

MODO DE TRANSFERÊNCIA POR GOTA CONTROLADA - UM ESTUDO COMPARATIVO

Flávio Barbosa - flba28@yahoo.com.br

Paulo Cesar Nunes de Aquino - aquino@osite.com.br

Ricardo Taveira - rictaveira@yahoo.com.br

Professor Luiz Gimenes – Orientador gimenes@infosolda.com.br

Fatec-SP Janeiro/2014

1. RESUMO

O objetivo deste trabalho é o de comparar as principais tecnologias de transferência por curto-circuito controlado, destacando suas vantagens e desvantagens bem como sua aplicação na soldagem dentro dos processos MIG/MAG (GMAW). Este trabalho será desenvolvido com base na análise das literaturas existentes, comparando as descrições apresentadas por seus respectivos autores.

2. INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem vêm se desenvolvendo e aprimorando com grande velocidade nas últimas décadas, dada a necessidade de se melhorar o desempenho competitivo das empresas, através da redução de custos aliada ao aumento da produção, garantindo cada vez mais qualidade. Este desenvolvimento só tem sido possível graças às pesquisas desenvolvidas e ao advento cada vez maior da tecnologia eletro-eletrônica nos equipamentos e processos de soldagem.

São estes novos processos que têm impelido cada vez mais as empresas fabricantes de equipamentos e implementos para soldagem a investirem no desenvolvimento de novas técnicas, criando-se assim uma competição em busca de novos horizontes.

3. CONCEITOS

3.1. Processo de Soldagem GMAW

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW — Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG — Metal Inert Gas e MAG — Metal Active Gas), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco elétrico, fonte geradora de calor, funde continuamente o arame à medida que este é alimentado, e o material fundido se deposita na poça de fusão. O metal de solda bem como o arco e a poça de fusão são protegidos da atmosfera externa pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inertes ou ativos. Neste processo a função do arco elétrico é gerar uma grande quantidade de calor, capaz de fundir o arame e fundir também parte do metal de base, criando uma poça de metal líquido que receberá o metal fundido do arame. Este processo ocorrerá à partir do momento em que a densidade de corrente consiga iniciar o processo de fusão e tenderá a existir dentro de limites mínimos e máximos, à partir dos quais o processo de soldagem não estará mais em equilíbrio.

Histórico

O conceito básico de GMAW foi introduzido nos idos de 1920, e tornado comercialmente viável após 1948. Inicialmente foi empregado com um gás de proteção inerte na soldagem do alumínio. Consequentemente, o termo soldagem MIG foi inicialmente aplicado e ainda é uma referência ao processo. Desenvolvimentos subsequentes acrescentaram atividades com baixas densidades de corrente e correntes contínuas pulsadas, empregando-se uma ampla gama de materiais, e o uso de gases de proteção reativos ou ativos (particularmente o dióxido de carbono, CO₂) e misturas de gases. Esse desenvolvimento posterior levou à aceitação formal do termo GMAW – Gas Metal Arc Welding para o processo, visto que tanto gases inertes quanto reativos são empregados. No entanto, quando se empregam gases reativos, é muito comum se usar o termo soldagem MAG (MAG - Metal Active Gas).

O processo de soldagem funciona com corrente contínua (CC), normalmente com o arame ligado ao pólo positivo. Essa configuração é conhecida como polaridade reversa. A polaridade direta é raramente utilizada por causa da transferência deficiente do metal fundido do arame de solda para a peça. São comumente empregadas correntes de soldagem de 50 A até mais que 600 A e tensões de soldagem de 15 V até 32 V. Um arco elétrico autocorrigido e estável é obtido com o uso de uma fonte de tensão constante e com um alimentador de arame de velocidade constante.

Melhorias contínuas tornaram o processo MIG/MAG aplicável à soldagem de todos os metais comercialmente importantes como os aços, o alumínio, aços inoxidáveis, cobre e vários outros. Materiais com espessura acima de 0,76 mm podem ser soldados praticamente em todas as posições.

É simples escolher equipamento, arame, gás de proteção e condições de soldagem capazes de produzir soldas de alta qualidade com baixo custo.

O processo de soldagem MIG/MAG proporciona muitas vantagens na soldagem, manual e automática dos metais, para aplicações de alta e baixa produção. Suas vantagens combinadas quando comparado ao eletrodo revestido, arco submerso e TIG são:

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

O Processo de Transferência do Metal

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

Na transferência por curto-circuito - short arc, dip transfer, microwire - a transferência ocorre quando um curto-circuito elétrico é estabelecido. Isso acontece quando o metal fundido, ainda aderido na ponta do arame toca a poça de fusão. Na transferência por aerosol - spray arc - pequenas gotas de metal fundido são desprendidas da ponta do arame e projetadas por forças eletromagnéticas em direção à poça de fusão. A transferência globular - globular - ocorre quando as gotas de metal fundido são muito grandes e movem-se em direção à poça de fusão sob a influência da gravidade. Os fatores que determinam o modo de transferência de metal são

a corrente de soldagem, o diâmetro do arame, o comprimento do arco (tensão), as características da fonte, a posição dos pólos e o gás de proteção.

A Função do Gás de Proteção

O ar atmosférico é expulso da região de soldagem por um gás de proteção com o objetivo de evitar a contaminação da poça de fusão. A contaminação é causada principalmente pelo nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂) e vapor d'água (H₂O) presentes na atmosfera.

Como exemplo, o nitrogênio no aço solidificado reduz a ductilidade e a tenacidade da solda e pode causar fissuração. Em grandes quantidades o nitrogênio pode causar também porosidade. O oxigênio em excesso no aço combina-se com o carbono e forma o monóxido de carbono (CO), que pode ser aprisionado no metal, causando porosidade. Além disso, o oxigênio em excesso pode se combinar com outros elementos no aço e formar compostos que produzem inclusões no metal de solda - o manganês (Mn) e o silício (Si), por exemplo.

