

## Soldagem a Plasma

Prof. Luiz Gimenes Jr.  
Engº Roberto Joaquim

### INTRODUÇÃO

Usualmente a definição de plasma é tida como sendo o quarto estado da matéria. Costuma-se pensar normalmente em três estados da matéria sendo eles o sólido, líquido e gasoso.

Considerando o elemento mais conhecido, a água, existem três estados, sendo o gelo, água e vapor.

A diferença básica entre estes três estados é o nível de energia em que eles se encontram. Se adicionarmos energia sob forma de calor ao gelo, este transformará-se em água, que sendo submetida a mais calor, vaporizará, ver figura abaixo.



*Figura 1 - Plasma o quarto estado da matéria*

Porém se adicionar-mos mais energia, algumas de suas propriedades são modificadas substancialmente tais como a temperatura e características elétricas.

Este processo é chamado de ionização, ou seja a criação de elétrons livres e íons entre os átomos do gás.

Quando isto acontece, o gás torna-se um "plasma", sendo eletricamente condutor, pelo fato de os elétrons livres transmitirem a corrente elétrica.

Alguns dos princípios aplicados à condução da corrente através de um condutor metálico também são aplicados ao plasma.

Por exemplo, quando a secção de um condutor metálico submetido a uma corrente elétrica é reduzida, a resistência aumenta e torna-se necessário aumentar-se a tensão para se obter o mesmo número de elétrons atravessando esta secção, e conseqüentemente a temperatura do metal aumenta.

O mesmo fato pode ser observado no gás plasma; quanto mais reduzida for a secção tanto maior será a temperatura.

### ***Arco Plasma***

A expressão arco plasma é utilizada para descrever uma família de processos que utilizam um arco elétrico conscrito.

Processos a arco plasma são empregados para soldar, cortar e fazer revestimentos (com pós metálicos ou cerâmicos).

Em uma tocha plasma a ponta do eletrodo (não consumível) é recolhida em um bocal, através do qual o gás plasma flui.

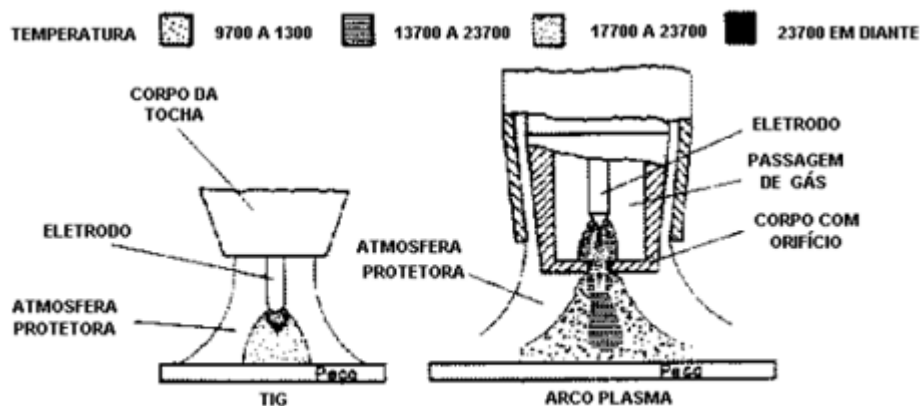
O gás ioniza-se ao passar pelo arco elétrico formando o plasma (dissociação das moléculas em átomos e estes em íons e eletrons).

Aquecido dentro do bocal, o plasma sofre uma enorme expansão e, por ter que sair através de um pequeno orifício adquire altas velocidades (na ordem de 6 Km/s) acentuando o fenômeno de dissociação.

Quando fora do bocal, os íons recombina-se para voltar ao estado gasoso, liberando uma energia tal que o leva a temperaturas acima de 25 000 °C.

Esta energia é, então, utilizada para fundir o metal de base e o metal de adição.

A Figura abaixo apresenta um arco elétrico TIG e plasma com indicação das temperaturas alcançadas.



