

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

Soldagem a Plasma - PAW

Disciplina: Processo de Soldagem.

Professor: Alexandre Queiroz Bracarense, PhD.

Belo Horizonte
Maio de 2000.

1 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO

1.1 - Histórico

O processo de soldagem a Plasma (PAW) foi introduzido na indústria em 1964 como um processo que possuía um melhor controle de soldagem em níveis mais baixos de corrente

1.2 - Definições

1.2.1 - Plasma

Plasma é um gás que é aquecido a uma temperatura extremamente elevada e que também é ionizado, sendo que, a partir disso, ele se torna um condutor de eletricidade.

1.2.2 – Soldagem a Plasma

O processo de soldagem a arco com Plasma (PAW) é um processo de soldagem que produz coalescência dos metais, pelo aquecimento com um arco constricto entre o eletrodo e a peça de trabalho (arco transferido) ou entre o eletrodo e o bocal constricto da tocha (arco não transferido). A proteção é obtida do gás quente e ionizado, proveniente da tocha. Este gás é usualmente suprido por uma fonte auxiliar de gás de proteção. O gás de proteção deve ser um gás inerte ou uma mistura de gases inertes. O metal de adição pode ou não ser usado.

1.3 – Processo de funcionamento

O processo de soldagem a arco com Plasma, assim como o processo GTAW, usa eletrodo não consumível. A tocha tem um bocal que cria uma câmara de gás ao redor do eletrodo. O arco aquece o gás na câmara até uma temperatura em que se torna ionizado e conduz eletricidade. Este gás ionizado é definido como o Plasma, que sai do orifício do bocal a uma temperatura próxima de 16700°C.

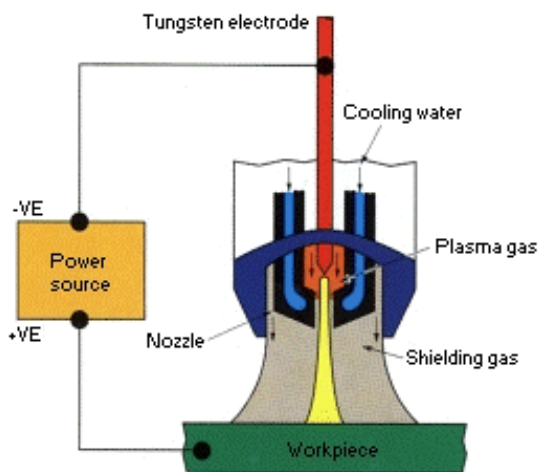


FIGURA 01

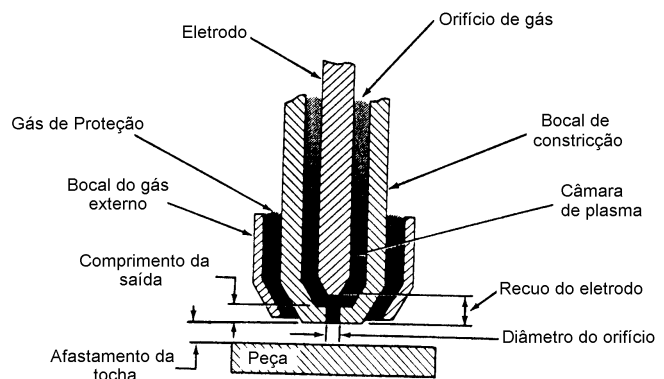


FIGURA 02

As figuras abaixo mostram as diferenças entre os processos GTAW e PAW.

