um plasma que a energia é mais uniformemente distribuída. O plasma do argônio,

por outro lado, é caracterizado como tendo uma alta energia no centro e uma baixa energia nas regiões de fora. Essa diferença afeta a forma do cordão de solda. Um arco de solda protegido por hélio produz um cordão de solda profundo, parabólico e largo. Um arco protegido por argônio produz um cordão de solda caracterizado por penetração tipo dedo.

O hélio tem um potencial de ionização maior que o argônio, e conseqüentemente, uma tensão mais alta quando outras variáveis são mantidas constantes. O hélio pode apresentar problemas na iniciação do arco. Arcos protegidos somente com hélio não formam transferência spray em nenhum modo de corrente. Os arcos protegidos com hélio produzem maiores quantidades de respingos e tem acabamento mais áspero do que arcos protegidos com o argônio.

Na transferência por curto circuito, misturas de argônio com 60 a 90% de hélio são utilizadas para obter altos aportes de calor no metal base para melhores características de fusão. Misturas de argônio com 50 a 75% de hélio aumentam a tensão do arco em relação ao argônio puro. Estes gases são utilizados para soldagem de alumínio, magnésio, e cobre devido ao seu alto aporte de calor que acaba por reduzir o efeito de altas condutividades térmicas.

**Tabela 3** Principais gases utilizados na soldagem.

Gás ou Mistura	Comportamento Químico	Aplicações
Argônio	Inerte	Quase todos os metais, exceto o aço
Hélio	Inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas. Alta penetração.
Ar + He (20-50%)	Inerte	Ídem He, mas melhor que 100% He
Nitrogênio		Cobre (maior energia de soldagem)
Ar + N <sub>2</sub> (20-30%)		Ídem N <sub>2</sub> , mas melhor que 100% de N <sub>2</sub> .
Ar + O <sub>2</sub> (1-2%)	Liga oxidante	Aços inoxidáveis e algumas ligas de Cu
Ar + O <sub>2</sub> (3-5%)	Oxidante	Aços carbono e alguns aços de baixa liga
CO <sub>2</sub>	Oxidante	Aços carbono e alguns de baixa liga
Ar + CO <sub>2</sub> (20-50%)	Oxidante	Vários aços. Transferência por curto-circuito
Ar + CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	Oxidante	Vários aços

**Tabela 4** Gases utilizados para transferência globular.

<b>Metal</b>	<b>Gás de Proteção</b>	<b>Espessura</b>	<b>Transferência</b>	<b>Vantagens</b>
Aço carbono	95% Ar + 3,5% O <sub>2</sub>	-	SPRAY	Mais fluídica e controlada poça de fusão
	90% Ar + 8-10% CO <sub>2</sub>	-	SPRAY	Altas velocidades e baixo custo
	75% Ar + 25% CO <sub>2</sub>	até 3,2 mm	Curto-Circuito	Mínima distorção e respingos
	75% Ar + 25% CO <sub>2</sub>	mais 3,2 mm	Curto-Circuito	Adiciona-se a facilidade de soldas nas posições vertical e sobre-cabeça
	Ar + 5-10% CO <sub>2</sub>	-	Curto-Circuito	Altas penetrações com rápidas velocidades
Aço baixa liga	98% Ar + 2% O <sub>2</sub>	-	SPRAY	Baixa mordedura e boa resistência
	60% He + 25% Ar + 4,5% CO	-	Curto-Circuito	Excelentes resistência, estabilidade do arco, características de solda
	75% Ar + 25% CO <sub>2</sub>	-	Curto-Circuito	Satisfatórias resistência e características da solda
Aço inoxidável	99% Ar + 1% O <sub>2</sub>	-	SPRAY	Mais fluídica e controlada poça de fusão
	98% Ar + 2% O <sub>2</sub>	-	SPRAY	Melhora a estabilidade do arco e a velocidade de soldagem
	90% He + 7,5% Ar + 2,5% CO	-	Curto-Circuito	Mínima distorção, sem mordedura e corrosão por resistência
Alumínio	100% Ar	até 25 mm	SPRAY	Melhor transferência do metal
	35% Ar + 65% He	25 a 76 mm	SPRAY	Maior calor no arco
	25% Ar + 75% He	mais 76 mm	SPRAY	Melhor calor no arco, mínima porosidade
	Ar + He	mais 3,2 mm	Curto-Circuito	Argônio e hélio são preferíveis pelo metal base