*Figura 2 - Temperaturas de Plasma*

### ***Princípios básicos do processo de soldagem plasma***

O processo de soldagem plasma assemelha-se muito ao processo TIG, pelo fato de se utilizar eletrodos não consumíveis e gases inertes.

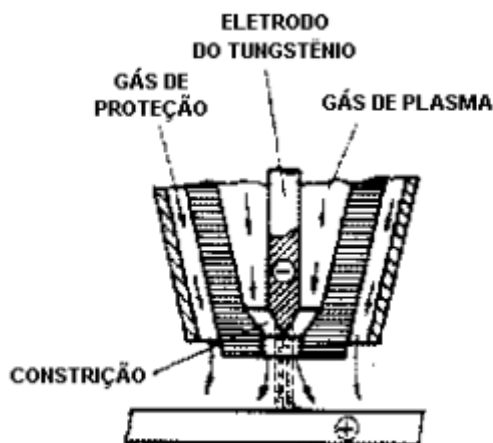
As diferenças são tipo de tocha, tensão do arco elétrico, além dos recursos necessários à fonte de energia.

É importante notar que os dois processos possuem regiões com as mesmas temperaturas máximas, porém, com a constrição do arco, obtém-se uma substancial modificação da concentração de calor na superfície da peça tornando-a mais favorável ao processo de soldagem.

O gás de plasma recombinado não é suficiente para a proteção da região soldada e da poça de fusão, deste modo, é fornecido um fluxo gasoso suplementar e independente para proteção contra a contaminação atmosférica.

O primeiro fluxo, que constituirá o jato de plasma, circunda o eletrodo e passa através de um orifício calibrado constrengendo o arco elétrico.

O fluxo de gás de proteção corre entre o corpo que contém o orifício e uma cobertura exterior. A Figura abaixo ilustra, em corte, um bocal de uma pistola plasma.



*Figura 3 - Sistema básico*

## **EQUIPAMENTOS**

### **Fontes de energia**

A fonte de energia utilizada é de corrente constante, podendo ser retificador, gerador ou inversores, utilizando-se corrente contínua, polaridade direta.

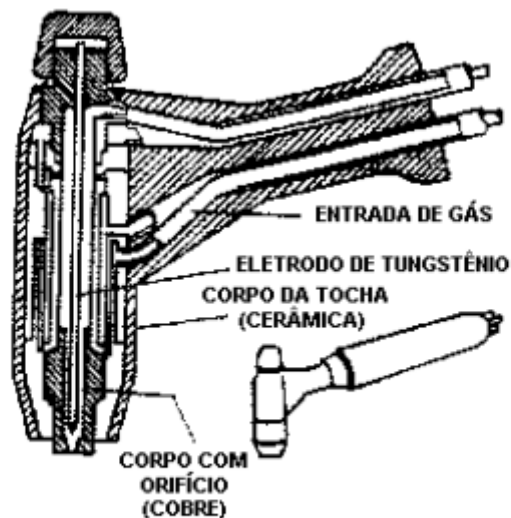
As fontes para soldagem plasma diferem das de corte, porque no corte a tensão em vazio do equipamento deve ser superior a 200V.

Fontes com tensão em vazio entre 65V e 80 V podem ser adaptadas para soldagem colocando-se sistemas de abertura de arco piloto, pré e pós vazão.