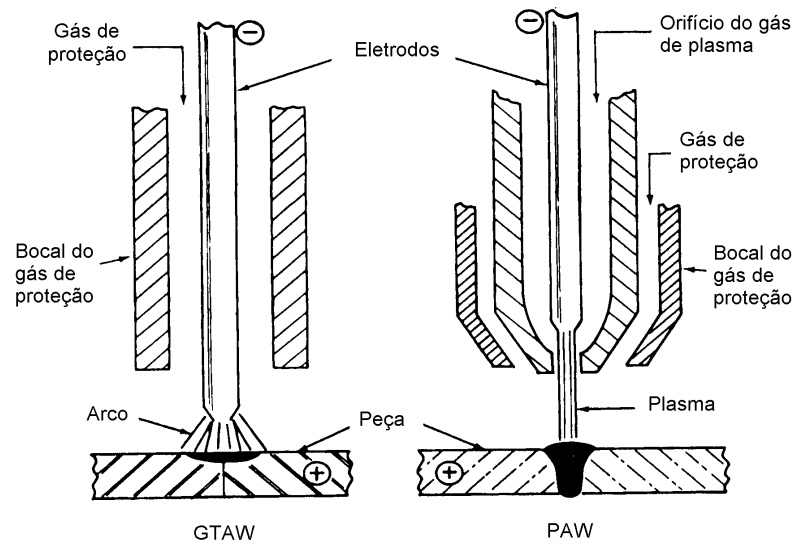


FIGURA 03

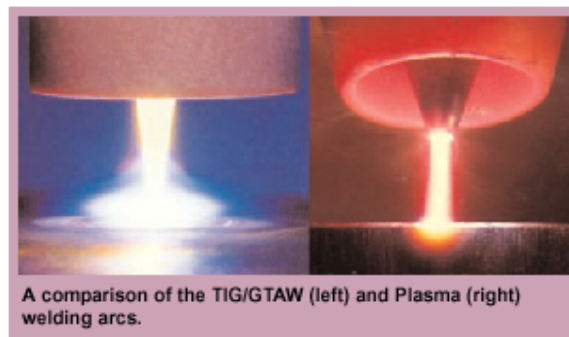


FIGURA 04

A seguir será fornecida uma tabela comparativa de gastos entre o processo PAW e o processo GTAW. Os valores encontrados foram obtidos a partir da utilização de um mesmo modelo de fonte que pode ser utilizada para os dois processos.

TEMPO	TOTAL DE PEÇAS	GTAW			PAW		
		TROCA DE ELETRODO	TEMPO DE TROCA(min)	PARTES PERDIDAS	TROCA DE ELETRODO	PARTES PERDIDAS	GANHO
HORA	208	1	5	17	0	0	17
DIA	4992	24	120	416	3	52	364
SEMANA	24960	120	600	2080	15	260	1820
MÊS	108160	520	2600	9013	65	1127	7887
ANO	1297920	6240	31200	108160	780	13520	94640

Horas trabalhadas/Dia	24
Dias trabalhados/Semana	5
Valor por peça(em dólares)	1,00
Ganho com Utilização do Processo PAW (em dólares)	94.640,00

A figura 05 mostra uma comparação entre eletrodos utilizados nos dois processos após seus respectivos ciclos de trabalho.

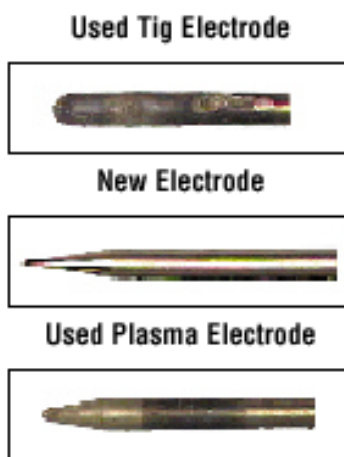


FIGURA 05

OBS.:

- Origem das informações: THERMAL ARC
- Máquina utilizada com referência: ULTIMA 150

Este processo pode ser empregado para unir a maioria dos metais em todas as posições. Ele fornece um melhor controle direcional do arco e as menores zonas termicamente afetadas, se comparado com o GTAW. O maior problema é o custo relativamente alto dos equipamentos de controle, e um treinamento mais consistente do operador.

O processo de soldagem a arco com plasma é basicamente uma extensão do processo GTAW. Entretanto, tem maior densidade energética do arco e maior velocidade do gás de plasma em virtude do plasma ser forçado através o bocal de constrição causando um aumento significativo da temperatura no plasma. A figura 06 mostra uma comparação entre os níveis de temperatura alcançados na coluna de plasma dos processos GTAW e PAW.