Proteções com argônio puro podem ser utilizadas em muitas aplicações para soldagem de materiais não ferrosos. O uso de hélio puro geralmente é restrito a áreas mais especializadas, devido a sua limitada instabilidade. Entretanto, as características desejáveis encontradas com o hélio (profundidade, largura e formato) podem ser aproveitadas utilizando-se uma mistura de gases de proteção. O resultado é mostrado na figura 19 que representa um aperfeiçoamento na forma da poça.

### 7.3. Adições de Oxigênio e CO<sub>2</sub> ao Argônio e Hélio

A proteção do arco por argônio puro causa um arco irregular e uma tendência à trinca de raiz. Adições de pequenas porcentagens de oxigênio ou CO<sub>2</sub> produzem notável melhora na estabilidade do arco e produzem soldas livres de trincas de raiz.

A quantidade ótima de oxigênio ou CO<sub>2</sub> a ser acionada depende da condição da superfície, geometria

da junta, posição ou técnica de soldagem e da composição do metal base.

Adições de dióxido de carbono ao argônio podem melhorar a aparência do cordão de solda (ver figura 20). Adicionando-se de 1 a 95 de oxigênio ao gás melhora-se a fluidez da poça de fusão, penetração e estabilidade do arco. Oxigênio também diminui a corrente de transição. A tendência a trinca de raiz é reduzida, apesar de considerável oxidação da solda ocorrer, com notável perda de sílica e manganês.

Misturas de Argônio com dióxido de carbono são utilizadas em aços carbono e baixa liga e em menor extensão em aços inoxidáveis. Adições de dióxido de carbono acima de 25% aumentam a corrente de transição, aumentam perda de respingos, aumentam a penetração e diminuem a estabilidade do arco. Misturas de Argônio/CO<sub>2</sub> são primariamente utilizadas em aplicações com transferência de curto circuito, mas também são utilizadas com spray e arco pulsado.

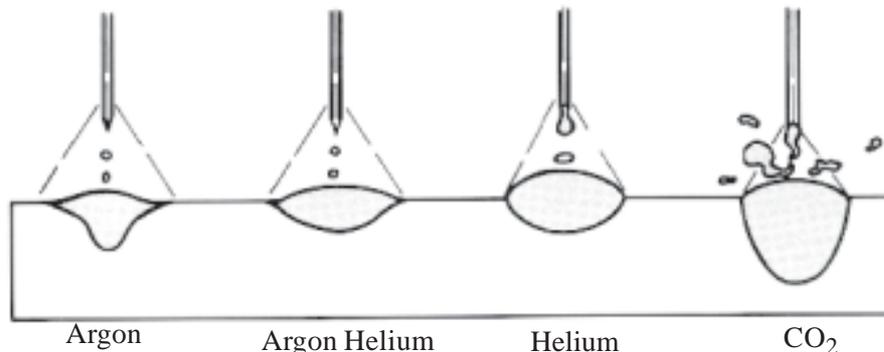


Figura 19 Contorno e penetração da solda para diversos gases de proteção.