Quando o hidrogênio (H), presente no vapor d'água e no óleo, combina-se com o ferro (Fe) ou com o alumínio (Al), resultam em porosidade e podem ocorrer fissuração sob o cordão no metal de solda.

Para evitar esses problemas associados com a contaminação da poça de fusão, três gases principais são utilizados como proteção: argônio (Ar), hélio (He) e dióxido de carbono (CO₂). Além desses, pequenas quantidades de oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂) e hidrogênio (H₂) provaram ser benéficas em algumas aplicações. Desses gases, apenas o argônio e o hélio são gases inertes. A compensação para a tendência de oxidação dos outros gases é realizada pelas formulações especiais dos arames.

O argônio, o hélio e o dióxido de carbono podem ser empregados puros, em combinações ou misturados com outros gases para proporcionar soldas livres de defeitos numa variedade quase que infinita de aplicações e processos de soldagem.

3.2. A Transferência Metálica por Curto-Circuito

Na transferência metálica por curto-circuito o metal é transferido através do curto-circuito elétrico, quando há contato da gota, formada na ponta do arame/eletrodo, com a poça de fusão. Devido aos baixos valores de corrente durante a fase de arco aberto e aos baixos valores de tensão, assim como o fato de que durante parte do processo o arco tende a se apagar, o calor transferido para a peça é reduzido. Existem vários métodos de controle e formas de onda de corrente adotados. Há algumas fases para descrever este processo.

Abaixo o esquema destas fases:

A 1ª fase pode ser considerada a do arco aberto. A corrente é mantida em patamar relativamente baixo, porém garantindo o aquecimento dos eletrodos e do metal de base (formação da gota e poça) e a fluidez dos mesmos, assim como a manutenção do arco. Quanto mais se aquece o arame, este tende a se fundir e formar uma grande gota em sua extremidade. Esta gota então se alonga em direção à poça de fusão, devido as forças de gravidade, ainda protegida pelos gases.

A 2ª fase é quando há o curto – circuito. Nesta fase, de tempo regulável, a gota de metal líquido se alonga a ponto de tocar a poça, neste instante a corrente é reduzida ainda mais, reduzindo a tendência de respingos, pois a gota se assenta suavemente sob a ação da tensão superficial, força principal no início do curto. Uma vez que o arco se extingue, a corrente passa diretamente pelo metal.

A 3ª fase é caracterizada por uma alta corrente, que gera as forças magnéticas que atuarão no destacamento da gota. Nesta fase ocorre a estricção do metal, causado pelo campo magnético gerado pela passagem da corrente elétrica, agora pelo metal, o que auxilia o destacamento da gota de metal líquido.

A 4ª fase tem um tempo estipulado e é nela que deve ocorrer a reabertura do arco, em corrente baixa. Aqui, após o rompimento do metal líquido, desprendimento da gota, a diferença de potencial gerada pela tensão entre o metal de base e o eletrodo ioniza o gás, e propicia a reabertura do arco.

A 5ª fase é onde ocorre a formação de uma nova gota metálica na ponta do arame-eletrodo. Nesta fase a energia deve ser suficiente para que a gota formada seja do mesmo tamanho que a anterior. Também na 5ª fase é realizado o controle do aporte térmico e da penetração. É nesta fase que o gás de proteção atua como refrigerante do processo, que aliado ao conjunto tensão e corrente, permite a geração de calor suficiente para a fusão do arame eletrodo e do metal de base.

O processo de transferência metálica por curto circuito é aplicado à princípio em operações que requerem as características presentes no processo MIG/MAG convencional. É também utilizado em passes de raiz, tanto semiautomático, como em processo mecanizado na união de topo de dutos de parede / espessura grossa.

3.3. Transferência por Curto-Circuito Controlado

São processos que utilizam controle externo para melhorar a transferência metálica, utilizando principalmente os avanços na área eletrônica das fontes de soldagem para controlar os parâmetros do processo, permitindo o controle da transferência metálica durante o curto-circuito.

4. COMPARATIVO ENTRE AS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE TRANSFERÊNCIA POR CURTO-CIRCUITO CONTROLADO

4.1. Equipamentos e Fontes de Soldagem para Transferência por Curto-Circuito Controlado

- Fontes convencionais X fontes com controle eletrônico;
- Características das fontes:
 - Fontes Tiristorizadas;
 - Fontes Transistorizadas (Em Série, Chaveadas no Secundário e Chaveadas no Primário);
 - Forma de onda.

Nas últimas décadas ocorreu um salto nos projetos de construção de fontes de soldagem, salto que está associado com aumento de uso da microeletrônica e da tecnologia digital para controle destes equipamentos. Estes sistemas eletrônicos providenciam ajustes mais precisos dos parâmetros, respostas mais rápidas a mudanças de carga, e o foco atual é relacionado a obtenção de um feedback do que acontece na ponta do arame, possibilitando interferência das fontes em tempo real, para reagir e corrigir os parâmetros adotados na transferência metálica e otimizar seus recursos para uma melhor deposição e estabilidade do processo.

Em comparação com as fontes convencionais, as fontes com controle eletrônico apresentam diversas vantagens como:

- Resposta dinâmica e reprodutibilidade superior;
- Melhoria na abertura de arco;
- Redução de peso e dimensões.

As fontes com controle eletrônico normalmente são construídas com as seguintes tecnologias:

- Fontes Transistorizadas
- o Analógicas
- o Chaveadas no secundário
- o Chaveadas no primário

4.1.1. Fontes Tiristorizadas

As fontes tiristorizadas são caracterizadas pelo controle de tensão e corrente média na carga através da variação do ângulo de disparo no tempo. A estratégia é alcançada utilizando tiristores de potência montados em ponte trifásica completa, como apresentado na Figura 6 [11,12]. Apesar do controle eletrônico, as fontes tiristorizadas utilizam transformadores de baixa frequência, resultando em máquinas volumosas e pesadas.