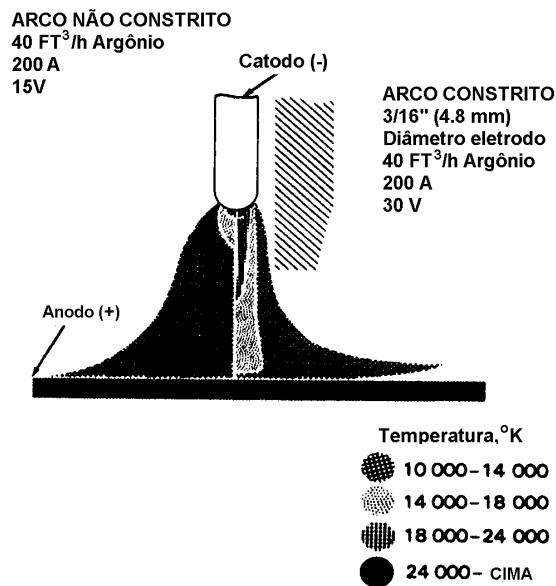


FIGURA 06

O gás de orifício é aquele direcionado através a tocha para envolver o eletrodo, e se torna ionizado para formar o plasma e sai do orifício na forma de um jato de plasma. Para a maioria das operações, um gás auxiliar de proteção é fornecido através um bocal externo, semelhante ao GTAW. O objetivo do gás de proteção é isolar a área do arco na peça de trabalho e evitar a contaminação da poça de fusão. As figuras 01 e 02 mostram um corte transversal da tocha utilizada no processo PAW. O bocal pelo qual o plasma sai tem duas dimensões importantes: O diâmetro do orifício e o comprimento da garganta. O orifício pode ser cilíndrico convergente ou divergente. A distância do eletrodo com a saída do orifício é chamada de **Setback**. A distância da face externa do bocal e a peça de trabalho é conhecida como **Standoff**.

Como o jato de gás muito potente pode causar turbulência na poça de fusão, as taxas de escoamento de gás de orifício variam de 0.5 até 10ft³/h (0.25 até 5l/min). Os gases de proteção escoam a taxas variando de 20 até 60ft³/h (10 a 30l/min).

1.3.1 - Objetivos da Construção do Arco

A construção do arco pode produzir altas densidades de corrente e uma grande concentração de energia. As altas densidades de corrente resultam em maiores temperaturas do arco do plasma, conforme mostrado na figura 06. As maiores vantagens do arco com plasma são a sua estabilidade direcional e focalização proporcionados pela construção, e a sua relativa insensibilidade com as variações do *standoff*.

Os parâmetros como o grau de colisão, a força do arco, e a densidade de energia sobre a peça de trabalho, e outras características são principalmente funções de:

- A corrente do plasma;
- O diâmetro e forma do orifício;
- O tipo de gás de orifício;
- A taxa de escoamento do gás de orifício;
- O tipo de gás de revestimento.

Obs.: As diferenças fundamentais entre os processos de trabalho a arco com plasma dependem das combinações dos 5 fatores acima citados, que podem ser ajustados para obter energias termicamente muito altas ou muito pequenas.

Exemplo: Para o processo de corte, serão necessários: altas concentração de energia e velocidade do jato de plasma, conseqüentemente serão preciso, alta corrente, diâmetro de orifício pequeno, alta taxa de escoamento de gás de orifício com alta condutividade elétrica. Já para o processo de soldagem, é preciso um jato de plasma de baixa velocidade i.e., orifício maior, baixas correntes do arco e taxas de escoamento dos gases menores.

1.3.2 - Comprimento do Arco

Para um jato de plasma de forma cilíndrica, se o comprimento for variado dentro de limites razoáveis, a área de entrada do calor e a sua intensidade permanecerão praticamente constantes, enquanto no processo GTAW, se o arco tiver uma forma cônica, o calor que entra na peça de trabalho varia proporcionalmente ao quadrado do comprimento do arco.

O jato do plasma concentrado, permite o uso de uma distância maior da tocha para a peça, e reduz o nível de perícia do operador na manipulação da tocha. As dimensões usadas para soldar materiais com dimensões pequenas numa corrente de aproximadamente 10 A, chegam a 1/4in.(6.4mm) para o PAW e 0.06in. (1.5mm) para o processo GTAW.