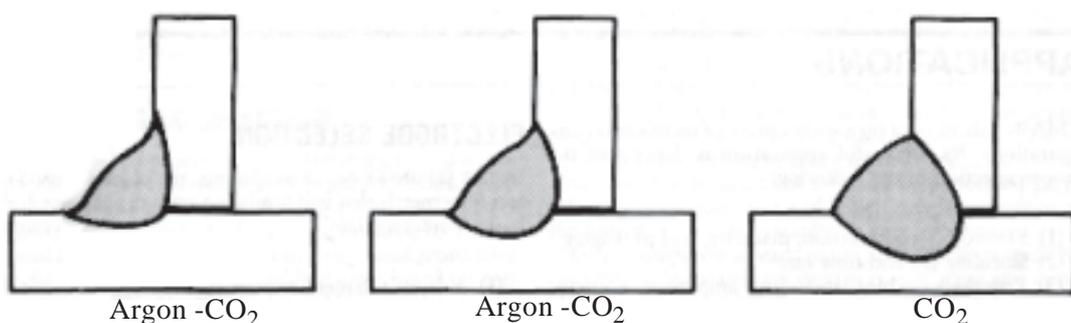


Figura 20 Efeito da adição de oxigênio versus dióxido de carbono à proteção de argônio.

## 7.4. Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono é um gás reativo grandemente utilizado na sua forma pura para soldagem em aços carbono e baixa liga. É o único gás reativo utilizado sozinho para proteção de soldas GMAW. Altas velocidades de soldagem, grandes penetrações e baixo custo são características gerais que tem encorajado o uso do CO<sub>2</sub>.

A transferência pode ser por curto circuito ou globular. Com transferência globular, o arco é rude com alto nível de respingo, o que exige utilização de práticas de soldagem para minimizar estes fatores.

Em comparação com proteções ricas em argônio, a proteção com CO<sub>2</sub> produz um cordão com excelente penetração, com superfície áspera e menor "lavagem" nos contornos do cordão devido ao arco restrito.

## 7.5. Seleção de Variáveis

A seleção do melhor gás de proteção é baseada nas considerações sobre o material a ser soldado e o tipo de transferência a ser utilizada.

A seleção dos parâmetros do processo (amperagem, voltagem, velocidade de deslocamento, fluxo de gás, extensão do eletrodo, etc.) requer algumas tentativas para determinar um conjunto de condições aceitáveis. Isto se torna mais difícil devido à interdependência de muita das variáveis.

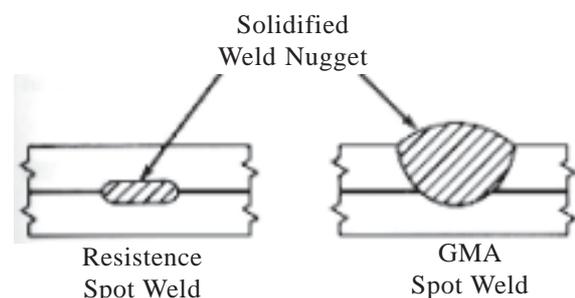
Quando selecionando um equipamento, o comprador deve considerar os requisitos da aplicação, faixa de saída de potência, características estáticas e dinâmicas e velocidades de alimentação do arame. Quando um novo equipamento está para ser comprado, algumas considerações devem ser feitas quanto à versatilidade do equipamento e a padronização. Por exemplo, se uma quantidade variada de trabalhos vai ser feita, a versatilidade é importante na escolha do equipamento.

## 8. Aplicações Especiais

### 8.1. Solda por Pontos

A utilização do equipamento GMAW para se fazer pontos é uma variação do processo GMAW, onde as peças de pequenas espessuras (aproximadamente 5mm) são fundidas juntas, aproveitando a penetração do cordão de solda. Um cordão de solda é sobreposto às duas peças colocadas juntas, passando através do fundo do chanfro da primeira peça, penetrando em seguida na superfície da segunda, esta sem chanfro. Nenhum preparo das superfícies é exigido. Para peças mais espessas, pode-se fazer um chanfro na peça superior que será recoberta com metal de adição logo a seguir. A comparação entre esse processo e a solda por ponto utilizando-se resistência elétrica é observado na figura 21.

A solda por resistência utiliza o calor (por efeito joule entre peças) e a pressão entre as peças para gerar uma poça de fusão que ao solidificar, une as mesmas. A solda por pontos utilizando-se o processo GMAW gera um arco elétrico que cria uma poça de fusão na peça superior, sendo a parte inferior da poça responsável pela união das peças (o calor da poça de fusão fundirá a peça de baixo). Sua principal vantagem é o acesso por apenas um lado.