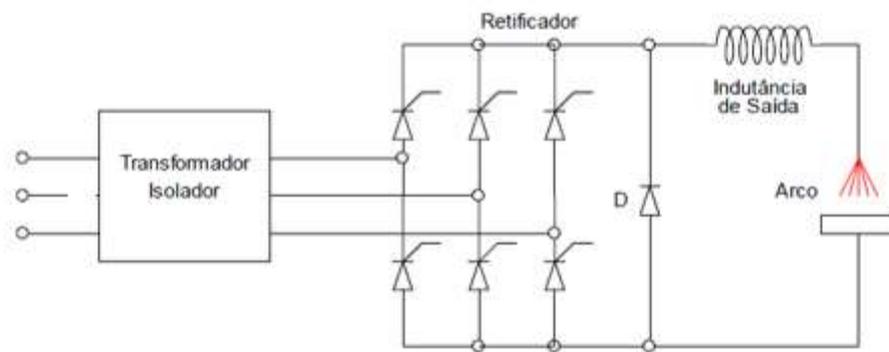


Figura 6 – Diagrama esquemático de uma fonte tiristorizada

4.1.2. Fontes Transistorizadas Analógicas

Neste tipo de fonte, um banco de transistores operando em série controla continuamente a saída da fonte. Uma das principais características deste tipo construtivo de fonte é a ausência de ondulação da corrente de saída e ruídos gerados por chaveamento.

As desvantagens são o baixo rendimento resultante do modo de funcionamento similar a uma resistência variável e o elevado custo.

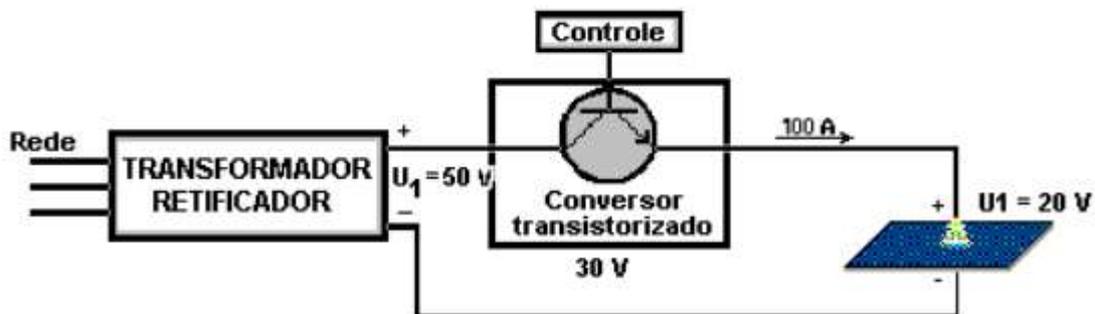


Diagrama fonte de soldagem transistorizada analógica, retirada de [4]

4.1.3. Fontes Transistorizadas Chaveadas

Neste tipo de fonte, os transistores operam como chaves que são abertas e fechadas em alta velocidade para controlar a saída da fonte. As fontes mais recentes utilizam transistores do tipo MOSFET ou IGBT, que tem como principal característica um grande aumento da resposta dinâmica e redução de perdas por chaveamento quando comparados as primeiras fontes chaveadas.

A velocidade de resposta da fonte também depende da frequência de chaveamento. Fontes com alta frequência de chaveamento são capazes de responder em poucos microssegundos.

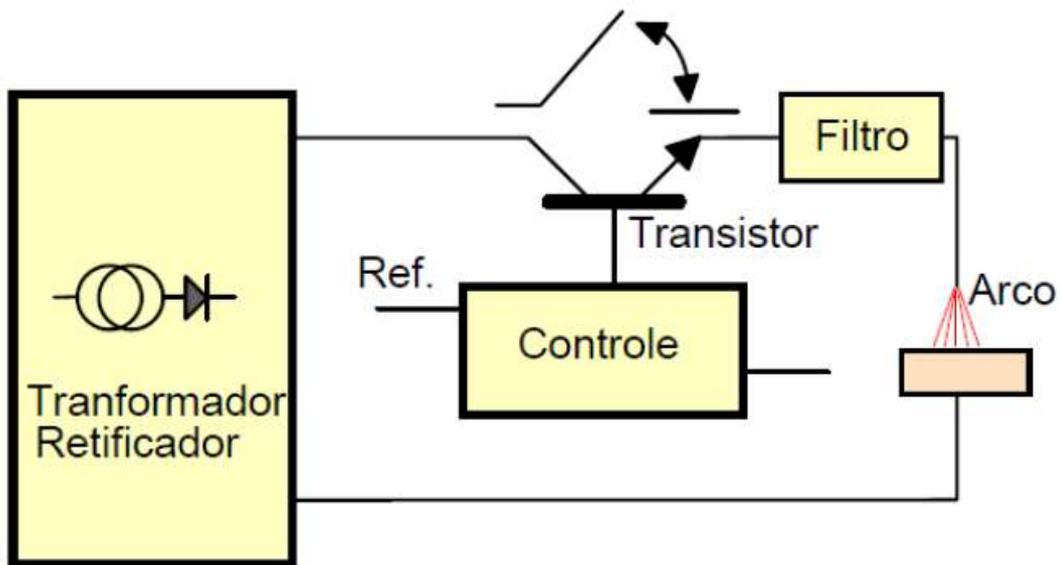
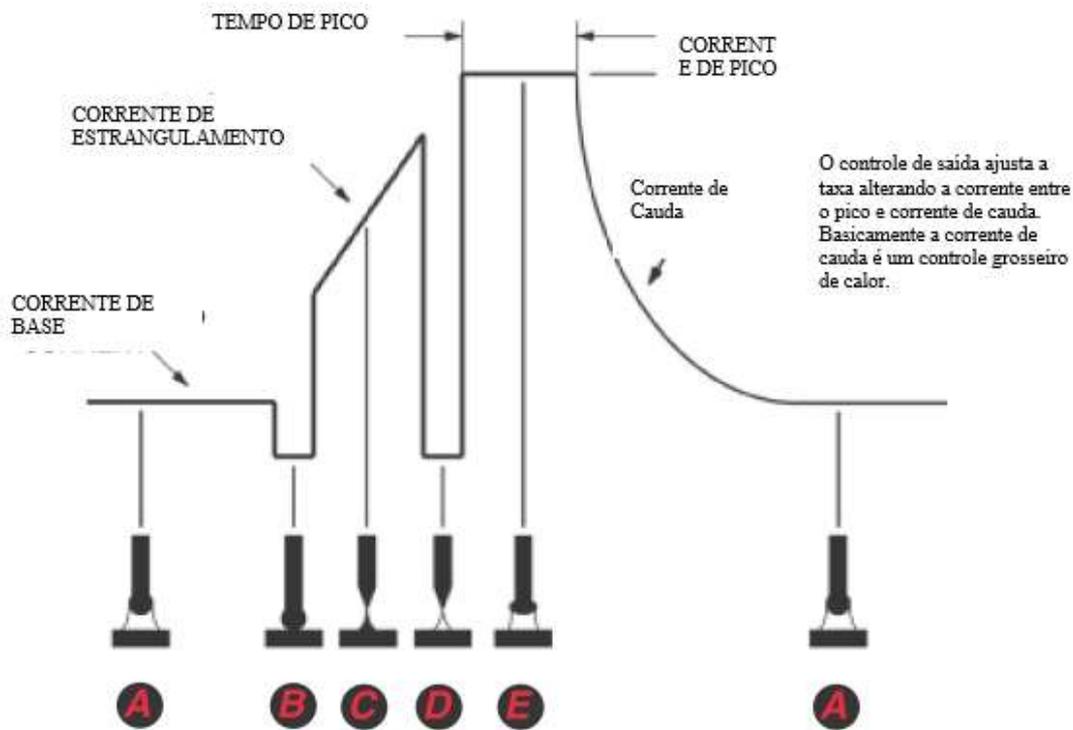