### **Tocha de soldagem**

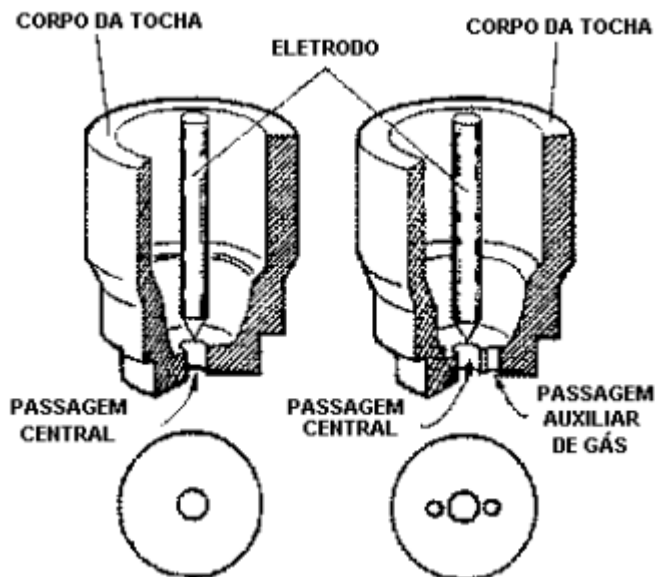
As tochas são providas de um punho para o manuseio do soldador; um conjunto de pinças para a fixação do eletrodo, condutos para passagem de gás e água de refrigeração, um bico de cobre com o orifício para a construção do arco elétrico e um bocal de cerâmica para isolamento e proteção do operador.

A figura abaixo apresenta uma pistola típica para soldagem manual a plasma.



*Figura 4 - Pistola plasma manual*

Algumas tochas têm somente um orifício central para a passagem do gás e arco, outras possuem outros orifícios para a passagem do gás auxiliar, permitindo maiores velocidades de soldagem figura abaixo.



*Figura 5 - Orifício de tocha plasma*

O diâmetro do orifício central deve ser escolhido de acordo com a corrente elétrica a ser utilizada, como mostra o quadro abaixo.

**Quadro - Relação Diâmetro do Orifício/Corrente Elétrica**

<b>Diâmetro do Orifício (mm)</b>	<b>Corrente (A)</b>
0,76	1 a 25
1,32	20 a 55
2,18	40 a 100

### **Eletrodos**

O eletrodo utilizado é de tungstênio comercialmente puro (99,5%), ou tungstênio dopado com tório ou zircônio, não sendo consumível.

Para cortes em alta velocidade tem-se utilizado um eletrodo de tungstênio dopado com óxido de lantânio, de vida mais longa que os anteriores. São classificados pela Norma DIN 32528 (1) e (2).

## **CONSUMÍVEIS**

### **Gases**

Em soldagem plasma, pode-se utilizar o mesmo tipo de gás tanto para a formação do plasma, quanto para a proteção adicional da poça de fusão.

O argônio tem sido o preferido na soldagem com baixas correntes em função do seu maior potencial de ionização.

Ele promove uma melhor limpeza das camadas de óxidos de metais reativos e facilita a abertura do arco elétrico.

Podem-se aplicar outros gases inertes como o hélio puro ou misturado com argônio, porém estes requerem tensões mais altas para abertura do arco.

A utilização do He desenvolve maior energia no plasma, portanto, a refrigeração do bocal do orifício tem que ser muito mais eficiente.

A seleção do gás de proteção depende do tipo e da espessura do metal de base a ser soldado.

A Tabela ilustra exemplos de seleção.

**TABELA PAW 01 - Gases recomendados para processo plasma em função do material soldado, sua espessura e a técnica utilizada.**