**Figura 21** Comparação de soldagem por pontos GMAW e por resistência.

As variáveis do processo devem ser modificadas de maneira a permitir um reforço no contorno da solda e uma alimentação adequada ao processo. Modificando-se as variáveis pode-se soldar a mesma diversidade de materiais do processo GMAW. Uma consideração importante do processo é a possibilidade de se unirem peças de espessuras diferentes, desde que se coloque a peça de maior espessura em cima da de menor espessura.

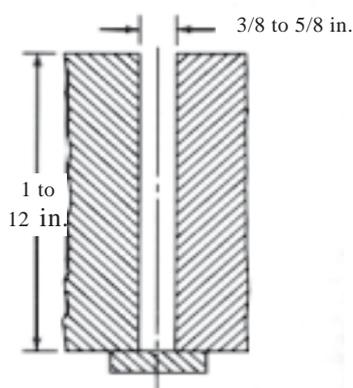
## 8.2. Soldagem em Chanfros Estreitos

Existem várias técnicas, utilizando-se os vários processos de soldagem, para se soldar em chanfros estreitos (ver figura 22) com máxima eficiência e mínima distorção.

Para utilização do processo GMAW na soldagem de chanfros estreitos, especial precaução deve ser assegurada com a tocha, com o posicionamento do eletrodo e com as propriedades alteradas do cordão de solda (por causa da fusão das paredes). Ainda, devemos acrescentar que as variáveis do processo devem ser ajustadas de maneira a permitir um cordão de solda com as propriedades mecânicas desejáveis. Alguns exemplos podem ser vistos na figura 23 e nos parágrafos abaixo.

No processo "A" (figura 23), dois arames com distância controlada e com dois tubos de contato são colocados em linha (tandem arc). Os arcos são direcionados para a parede das peças produzindo uma série de soldas sobrepostas por filete.

No processo "B" (figura 23), o mesmo efeito do item anterior é conseguido através da oscilação do arame entre peças. Essa oscilação pode ser conseguida



**Figura 22** Configuração típica da junta para soldagem de chanfros estreitos.

movimentando o tubo de contato, entretanto, pelas dimensões do chanfro e do tubo de contato (em relação às distâncias das paredes das peças), essa técnica não é prática e raramente empregada.

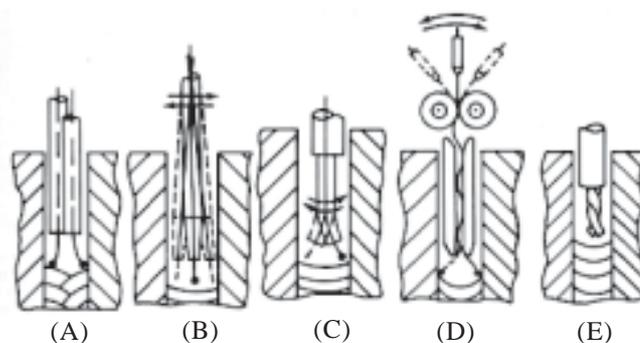
No processo "C" (figura 23), o tubo de contato é inclinado de 15°. Ao se girar para esquerda e direita a tocha, consegue-se unir as peças.

O processo "D" (figura 23) é o mais sofisticado. Durante a alimentação do arame, esse passa por roletes sendo deformado plasticamente, de maneira a gerar ondas. A sua passagem no tubo de contato não chega a alinhá-lo, recuperando sua forma ondulada após a passagem. A oscilação do arco será conseguida devida à não linearidade do arame, permitindo assim a soldagem das peças.

Finalmente, no processo "E" (figura 23) é apresentada a técnica do arame retorcido. O arame é entrelaçado e quando alimentado dentro do chanfro, abre o arco com as paredes das peças. Pelo fato do arame ser entrelaçado, o arco descreve um movimento rotacional, aumentando a penetração. Por outro lado é requerida a adequação do equipamento ao processo.

## 9. Inspeção e Qualidade da Solda

Os procedimentos de qualidade para juntas feitas em GMAW são similares à aquelas utilizadas nos outros processos. Dependendo das especificações, procedimentos de inspeção devem ser fornecidos para determinar a adequação de soldadores e soldagem, qualificação de procedimentos satisfatórios de soldagem e realização de completo exame dos produtos finais.