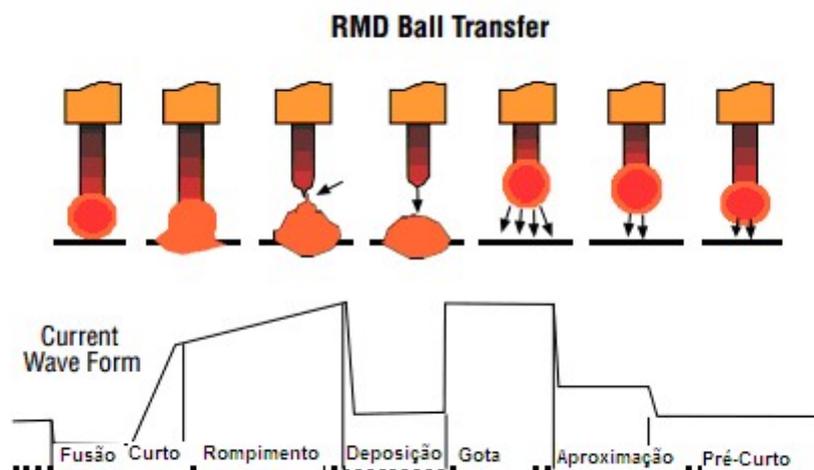
Diagrama fonte de soldagem transistorizada chaveada, retirado de [4]

4.1.4. Formas de onda

Devido ao uso de sistemas eletrônicos que providenciam ajuste mais preciso dos parâmetros e resposta mais rápida às mudanças de carga, é possível configurar a fonte de energia para responder com variados perfis de corrente e tensão, cada fabricante implementa estas curvas para otimizar seus recursos para uma melhor deposição de material e estabilidade do processo.



Forma de onda pelo processo STT. Adaptado de [12]



Forma de onda pelo processo RMD. Adaptado de [1,4,6]

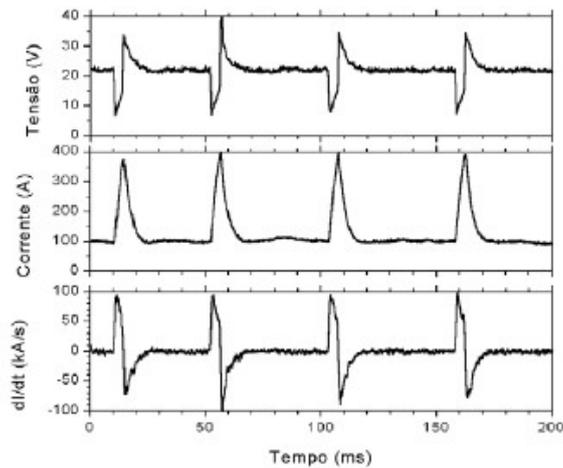
4.2. Influência dos Parâmetros na Transferência por Curto-Circuito Controlado

4.2.2. Corrente

Quando se falado controle da transferência do metal, entende-se que este controle é o domínio do sinal da corrente, de uma forma imposta e cíclica, visando a otimização das características favoráveis de cada transferência para obter soldas mais adequadas para situações especiais. As finalidades para tal controle podem ser as mais variadas, isoladamente ou em conjunto, como a de garantir uma transferência de metal uniforme (melhoria dos aspectos visuais do cordão e também menos respingos), uma poça de fusão de pequeno volume e estável termicamente

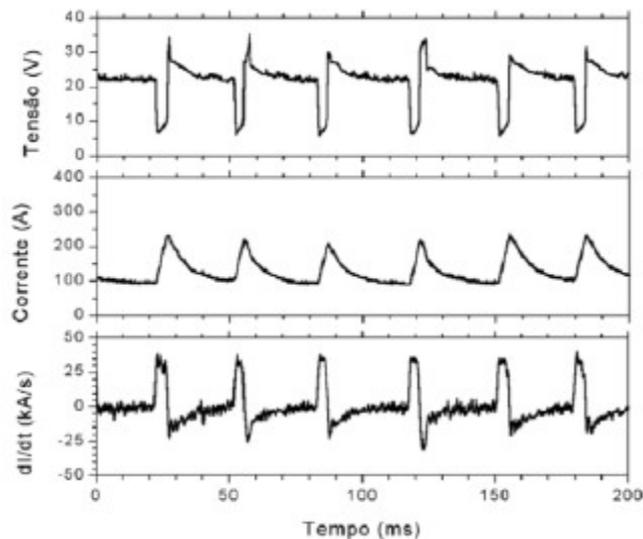
(facilitando a soldagem de passes de raiz ou de chapas finas) e uma relação de penetração / taxa de deposição controlada (através da distribuição de calor entre eletrodo e metal de base).