<b>METAL</b>	<b>ESPESSURA (mm)</b>	<b>MODO DE PENETRAÇÃO ARCO NÃO TRANSFERIDO</b>	<b>MODO DE PENETRAÇÃO ARCO TRANSFERIDO</b>
<i>Alumínio</i>	< 1,5	Não se recomenda a técnica	Argônio ou Hélio
<i>Alumínio</i>	> 1,5	Hélio	Hélio
<i>Aços Carbono</i>	< 1,5	Não se recomenda a técnica	Argônio ou Ar + 25% He
<i>Aços Carbono</i>	> 1,5	Argônio ou Ar + 75% He	Argônio ou Ar + 25% He
<i>Aços Baixa Liga</i>	< 1,5	Não se recomenda a técnica	Argônio, Hélio ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>
<i>Aços Baixa Liga</i>	> 1,5	Argônio ou Ar + 75% He ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>	Argônio, Hélio ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>
<i>Aços Inoxidáveis</i>	< 1,5	Argônio ou Ar + 75% He ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>	Argônio, Hélio ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>
<i>Aços Inoxidáveis</i>	> 1,5	Argônio ou Ar + 75% He ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>	Argônio, Hélio ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>
<i>Cobre</i>	< 1,5	Não se recomenda a técnica	Ar + 75% He, Ar + 25% He ou Hélio
<i>Cobre</i>	> 1,5	Ar + 75% He ou Hélio	Hélio
<i>Ligas de Níquel</i>	< 1,5	Argônio ou Ar + 75% He ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>	Argônio + 25% ou 75% He ou Hélio
<i>Ligas de Níquel</i>	> 1,5	Argônio ou Ar + 75% He ou Ar + 1 a 5% H <sub>2</sub>	Argônio + 25% ou 75% He ou Hélio
<i>Metais Reativos</i>	< 1,5	Argônio, Ar + 75% He ou Hélio	Argônio
<i>Metais Reativos</i>	> 1,5	Argônio, Ar + 75% He ou Hélio	Argônio ou Ar + 75% He

Misturas de argônio e hidrogênio também são utilizadas, as principais vantagens do H<sub>2</sub> são seu caráter redutor e a sua capacidade de aumentar a composição do arco, reduzindo, assim, o risco de mordeduras e aumentando a velocidade de soldagem.

A Tabela abaixo ilustra essa utilização do H<sub>2</sub>, quando da soldagem de chapas espessas.

**TABELA PAW 02 - Gases de misturas recomendados para soldagem plasma de chapas em espessuras até 10 mm.**

<b>METAIS</b>	<b>ESPESSURA (mm)</b>	<b>MODO DE PENETRAÇÃO ARCO NÃO TRANSFERIDO</b>	<b>MODO DE PENETRAÇÃO ARCO TRANSFERIDO</b>
<i>Aços Carbono</i>	< 3	Argônio	Argônio
<i>Aços Carbono</i>	> 3	Argônio	Ar + 75% He
<i>Aços Baixa Liga</i>	< 3	Argônio	Argônio
<i>Aços Baixa Liga</i>	> 3	Argônio	Ar + 75% He
<i>Aços Inoxidáveis</i>	< 3	Argônio ou Ar + 7,5% H <sub>2</sub>	Argônio
<i>Aços Inoxidáveis</i>	> 3	Argônio ou Ar + 7,5% H <sub>2</sub>	Ar + 75% He
<i>Cobre</i>	< 2,5	Argônio	Ar + 75% He ou Hélio
<i>Cobre</i>	> 2,5	Não se recomenda a técnica	Hélio
<i>Ligas de Níquel</i>	< 3	Argônio ou Ar + 7,5% H <sub>2</sub>	Argônio
<i>Ligas de Níquel</i>	> 3	Argônio ou Ar + 5% H <sub>2</sub>	Ar + 75% He
<i>Metais Reativos</i>	< 6,5	Argônio	Argônio
<i>Metais Reativos</i>	> 6,5	Argônio ou Ar + 75% He	Ar + 75% He

### **Metais de adição**

A maioria das soldagens por este processo não requer metal de adição face a sua concentração de calor e facilidade de fusão das partes, porém, caso haja necessidade, o metal de adição apresenta-se na forma de vareta ou arame enrolado em bobinas.



Na soldagem manual a técnica de deposição é por gotejamento, sendo adicionado por uma das mãos enquanto a outra controla o banho de fusão.

Na soldagem automática bobina de arame é colocada em um alimentador automático com velocidade constante.