**Figura 23** Técnicas mais utilizadas para soldagem em chanfro estreito.

A Inspeção da solda resume-se a ensaios não-destrutivos tais como visual, líquido penetrante, partículas magnéticas, radiografia ou ultra-som. Ensaios destrutivos (tensão, fadiga, cisalhamento, impacto, dobramento, fratura, corte transversal ou dureza) são empregados no desenvolvimento da engenharia e no procedimento de soldagem, nos testes de qualificação da solda e do soldador. Os problemas potenciais em soldas GMAW podem ser descritos como sendo:

### 9.1. Fragilização por Hidrogênio

Embora seja dada uma grande atenção aos problemas causados pela fragilização por hidrogênio, a possibilidade deste problema acontecer com GMAW é pequeno, uma vez que nenhum fluxo higroscópico ou revestimento é utilizado. Entretanto, outras fontes de hidrogênio devem ser consideradas. Por exemplo, o gás de proteção deve conter umidade suficientemente baixa. Ela deve ser bem controlada pelo fornecedor de gás. Óleo, graxa e componentes lubrificantes do eletrodo ou do metal base se tornam fontes potenciais de hidrogênio no metal de solda. Produtores de eletrodo estão atentos para limpeza e normalmente tomam cuidados especiais para fornecer um eletrodo limpo. Contaminantes podem ser também introduzidos pela manipulação do eletrodo pelo usuário. Usuários estão atentos a estas possibilidades tomam medidas para evitar sérios problemas, particularmente em soldagem de aços de alta dureza.

### 9.2. Contaminação por Oxigênio e Nitrogênio

Oxigênio e nitrogênio são problemas que devem ser mais considerados que o hidrogênio nos processos GMAW. Se os gases de proteção não forem completamente inertes ou não protegerem adequadamente a poça de fusão, esses elementos podem ser absorvidos da atmosfera durante a execução da solda. Por outro lado, tanto óxidos quanto nitretos podem também reduzir os problemas de entalhe no cordão de solda. Metal de solda é depositado por GMAW não é tão forte quanto o metal depositado por GTAW. Deve ser ainda mencionado aqui entretanto

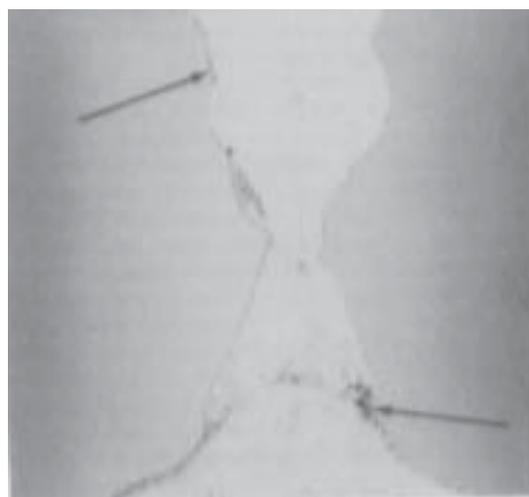
que uma porcentagem de oxigênio de até 5% ou mais pode ser adicionada ao gás sem efeitos adversos para a solda.

### 9.3. Limpeza

A limpeza do metal base na soldagem GMAW é mais crítica quando comparada aos processos SMAW e SAW. Os compostos presentes no fluxo e no revestimento possuem a capacidade de limpeza e desoxidação do metal fundido, não ocorrendo o mesmo no processo GMAW. Isto torna necessário cuidado especial antes da soldagem e entre-passes. Isto é particularmente verdadeiro para alumínio, onde procedimentos elaborados para limpeza química e remoção mecânica de óxidos metálicos são aplicados.

### 9.4. Fusão Incompleta

Aporte de calor reduzido, comum à transferência por curto circuito resultam em baixa penetração através do metal base. Este procedimento é desejável em materiais finos ou em soldagem fora de posição. Entretanto, a utilização imprópria da técnica pode resultar em fusão incompleta, especialmente em áreas de raiz ou ao longo das faces. A figura 24 ilustra este acontecimento.