As fontes convencionais encontradas no mercado geralmente permitem o controle da indutância. Ao variar a indutância, pode-se atuar sobre o tempo que o sistema leva para alcançar o pico de corrente do curto-circuito (rampa), ou seja, promove-se uma defasagem da corrente em relação à tensão. A figura abaixo mostra um teste realizado com baixo valor de indutância, o que resultou em rápidas variações de corrente (indicadas na curva de taxa de variação da corrente, di/dt) durante os curtos-circuitos.



-Oscilograma de baixa indutância, retirado de [4]

Outro teste foi realizado com os mesmos parâmetros de soldagem do teste anterior, porém com maior valor de indutância. Observou-se que o efeito na frequência de transferência e nos valores máximos de corrente contribuiu para a diminuição do volume de respingos.



-Oscilograma de alta indutância, retirado de [4]

4.2.3. Velocidade de Soldagem

A velocidade de soldagem para este processo de curto-circuito controlado é de grande importância. O processo de soldagem ganha em produtividade reduzindo o tempo de operação,

umentando a qualidade do cordão de solda e reduzindo as possíveis chances de defeitos na solda.

4.2.3.1. Vantagens e Desvantagens

As vantagens e desvantagens do processo de soldagem por curto-circuito esta no controle de deposição do metal de adição, melhor acabamento do cordão de solda, maior produtividade, maior controle do aporte de calor e menor quantidade de respingos.

As desvantagens estão relacionadas com o fator de ter mão de obra qualificada para este processo, o que não é encontrado com facilidade e também com a instalação de software nos equipamentos o que pode aumentar o custo do processo.

4.2.3.2. Aplicações

Aplicações na soldagem da transferência por curto-circuito controlado. O processo de transferência por curto-circuito controlado é destinado, em princípio, a operações que requerem as características presentes no processo MIG/MAG convencional, em transferência metálica por curto-circuito, ou que extrapolam a faixa de aplicabilidade do segundo. Pesquisas recentes, obtiveram boas soldas em espessuras de 0,2 mm em aço. Um outro exemplo de versatilidade é mostrado, na soldagem de ligas de Magnésio. O passe de raiz tanto semi-automático, como totalmente mecanizado na união de topo de dutos de parede espessa consiste em uma das aplicações mais freqüentemente citadas do MIG/MAG transferência por curto-circuito controlado. Existem citações de aplicação também em aço inoxidável, vasos de pressão, trocadores de calor, etc... Também são citados ED - Ensaios Destrutivos e END - Ensaios Não-Destrutivos comprovando a confiabilidade do MIG/MAG na transferência por curto-circuito controlado

4.3. Características dos Principais Processos de Transferência Metálica por Curto Circuito Controlado do Mercado

4.3.2. STT™

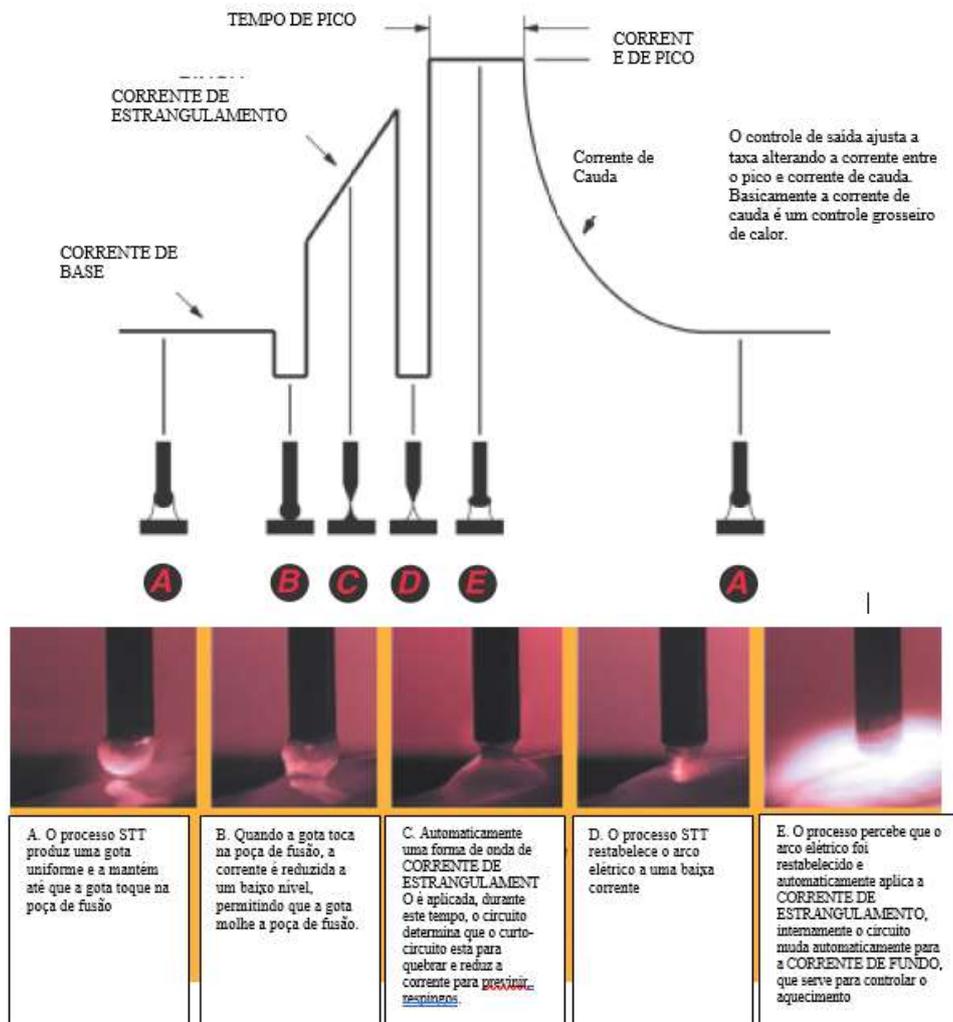
O processo Surface Tension Transfer, conhecido como STT, é um processo derivado do processo MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito realizado através do controle da corrente de soldagem. O processo STT, patenteado pela empresa Lincoln Electric em 1994, é um processo de soldagem onde a transferência de metal é realizada por tensão superficial, tendo como base uma fonte de energia eletrônica com corrente constante, que modifica o formato de onda da corrente de soldagem até cem vezes por segundo para cada gota transferida. Seu circuito eletrônico, baseado num microprocessador, monitora o comportamento da tensão do arco e ajusta automaticamente o formato da onda da corrente. Desta forma, acredita-se que este ajuste do formato de onda melhora a estabilidade da transferência e reduz a perda de material por respingo e a quantidade gerada de fumos.