1.3.3 - Ignição do Arco

O arco é iniciado com o auxílio de um gerador de alta freqüência. O bocal de constricção é conectado ao terminal positivo da fonte de potência, através de um resistor limitando a corrente. Um arco piloto de baixa corrente é iniciado entre o eletrodo e o bocal pelo gerador de alta freqüência e o circuito é fechado através o resistor. O gás ionizado do arco piloto forma um caminho de baixa resistência entre o eletrodo e a peça. Quando a fonte de potência é ligada, ocorre ignição do arco principal entre o eletrodo e a peça de trabalho. Depois de deste arco estabelecido, o arco piloto deve ser extinto.

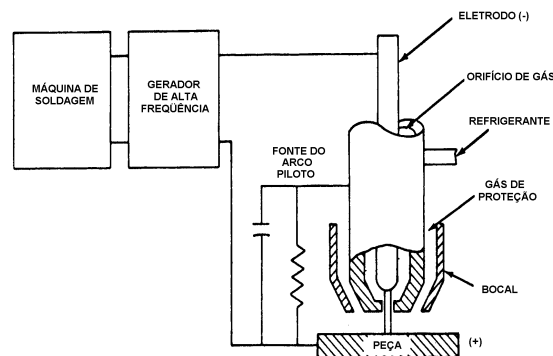


FIGURA 07 - Detalhe para o circuito elétrico do processo PAW

1.3.4 - Sistema de Controle de Plasma:

É um esquema que controla o funcionamento do plasma. Ele consta de dispositivos para estabelecer o fluxo de gases do plasma e de revestimento, fornece uma entrada para tubulações de gases e água. Pode ou não fornecer um circuito de alta freqüência para ignição do arco piloto. Pode existir também um regulador da taxa de escoamento do gás do plasma, e um sistema de circulação de água.

1.4 – Aplicações

Os processos industriais nos quais o processo PAW pode ser utilizado dependem do tipo de arco de Plasma. Alguns dos processos que o utilizam são citados logo a seguir:

- Área automotiva
- Fabricação de eletrodos
- Indústria de móveis
- Fabricação de aviões
- Indústria aeroespacial
- Fabricação de equipamentos clínicos
- Solda de tubos

Os exemplos que são dados logo a seguir são referentes ao processo PAW chamado de Micro Plasma. No último caso é exibida uma soldagem PAW convencional.



FIGURA 08 - Baterias



FIGURA 09 - Marca Passos



FIGURA 10 - Interruptores



FIGURA 11 - Fôrceps



FIGURA 12 - Solda de Tubos

1.5 – Equipamentos

Um sistema manual de soldagem a arco com plasma consiste numa tocha, um dispositivo de controle, fonte de potência, alimentação de gás de orifício, de gás de proteção, fonte de refrigeração da tocha e outros acessórios tais como, uma chave “on-off” , medidores de fluxo de gás, e um controle de corrente a distância, conforme mostrado na figura abaixo.

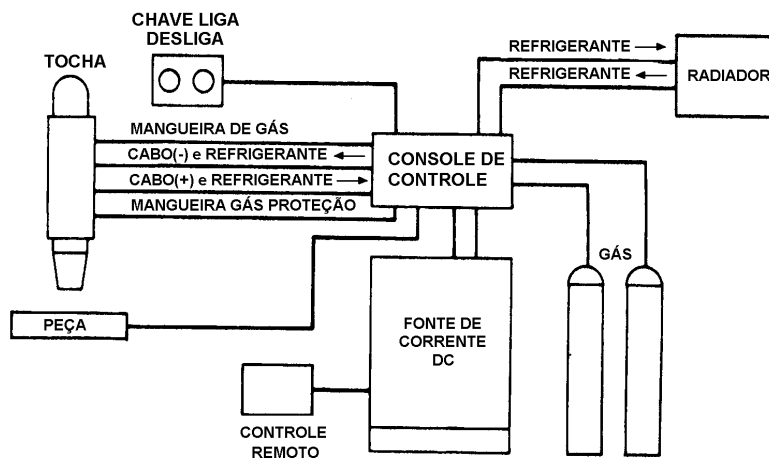


FIGURA 13 - Equipamento para soldagem PAW

Sistemas mecanizados são usados para soldar em altas velocidades com penetração profunda e altas correntes. Uma instalação mecanizada consta de uma fonte de potência, uma unidade de controle, uma tocha com carrinho para translação, fonte de refrigeração, gerador de alta e sistema de fornecimento de gás de proteção. Acessórios como o controle de tensão e o sistema de alimentação de metal de adição podem ser incluídos se necessário. Existem disponíveis tochas mecanizadas para soldagem acima de 500A em DCEN.