Este sistema é utilizado quando a corrente de soldagem ultrapassa 100 A, e pode ainda ser aplicado com pré-aquecimento do arame por efeito "Joule" passando-se uma corrente elétrica através deste antes de atinjar poça de fusão, como ilustra a figura abaixo

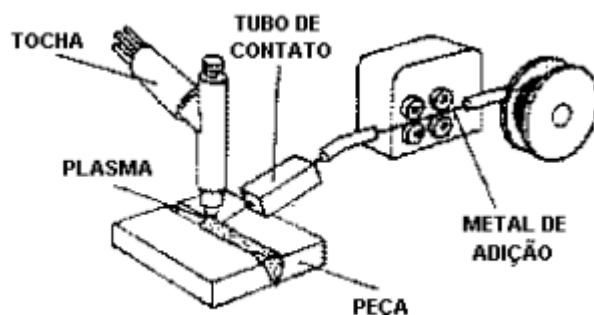


Figura 6

## **VARIÁVEIS**

### ***A Corrente de soldagem***

Pode ser baixa se comparada ao processo TIG. No processo conhecido como microplasma trabalha-se com correntes iniciais em faixas tão baixas quanto 0,1 à 1 A e máxima de 20 A, ou elevadas pois o processo admite a utilização de correntes até 500 A.

De uma forma arbitrária, costuma-se demarcar a fronteira de 100 A como o limite de baixas correntes e, acima dela, para as chamadas altas correntes.

### ***A configuração da corrente***

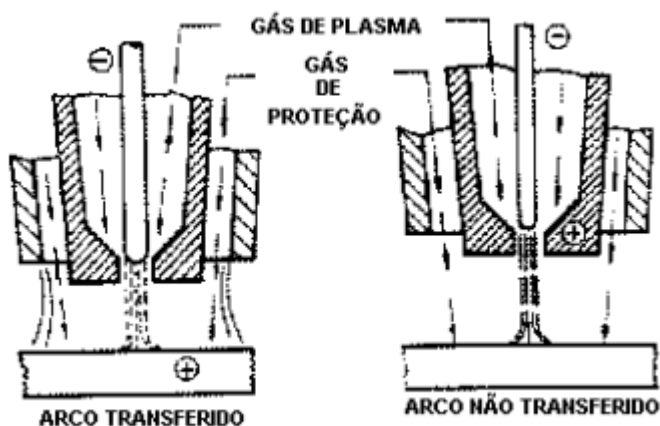
Típica é corrente contínua, polaridade direta, porém para soldagem de alumínio, trabalha-se com polaridade inversa ou corrente alternada, esta última causa uma certa instabilidade de arco.

## **A Tensão**

A tensão de arco é menos sensível a uma variação do comprimento do arco, garantindo, assim, uma maior estabilidade dos parâmetros sendo superiores à do processo TIG, em valores de 50 V ou maiores.

## **TÉCNICAS**

O processo a arco plasma possui duas técnicas principais, sendo por arco transferido e não transferido, apresentadas na figura abaixo.



*Figura 7 - Técnicas plasma*

### **Sistema de arco plasma transferido**

Este é o sistema mais comum, após a abertura do arco piloto entre o eletrodo e o bocal, o arco se transfere para a peça por aproximação, fluindo do eletrodo para a mesma, extinguindo-se o arco piloto. Ao se afastar a pistola da peça, o arco se extingue.

### **Sistema de arco plasma não transferido**

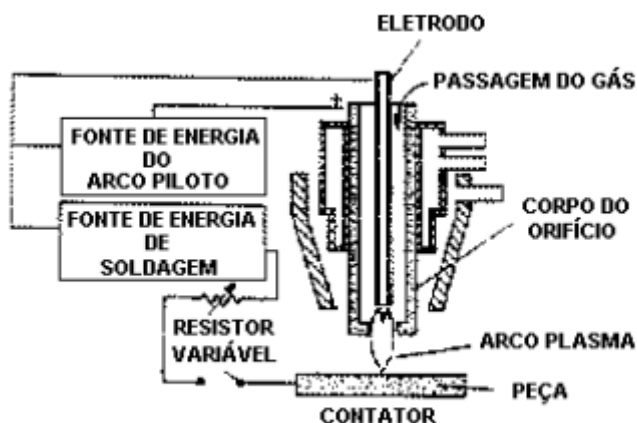
Neste sistema, o arco piloto é intensificado "soprado" para fora do bocal aproveitando-se o calor gerado pelo mesmo.