O ciclo de transferência para o processo STT, é iniciado com a gota formada na ponta do arame-eletrodo, a qual é mantida por um valor baixo de corrente. Após o curto-circuito, a corrente é reduzida imediatamente e mantida até que ocorra o contato da gota com a poça. Desta forma, é possível fazer com que a transferência metálica seja menos brusca, reduzindo os respingos. Em seguida, é aplicada uma corrente de Pinch, cuidadosamente monitorada, para acelerar a transferência. O aumento considerável da força eletromagnética ao redor do arame (componente radial) resulta no empescoçamento na região gota-arame. A redução da seção transversal do empescoçamento aumenta a resistência elétrica nesta região, a qual é medida pela variação de tensão por unidade de tempo. Esta corrente é reduzida pouco antes da

separação, de modo que o destacamento da gota ocorra sob um nível baixo de corrente, o que impede a geração de respingos de grande tamanho. Para restabelecer o arco, é aplicada uma corrente de pico, também responsável pelo comprimento do arco e pela fusão do arame, iniciando a formação da gota. Durante a formação da gota, a corrente é reduzida de forma gradual (fall-out) até a corrente de base, iniciando novamente o ciclo de transferência do processo. Sendo equivalente a uma regulagem de indutância, influenciando na frequência de curto-circuito e, conseqüentemente, no volume e conteúdo calorífico das gotas.

Entre os benefícios[1], está a redução de perda de material por respingos e na geração de fumos, o que favorece maior produtividade do processo e a maior transferência de calor para a poça de fusão. Assim como a capacidade de produzir soldas de qualidade e com baixa geração de respingos utilizando 100% CO2 como gás de proteção.

O processo SST também permite controlar o aporte térmico durante a soldagem, com menor entrada de calor, reduz as distorções de material e a perfuração da raiz, fornecendo apenas a quantidade necessária de calor para produzir a solda, mesmo em materiais sensíveis como aço inoxidável. Além de produzir cordões estreitos, uniformes, de boa penetração e permitir soldar em todas as posições graças a sua versatilidade. Para a soldagem de tubulação, o processo também torna mais fácil executar soldagem de passe de raiz, como melhor perfil da raiz do cordão e fusão das bordas.



Forma de onda e transferência metálica pelo processo SST. Adaptado de [11]

4.3.3. RMD™

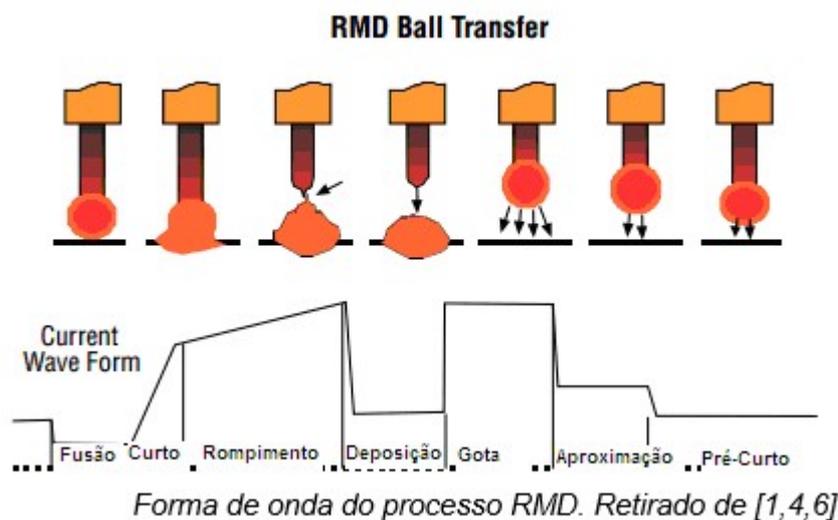
O processo Regulated Metal Deposition, conhecido como RMD™ é uma patente da empresa Miller Welds. Este processo tem o propósito de regular a deposição de material transferido no processo de soldagem e controlar o índice de penetração e respingos de forma precisa e objetiva. Essa Tecnologia foi criada para as aplicações semi-automáticas, onde a velocidade de soldagem e comprimento da extensão do eletrodo encontra variações consideráveis.

A Transferência RMD foi precisamente projetada para monitorar e controlar a corrente de soldagem durante todas as fases da "Transferência por Curto – Circuito". Com isso a Tecnologia RMD consegue baixar o aporte térmico de 5 a 20% comparado a transferência padrão do curto-circuito, mantém automaticamente características as melhorias do arco, e minimiza a incidência de respingos.