1.5.1 - Tochas

As tochas do processo PAW são mais complexas do que no GTAW conforme pode ser visto nas figuras logo a seguir. Uma série de passagens é necessária para alimentar a tocha, com gás de orifício, de proteção, o líquido de refrigeração para resfriar o conjunto do bocal de constrictão.

Tocha manual

Ela é geralmente leve e tem uma maçaneta, algum dispositivo de segurança para posicionar o eletrodo de tungstênio e conduzir a corrente até ele, além das tubulações acima citadas. A tocha manual varia de 70 a 90° de ângulo e o bocal é feito de cobre.

Tocha mecanizada

É parecida com a tocha manual, exceto que ela é projetada com linhas retas e outras configurações de equilíbrio na fixação. É muito usada com a polaridade variável (ondas quadradas em AC) para soldar com alumínio.

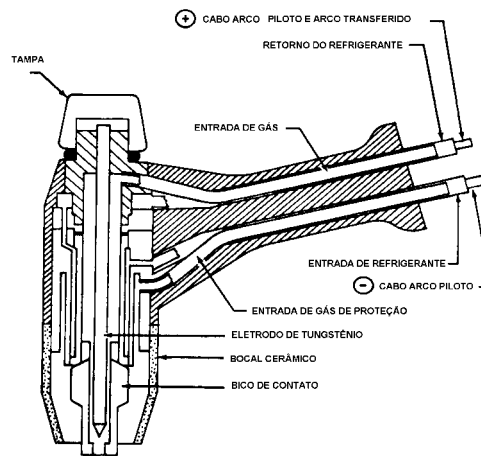


FIGURA 14 - Detalhe para a tocha de soldagem PAW



FIGURA 15

1.5.2 - Fontes de energia

Para o processo PAW, as fontes de potência convencionais usadas são do tipo DCEN. Entretanto, retificadores são preferidos ao invés de geradores, devido às características elétricas de saída.

A fonte de potência DCEN é usada para a maioria das aplicações de soldagem a arco com plasma. O eletrodo de tungstênio ou tungstênio torinado (com óxido de tório) e o arco transferido são os mais usados. A corrente de soldagem varia entre 0.1 e 500 A. São comumente soldados com o processo PAW, os seguintes materiais:

- Ligas de aço;
- Aços inoxidáveis;
- Ligas de níquel;
- Titânio e suas ligas.

As fontes DCEP são reservadas para uso limitado de soldagem do alumínio mas um aquecimento excessivo do eletrodo limita o uso desta polaridade a níveis de correntes menores do que 100 A.

A corrente alternada com estabilização de alta frequência pode ser usada para soldagem de alumínio e ligas de magnésio. A corrente varia entre 10 e 100 A pois maiores amperagens poderiam danificar o eletrodo durante o ciclo positivo da onda. A corrente AC é usada pois permite a remoção de óxidos na superfície da peça de alumínio que é bombardeada pelos íons positivos vindo do eletrodo, limpando assim a superfície da peça a ser soldada. Este fenômeno é chamado de *"cathodic etching"*.

Um retificador com tensão de abertura de circuito (OPEN CIRCUIT VOLTAGE -OCV) na faixa de 65 a 80v é satisfatório para este processo, com argônio ou com mistura de argônio e hidrogênio contendo acima de 7% de hidrogênio. Entretanto, se o hélio ou a mistura argônio/hidrogênio forem usados, uma tensão de abertura de circuito adicional é necessária para uma ignição do arco confiável.