**Figura 24** Fusão incompleta devido a preparação estreita do entalhe.

Possíveis Causas	Fusão Incompleta	Ações Corretivas
Superfície da zona de soldagem com óxidos		Limpeza de quaisquer impurezas de todas as faces e superfícies onde a solda vai ser feita.
Aporte térmico insuficiente		Aumento da velocidade de alimentação de arame e da tensão do arco
Poça de soldagem muito grande		Redução da extensão do arco Minimizar costura excessiva para produzir uma poça de tamanho controlável Aumentar a velocidade de soldagem
Técnica imprópria de soldagem		Quando utilizando costura, permaneça momentaneamente nas paredes do entalhe Providenciar melhor acesso a raiz da junta Mantenha o eletrodo na extremidade principal da poça.
Projeto de junta impróprio (Figura X)		Utilizar ângulo do entalhe maior o suficiente de modo a permitir o acesso ao fundo da abertura.
Velocidade de soldagem excessiva		Reduzir a velocidade de soldagem

## 9.5. Descontinuidades da Solda

Algumas das descontinuidades mais comuns no processo GMAW são listadas nos parágrafos seguintes:

### 9.5.1 Mordedura

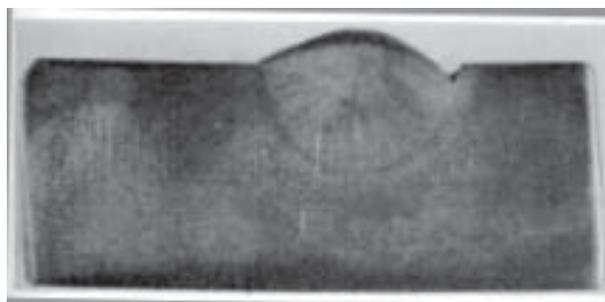


Figura 25 Mordedura no pé da solda

Possíveis Causas	Mordedura	Ações Corretivas
Velocidade excessiva		Utilização de menores velocidades
Tensão alta		Redução da soldagem
Corrente de soldagem alta		Redução da velocidade de alimentação do arame
Pulsagem insuficiente	—	
Ângulo da tocha		Mudança no ângulo da tocha de modo que a força do arco possa ajudar na adição de o metal

### 9.5.2 Porosidade



**Figura 26** Porosidade resultante de cobertura inadequada do gás de proteção.

Possíveis Causas	Porosidade	Ações Corretivas
Cobertura da proteção de gás inadequada		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otimização do fluxo de gás</li> <li>• Aumento do fluxo de gás de modo a retirar o ar da zona de fusão</li> <li>• Diminuir o fluxo de gás excessivo para evitar a turbulência e o aprisionamento do ar na zona de fusão.</li> <li>• Eliminar de qualquer possibilidade de falta de gás na linha</li> <li>• Eliminar correntes de ar de portas, ventiladores etc. soprando no arco de soldagem</li> <li>• Eliminar reguladores congelados em linhas com CO2 com uso de aquecedores</li> <li>• Reduzir velocidade de soldagem</li> <li>• Reduzir distância do bocal de gás até a peça de trabalho</li> <li>• Manter a tocha no fim da solda até que o metal se solidifique</li> </ul>
Contaminação do gás		Uso de gás classificado
Contaminação do eletrodo		Utilização somente de eletrodos limpos e secos
Contaminação da peça de trabalho		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção da graxa, óleo, umidade, tintas, ferrugem e sujeira da superfície da peça de trabalho antes da soldagem.</li> <li>• Utilização de eletrodos mais desoxidantes.</li> </ul>
Tensão muito alta		Reduzir a tensão
Alta distância entre contato peça de trabalho		Reduzir o stick out