O processo é dividido em sete ciclos, descritos a seguir:

Estando a gota metálica já formada na ponta do arame - eletrodo, a corrente se mantém em níveis baixos (fase wet) até o momento em que ele toca a poça de fusão. Após a gota toca a poça de fusão, a corrente é elevada rapidamente (fase pinch), iniciando a atuação da força eletromagnética no destacamento da gota. Na fase seguinte (clear), a corrente continua crescendo, porém, a uma taxa mais moderada, até o momento que o curto-circuito é destacado, ou seja, momento em que ocorre a formação do "pescoço" na interface arame/gota por ação do Efeito pinch. Após a detecção do fim do curto-circuito, a corrente é novamente reduzida (fase blink), a fim de restabelecer o arco elétrico de maneira suave e não promover agitação da poça de fusão. Restabelecido o arco elétrico, a corrente é novamente elevada (fase ball), proporcionando a formação de uma nova gota metálica na ponta do arame - eletrodo. Nas fases seguintes (background e preshort), a corrente é novamente reduzida para permitir o contato da nova gota com a poça de fusão. Essa redução da corrente também garante que a força do arco elétrico não promova agitação da poça de fusão.

Abaixo uma figura demonstrando a sequência deste processo:



4.3.4. CMT™

O processo Cold Metal Transfer, ou apenas CMT é um processo realizado / patenteado pela Fronius em 2005. Este processo é o resultado de uma constante adaptação do processo MIG/MAG às necessidades da junção / união do aço com o alumínio.

Este processo consiste em movimentos reversíveis do arame-eletrodo de forma integrada ao processo de soldagem, movimentos orientados pela parte mecânica de controle. A cada curto-circuito detectado pela queda de tensão o controle do processo impõe uma pausa de corrente e inicia após um breve intervalo, a retração do arame-eletrodo, seguida de um novo avanço. Este movimento pode ser realizado com uma frequência de até 70 vezes por segundo e por objetivo separar o arame-eletrodo da poça de fusão, garantindo a transferência da gota de uma forma extremamente suave. Desta forma, no momento de arco aberto tem-se uma fase quente e, no curto-circuito com corrente quase nula, uma fase fria. Como resultado tem-se na fase fria uma redução considerável de energia de soldagem e da pressão do arco.

Neste processo a transferência ocorre sem a aplicação de corrente de curto-circuito, devido à retração do arame-eletrodo o que favorece a soldagem de chapas muito finas de até 0,3mm. É um processo onde se tem um baixo aporte térmico.

A grande limitação deste processo é a necessidade de automação. No processo CMT por sua característica de solda "fria", encontra sua aplicação em soldagem de chapas finas, inclusive em chapas de alumínio. Durante o período frio do processo, a viscosidade da poça de fusão aumenta propiciando maior estabilidade, o que favorece a soldagem em altas velocidades.

Abaixo um esquema do funcionamento do processo:



Diagrama esquemático do processo CMT, retirado de [15]

4.3.5. FastROOT™

Lançado em 2005 pela empresa Finlandesa Kemppi, FastROOT™ é derivado da sigla F.A.S.T que quer dizer Sistema de Tecnologia de Forma de Arco (Formula Arc System Technology em inglês), e é um processo de soldagem GMAW curto circuito modificado que permite soldagem em todas as posições. O processo FastROOT™ tem sido desenvolvido particularmente para a soldagem de passe de raiz, mas também pode ser utilizado para soldar a chapas finas. Os materiais mais comumente soldados são aços estruturais e aço inoxidável.

O FastROOT™ processo de soldagem que controla os parâmetros de tensão e corrente da fonte de alimentação digitalmente. O processo de soldagem monitora os controles curto-circuito e o timing correto da transmissão das gotas do metal de adição na poça de fusão. O processo é concebido com certas funções, tais como formação de pulsos e comprimento de arco, que desempenham um papel importante na estabilidade do arco e no controle de respingos.

O princípio de funcionamento do processo de FastROOT™ é que duas formas de ondas mutuamente diferentes são formadas a partir da corrente de soldagem. Estas formas de onda podem ser referidas como os estágios de curto-circuito e período de arco.

No primeiro estágio, o metal adição é transmitido durante o curto-circuito para a poça de fusão, enquanto que a potência do arco é subitamente aumentada durante o segundo estágio e mantida no nível desejado (ver Figura). Antes do primeiro estágio, há um pico de corrente quando o material de adição entra em contato com a poça de fusão. Durante o primeiro estágio, o aumento rápido da corrente até o nível desejado acompanha a chamada força de pinch, que permite a gota se separar da ponta do arame de soldagem. A separação é assegurada pela diminuição lenta da corrente. Uma vez que a gota tenha sido transmitida à poça de fusão, o segundo estágio começa e inicia a fase de arco. O dispositivo de monitoração controla o momento de separação da gota ao longo do arco. O timing correto para aumento e diminuição da corrente garante uma solda livre de respingos com o arco aberto. O segundo estágio molda a poça de fusão e garante penetração suficiente no passe de raiz. Estes dois estágios seguem um ao outro, após o qual a corrente é reduzida para o nível desejado de corrente de base. O nível de corrente de base especificada assegura que a próxima gota enchimento será transmitida durante o próximo curto-circuito.



Forma de onda pelo processo FastROOT. Adaptado de [15]

4.3.6. CCC™

O processo de soldagem CCC foi desenvolvido pela empresa IMC em conjunto com o Labsolda da UFSC. Diferentemente de outros métodos o CCC possui duas modalidades, o CCCI e o CCCU. No CCCI, a transferência ocorre por curto circuito, tendo como característica o controle de corrente, tanto durante o curto circuito, quanto durante o arco. Já no CCCU alguns princípios são semelhantes ao CCCI e outros ao MIG/MAG convencional com controle de tensão. No CCCU a rampa de subida no curto e a fase de arco dependem parcialmente da tensão de arco e dos efeitos indutivos.