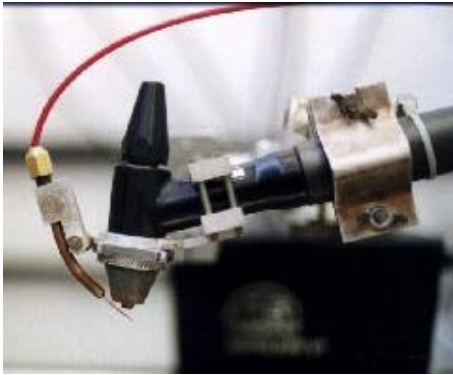
Para certas aplicações, o uso de corrente pulsada é essencial. Nestes casos, a fonte de potência tem capacidade de pulsar altos níveis de corrente. Existem fontes de potência com corrente pulsada possuindo frequências de pulso variáveis.

A soldagem do alumínio com a cratera tem sido feita com ondas quadradas de corrente AC com polaridade variável. Este tipo de onda, onde a duração e a magnitude de oscilações de corrente DCEN e DCEP podem ser controlados separadamente, pode ser obtido com tecnologia sólida. Com polaridade variável, não há necessidade de óxidos antes da soldagem.



1.5.3 – Alimentador de arame

Como boa parte das soldas realizadas são autôgenas (sem adição de material) este equipamento é mais difícil de se ver. O conjunto que ilustra esta seção está sendo desenvolvido pela equipe do LABSOLDA da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).



FIGURAS 19 E 20 – Alimentador de arame

1.5.4 – Recirculador de água (interno ou externo)

Utilizado na refrigeração da tocha de soldagem



FIGURA 21

1.5.5 - Acessórios

Nesta categoria estão enquadrados vários equipamentos tais como medidores de fluxo de gás de proteção, proteções para as tochas quando da realização de solda sub aquática, afiador de eletrodos, etc.



FIGURA 22 - Protetor para solda subaquática

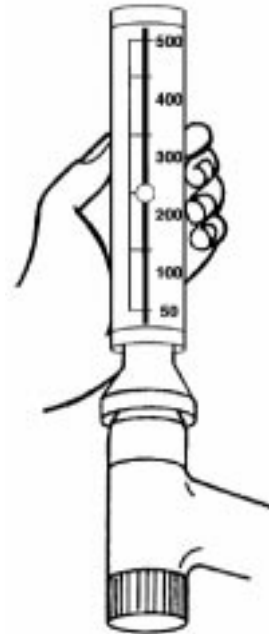


FIGURA 23 - Medidor de fluxo

1.6 - Consumíveis

1.6.1 – Metais de adição

Os metais abaixo listados seguem a norma AWS. Para todos os casos os mesmos podem ser fornecidos sob a forma de rolo ou arame. No caso do aço de médio teor o mesmo é utilizado na união de arames utilizados em outros processos de soldagem.

- Cobre
- Alumínio
- Níquel
- Titânio
- Zircônio
- Magnésio
- Aços de médio teor
- Cromo

1.6.2 – Gases Utilizados

No caso do processo PAW são utilizados dois gases: um que é utilizado na criação do Plasma e outro que é utilizado para a proteção da poça de soldagem.

Os mais utilizados são os seguintes:

- Argônio
- Hélio
- Mistura de Argônio e Hélio
- Mistura de Argônio e Hidrogênio

2 – Vantagens e Limitações

O processo PAW possui inúmeras vantagens, sendo que boa parte delas se aplicam em relação ao processo GTAW.

- Eletrodo protegido, o que oferece longos intervalos entre sua manutenção
- Capacidade de soldagem em baixa corrente
- Densidade de energia de arco chega a ser três vezes mais alta do que no processo GTAW.
 - 1) As velocidades de soldagem são maiores em algumas aplicações.
 - 2) Baixas correntes são necessárias para produzir um determinado tipo de solda, gerando um menor encolhimento. As distorções são reduzidas de 50%.
 - 3) A penetração pode ser controlada variando-se as variáveis de soldagem.
- Solda em intervalos de até 5 mili-segundos
- Alto volume de produção
- Solda elementos de baixa espessura
- A estabilidade do arco é comprovada;
- A coluna do arco tem maior estabilidade direcional;
- Cavidades estreitas (razão entre profundidade e largura) para uma dada penetração, resultando em menor distorção;
- A necessidade de fixação da tocha é menor em algumas aplicações;
- Variações no **standoff** têm pouco efeito sobre a largura da solda ou a concentração de calor na peça.
- Menor zona termicamente afetada.