### 9.5.3 Penetração Incompleta na Junta Soldada

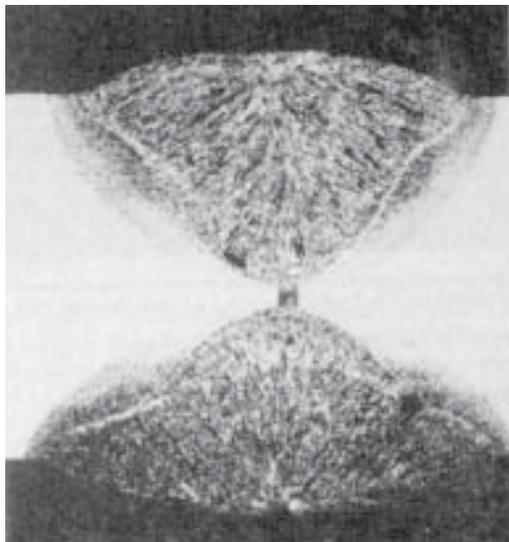


Figura 27 Penetração incompleta.

Possíveis Causas	Penetração Incompleta	Ações Corretivas
Penetração imprópria na junta		<ul style="list-style-type: none"> <li>design da junta deve fornecer um acesso próprio ao fundo do entalhe enquanto mantendo extensão adequada do eletrodo.</li> <li>Reduzir raízes extensivamente largas- Aumentar a abertura da raiz em juntas de topo</li> </ul>
Técnica imprópria de soldagem		<ul style="list-style-type: none"> <li>Manter o eletrodo normal a peça de trabalho de modo a alcançar penetração máxima</li> <li>Manter o arco na extremidade principal da poça.</li> </ul>
Corrente inadequada de soldagem		Aumentar a velocidade de alimentação

### 9.5.4 Fusão Excessiva

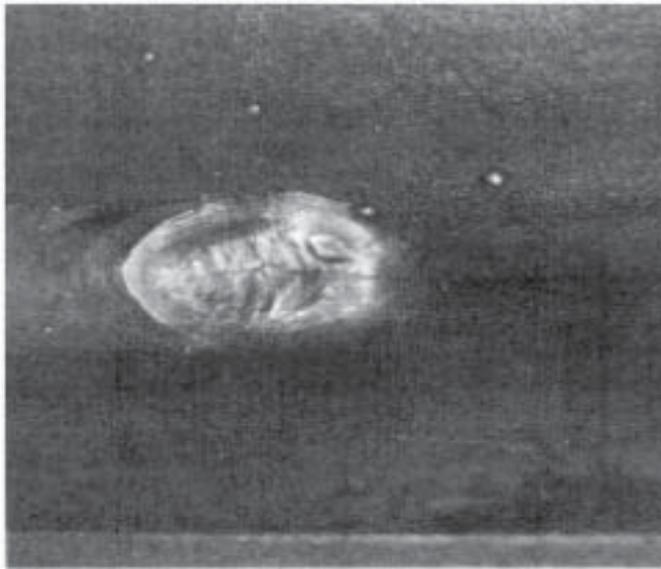
Possíveis Causas	Fusão Excessiva	Ações Corretivas
Aporte de calor excessivo		<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduzir a alimentação de arame (corrente de soldagem)</li> <li>Aumentar a velocidade de soldagem</li> </ul>
Penetração da junta imprópria		<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduzir abertura da raiz</li> <li>Aumentar a dimensão da face da raiz</li> </ul>

### 9.5.5 Trincas no Metal de Solda

Possíveis Causas	Trincas	Ações Corretivas
Projeto impróprio da junta de solda		Manter dimensões do entalhe de forma a permitir a deposição de enchimento adequado de metal ou solda em seção transversal para vencer as restrições;
Grande razão largura-profundidade da solda		Tanto o aumento da tensão ou a diminuição na corrente vão alargar a forma do cordão ou diminuir a penetração;
Cordões de solda de pequena dimensão (particularmente em soldas de filete e passe de raiz),		Diminuir a velocidade de soldagem para aumentar a seção transversal do depósito;
Alto aporte de calor gerando grandes distorções e causando excessiva contração		Reduzir a tensão ou corrente, ou ambas; Aumentar a velocidade de soldagem;
Fragilização a quente		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização de eletrodo com alta quantidade de Mn;</li> <li>• Ajuste do ângulo de groove de forma a permitir percentagem adequada de enchimento de metal de adição;</li> <li>• Ajustar seqüência de passes de forma a reduzir restrições durante o resfriamento;</li> <li>• Mudança nas características do metal de adição;</li> </ul>
Juntas com alta restrição		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar pré aquecimento para reduzir a magnitude das tensões residuais;</li> <li>• Ajustar a seqüência de soldagem de forma a reduzir as restrições;</li> </ul>
Rápido resfriamento na cratera no fim da junta (figura 28)		Eliminar cratera pela técnica de backstepping.