4.3.6.1. Processo pelo modo CCCI

O controle da corrente é feito, tanto durante o curto, quanto durante o arco.

No início do curto a corrente será reduzida para I_{c1} durante o tempo t_{c1} , para assentamento da gota.

A próxima fase é caracterizada pela alta corrente, que gera as forças magnéticas responsáveis pela separação da gota do arame. Nesta fase são coletados sinais que serão realimentados no sistema para garantir a estabilidade, um dos sinais indica a iminência da reabertura do arco.

Quando a iminência da reabertura do arco for detectada, a corrente é reduzida para a I_{c2} , reduzindo a tendência a respingos.

Após o a reabertura do arco o sistema irá aplicar um pulso de corrente, responsável pela formação de uma nova gota metálica.

conhecimentos da passagem da corrente de forma constante, independentemente do que estava ocorrendo. A análise da solda também se dava de forma menos apurada.

Atualmente, os novos equipamentos que se utilizam dos sistemas eletro-eletrônicos são capazes de mensurar em frações de milésimos de segundos os parâmetros de soldagem e imediatamente ajustar o equipamento para um melhor desempenho da solda. A análise das estruturas soldadas também evoluiu de forma significativa nestes últimos anos, chegando ao ponto da micro estrutura da solda, e novos ensaios, com maior precisão, permitem analisar não mais só a solda e o material depositado, como também, toda a área da região termicamente afetada, permitindo que estes equipamentos, também sejam ajustados para mitigar as condições indesejáveis destas áreas.

O que se têm observado entre os diversos processos patenteados nos últimos 20 anos, são processos que tentam dominar a execução da solda com a condicionante de se efetuar o menor aporte de calor possível, buscando uma maior produtividade e economia, quer seja de materiais, quer seja de tempo de execução da solda.

Os processos que realizam as soldas através do curto circuito controlado, CCC, atuam na rápida detecção do momento crítico do curto-circuito, fazendo as correções instantâneas nos equipamentos, de modo a permitir que a gota de material fundido do metal de deposição, se insira na poça de solda criada no metal de base, de forma suave, evitando assim respingos e minimizando a transferência de calor. Paralelamente a este processo, existe toda uma complexidade quanto à reabertura do arco de solda, nova estabilidade do conjunto corrente e tensão, e reinício do processo de fusão.

Todas estas atividades, que não duram mais que alguns milésimos de segundos, e que se repetem centenas de vezes em apenas um segundo, fazem com que o advento destas novas tecnologias propicie as regulagens, ajustes, avanços e controles necessários para se obter o sucesso da solda e das suas operações coligadas.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] COSTA, T. F. Aplicação de Processos MAG Curto-circuito Convencional e Controlado na Soldagem de Dutos de Aço Carbono. 2011. 197 f..

[2] DERUNTZ, Bruce D. Assessing the benefits of surface tension transfer welding to industry. *Journal of Industrial Technology*, v. 19, n. 4, p. 55-62, 2003.

[3] DUTRA, Jair Carlos; GONÇALVES, Régis Henrique; SILVA, Cleber Marques. Características de Fusão e Potência de Soldagem com a Transferência MIG-CMT versus MIG convencional para Alumínio 5183.

[4] FOGLIATTO, Aloysio Arthur Becker. Influência dos parâmetros do processo MIG/MAG com curto-circuito controlado sobre a geometria do cordão de solda. 2013.

[5] SILVA, Régis Henrique Gonçalves e; DUTRA, J. C.; GOHR, R. Fundamentos científicos e tecnológicos para o desenvolvimento do processo MIG/MAG por Curto-Circuito Controlado (CCC)-Uma Revisão da Literatura. Parte 3 de 3: Princípios dos Sistemas MIG/MAG em Curto-Circuito com Controle de Corrente. 2008.

[6] POSSEBON, Silvano. Utilização de MIG/MAG com curto-circuito controlado na soldagem em operação. 2009

[7] SILVA, Régis Henrique Gonçalves et al. Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz. 2013.

[8] SILVA, R.H.G., GOHR JR.,R., DUTRA, J.C., Fundamentos Científicos e Tecnológicos para p Desenvolvimento do Processo MIG/MAG por Curto-Circuito Controlado (CCC)- Uma Revisão da Literatura. Parte 2 de 3: Formação da Gota Metálica, Gases de Proteção, Mecanismos de Penetração, Aporte Térmico e Aspectos Econômicos. Soldagem Insp.São Paulo, Vol. 12, No. 4, p.326-335,Out/Dez 2007.

[9] KAH, Paul et al. Welding of Sheet metal using Modified short arc MIG/MAG welding process. 2007.

[10] GOHR JR, Raul. AS FONTES DE SOLDAGEM DO ANO 2000 JA FABRICADAS NO BRASIL.

[11] <http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX220.pdf>,- acessado em 15/10/2013.

[12] <http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX356.pdf>- acessado em 15/10/2013.

[13] SILVA, R.H.G., GOHR JR.,R., DUTRA, J.C. e OLIVEIRA, M. A., Soldagem MIG/MAG em Curto Circuito Controlado (CCC) Aplicada ao Passe de Raiz..Florianópolis, Santa Catarina, Tese de Mestrado, Fevereiro 2005.

[14] Catalogo SST Fronius.

[15] UUSITALO, Jyri, Kemppi Pro News 2/2006. FastROOT - a new welding process for root pass and thin sheet welding, Páginas 4-6

[16] Manual de instruções DIGIPlus A7, 3a Edição 2011.

[17] SANTOS, A.J.A. dos, Conversor CC-CC ZUS em Ponte Completa para Aplicação em Máquinas de Soldagem Processo Eletrodo Revestido, Universidade Regional de Blumenau – Blumenal/SC, 2010.

[18] GOHR JR, Raul. AS FONTES DE SOLDAGEM DO ANO 2000 JA FABRICADAS NO BRASIL.