Em relação às limitações podemos dizer o seguinte:

- Necessário grande conhecimento do processo
- A tocha utilizada é de construção mais difícil
- Pequena tolerância para desalinhamento da junta de solda, devido ao arco estreito;
- As tochas de soldagem manual com plasma são geralmente difíceis de serem manipuladas se comparar com as tochas GTAW;
- Para uma qualidade consistente da solda, o bocal de constrição deve ser bem mantido e regularmente inspecionada para detectar sinais de deterioração.

3 – Qualidade da Solda

Para realização da solda são utilizados duas formas de arco: o transferido e o não transferido.

Arco Transferido

O Arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo e a poça de soldagem. O arco transferido produz um aquecimento entre o ânodo e o fluxo de plasma. Este modo é utilizado para a soldagem propriamente dita devido à maior energia transferida para a peça.

Arco não Transferido

O arco elétrico é estabelecido entre o eletrodo e o bocal de constrição. Este modo é mais utilizado no processos de corte e na união de peças de material não condutor ou para aplicações onde se deseja baixa concentração de energia.

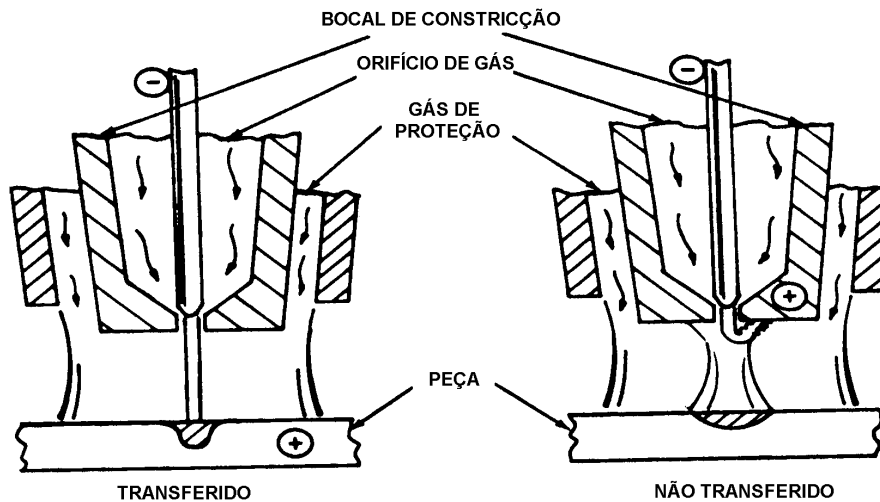


FIGURA 24 - Tipos de arcos do processo PAW

Obs.: Se o fluxo de gás de orifício for insuficiente, ou tiver uma corrente excessiva para uma dada geometria do bocal, ou se o bocal for encostado na peça, este pode ser danificado devido a um fenômeno chamado arco duplo ou *double arcing*. Neste caso, o bocal forma uma parte do caminho de retorno da corrente, do eletrodo para a fonte de potência. Assim, tem-se dois arcos, um do eletrodo para o bocal, e o outro do bocal para a peça de trabalho.

Em relação à sua utilização também é feita uma classificação em virtude das correntes utilizadas.

Micro Plasma

O arco do Micro Plasma pode ser operado com baixas correntes de soldagem. A coluna do arco permanece estável mesmo quando o comprimento do arco é variado até 20mm. A faixa de corrente utilizada situa-se entre 0,1 e 15 Ampères.

Plasma de média corrente

Esta forma de arco plasma possui corrente de soldagem na faixa entre 15 e 200 Ampères. Suas características de processos são bem similares ao processo GTAW.