### 9.5.6 Trinca na Zona Termicamente Afetada

Possíveis Causas	Trincas	Ações Corretivas
Fragilização da ZTA		Pré aquecimento ou retardar o resfriamento;
Tensões residuais muito altas		Utilização de tratamento para alívio de tensão;
Fragilização por hidrogênio		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de eletrodos limpos e proteção gasosa seca;</li> <li>• Remover contaminantes do metal base;</li> <li>• Manter a solda a altas temperaturas por várias horas antes de resfriar, de modo a permitir que o hidrogênio se difunda;</li> </ul>



**Figura 28** Trinca na cratera no fim do cordão de solda.

## 10. Considerações de Segurança

As pessoas devem ser familiares as práticas de segurança durante a soldagem. No processo GMAW existem algumas áreas tais como manuseio de cilindros, gases, energia radiante, ruído e eletricidade merecem atenção redobrada.

Cilindros de gases comprimidos devem ser manuseados cuidadosamente e devem ser armazenados em local seguro. Quedas ou manuseio brusco podem danificar os cilindros e válvulas, o que pode causar acidente. O chapéu de proteção, quando suprimido, deve ser mantido a mão, a menos que o regulador esteja preso ao sistema.

Os gases mais tóxicos associados com GMAW são ozono, dióxido de nitrogênio, e monóxido de carbono. A radiação ultravioleta emitida pelo arco age no oxigênio da atmosfera vizinha e produz o ozono, a quantidade vai depender da intensidade e comprimento de onda da radiação ultravioleta, umidade e outros fatores. A concentração de ozono vai geralmente aumentar com o aumento da corrente de soldagem, com o uso de argônio como gás de proteção e quando o material soldado é reflexivo. Se o ozono não pode ser reduzido a níveis seguros com ventilação ou mudando-se as variáveis do processo, o operador deverá utilizar-se de ar mandado ou outros meios.

Alguns testes mostram que altas concentrações de dióxido de nitrogênio são encontradas somente com

arcos de 6 polegadas. Com ventilação adequada, estas concentrações são rapidamente reduzida a níveis seguros na zona de respiração do operador.

O dióxido de carbono utilizado como proteção na soldagem GMAW vai ser dissociado pelo calor do arco para formar monóxido de carbono. Somente pequena quantidade de monóxido de carbono é criado por processos de soldagem, mesmo assim concentrações relativamente altas são formadas temporariamente na pluma de fumos. Entretanto o monóxido de carbono quente se oxida formando dióxido de carbono de forma que as concentrações se tornam insignificantes a distâncias maiores.

Os fumos metálicos gerados por GMAW podem ser controlados por ventilação geral, exaustão local ou por equipamentos de proteção respiratória como descrito na norma. Níveis de exposição aceitáveis são definidos pelas agências governamentais.

A energia radiante produzida por GMAW pode ser maior que a produzida por SMAW, pois a energia do arco é maior, menor quantidade de fumos são gerados e o arco está mais exposto. Geralmente a maior quantidade de luz ultravioleta é produzida quando se utiliza o argônio como gás de proteção e quando se está soldando alumínio. A seleção de filtros adequados é necessário para proteção da visão, além da utilização de roupas adequadas

O operador deve ser protegido também contra exposição ao ruído gerado na soldagem e processos de solda. Para o Brasil os níveis aceitáveis são definidos pela NR 15 da portaria do MTB.