Processo Keyhole

O processo PAW é um dos processos de soldagem com proteção gasosa operado com a formação de Keyhole (cratera). Este tipo de poça é característico do processo PAW e pode ser visto nas figuras 25 e 26. Ela é obtida na posição vertical, em materiais de espessura variando de 1/16 a 3/8 in.(1.6 a 9.5mm). Na operação, o metal fundido é deslocado para

superfície da poça pelo fluxo do plasma para formar a cratera. Sua faixa de corrente é acima de 100Amperes.

Através do incremento da corrente de soldagem e do fluxo de gás para geração do Plasma, um poderoso jato de Plasma é criado e este pode alcançar penetração total em um material com o metal fundido fluindo para trás de si para formar a junta soldada. Este processo pode ser utilizado para soldar materiais em um único passe.

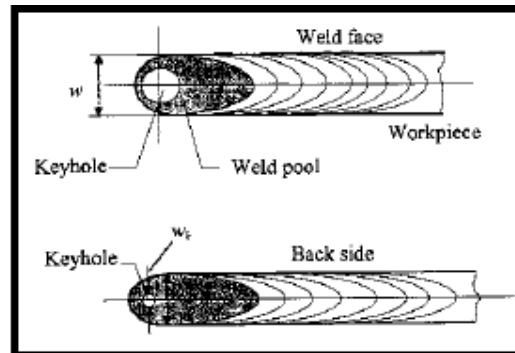


FIGURA 25 E 26 - Keyhole

As vantagens do processo PAW com formação de Keyhole são:

- A cratera aberta ajuda a remover gases que, em outras circunstâncias, seriam aprisionados como porosidades no metal fundido.
- A zona de fusão simétrica da solda com cratera reduz a tendência a distorções transversais.
- Maior penetração na junta reduz o número de passos necessários, muitas soldas podem ser completadas num único passo.

Existem algumas limitações tais como:

- Os procedimentos de soldagem envolvem mais variáveis de processo, restringindo ainda mais a operação;
- Maior habilidade do soldador é necessária em operação manual.
- A tocha deve ser bem mantida para uma operação consistente.

3.1 - Descontinuidade no Processo de Solda PAW

Existem 2 tipos de descontinuidades que devem ser controlados: As descontinuidades superficiais e as abaixo da superfície. Como descontinuidades superficiais, existem os reforços na superfície, o enchimento ruim na raiz, o péssimo encaixe das partes da junta, e as bordas do solda mal acabadas. Este defeitos são associados aos contornos da solda e ao alinhamento da junta. São facilmente detectáveis e dimensionáveis. A falta de penetração também pode ser observada assim como as trincas na superfície. A insuficiência de gases de proteção pode favorecer a contaminação da superfície.

A descontinuidades abaixo da superfície são detectadas por radiografia e testes de ultra-som. São as porosidades devido ao desalinhamento da tocha ou pela combinação imprópria das variáveis de soldagem ou mesmo a velocidade de percurso inadequada. Pode ocorrer fusão incompleta devido ao calor insuficiente, e a contaminação sob superfície por causa da transferência do cobre do bocal para a poça de fusão, na ocorrência do arco duplo.

4 – Considerações Quanto à Segurança

O arco formado entre o eletrodo de tungstênio e a poça de fusão é formado por um gás inerte. Como o metal de adição é adicionado diretamente na poça de fusão, o metal não passa através do arco então é considerável menor a emissão de fumos. Em locais de trabalho abertos, a exposição a partículas de fumo normalmente será menor que o Limite de Exposição Ocupacional (OEL em Inglês), que é de 5mg/m^3 .

No caso da soldagem de alumínio ou de aço inox são gerados níveis inaceitáveis de ozônio. Por causa disso, devem ser providenciados meios para que o mesmo seja retirado do ambiente de trabalho.

Também deverão ser providenciados cuidados quanto aos campos elétricos e magnéticos que são gerados.

Referências Bibliográficas

Bracarence, Alexandre Q.: *Processo de Soldagem PAW*, editado pelo autor
Belo Horizonte, 2000

AWS : *Welding Handbook*, editado nos USA, 1991

Internet :

<http://www.aga.com>

<http://www.pro-fusiononline.com>

<http://www.twi.co.uk>

<http://www.thermalarc.com>

<http://www.joinigtech.com>

<http://www.sci.kun.nl>