O jato plasma emergente é utilizado principalmente para corte de materiais não metálicos (não condutores) e revestimentos por aspersão de pós metálicos (ou cerâmicos), fundidos.

## **Abertura de arco**

### **Para correntes abaixo de 100 A.**

O sistema utiliza duas fontes de energia, uma pequena para a abertura do arco piloto e a outra para fornecer a corrente de soldagem figura abaixo.



*Figura 8 - Sistemas de baixa corrente*

A fonte auxiliar conecta o eletrodo com o bocal. Na partida, o eletrodo é avançado manualmente até tocar no bocal, em seguida é retraído de forma a romper o arco piloto. O arco ioniza o gás formando o plasma, permitindo fluxo normal da corrente de soldagem.

### **Para correntes acima de 100 A**

O arco é iniciado pelo auxílio de uma corrente de alta frequência e elevada tensão, exatamente como no processo TIG.

## **CARACTERÍSTICAS**

### **Vantagens**

As vantagens do processo de soldagem a arco plasma, em relação ao processo TIG ou outros processos de soldagem convencional são apresentadas abaixo.

- maior concentração de energia e densidade de corrente, consequentemente, menores distorções, maiores velocidades de soldagem e maiores penetrações.
- maior estabilidade do arco em baixos níveis de corrente, permitindo a soldagem de finas espessuras (a partir de 0.05 mm)
- o arco é mais "homogeneo" e de maior extensão, permitindo melhor visibilidade operacional, maior constancia da poça de fusão e menor sensibilidade a variações no comprimento do arco.
- menor probabilidade de contaminação do cordão por inclusões de tungstênio e de contaminação do eletrodo pelo material de adição uma vez que o mesmo encontra-se dentro do bocal.

### ***Desvantagens***

- alto custo do equipamento (2 a 5 vezes mais que o TIG);
- manutenção da pistola mais freqüente (orifício calibrado) e cara; maior consumo de gases;
- exigência de maior qualificação da mão de obra.

### ***Materiais soldáveis pelo processo arco plasma***

O processo a arco plasma é utilizado para unir a maioria dos metais que podem ser soldados pelo processo TIG.

Assim, aços carbono, aços ligas, aços inoxidáveis, ligas refratárias, ligas de titânio, etc., são soldadas convenientemente por este processo.

Este processo de soldagem pode, também ser aplicado em espessuras de 0,02 até 6 mm, de forma econômica.

Para espessuras de 2,4 a 6 mm é utilizada uma técnica de soldagem conhecida por key hole.

### ***Micro-plasma***

Quando a corrente de soldagem estiver contida entre os valores de 0.1 A a 20 A designa-se o processo por "micro plasma".

O gás de proteção é geralmente uma mistura de argônio-hidrogênio com um teor de H<sub>2</sub> até 10%, porque o Hidrogênio possui uma elevada condutibilidade térmica, permitindo a retirada de calor nas zonas limítrofes do núcleo do plasma é impedido um alargamento do arco elétrico.

### ***Técnica key hole e aplicações***

Enquanto na soldagem TIG o limite para a penetração total numa junta de topo paralela é normalmente 3,5 mm, utilizando-se a técnica do key hole do plasma, pode se unir chapas de até 8 mm de espessura.

Na soldagem plasma com a técnica key hole a preparação das juntas é decisiva para o resultado da soldagem. As juntas de topo podem ser ajustadas para executar soldas sem metal de adição.

Com ajustes pouco precisos trabalha-se com arame de adição, neste caso, na preparação dos chanfros a altura do nariz pode ser maior, reduzindo o volume de metal de adição.

### ***A utilização do key hole aplica-se nas seguintes áreas:***

- fabricação de tubos (canos com soldas longitudinais e em espiral de fitas, canos pré-dobrados com solda longitudinal em tubo). Esta técnica apresenta como vantagem maiores velocidades de soldagem com menor aporte de calor (35% menos) e a possibilidade de unir chapas até 8 mm sem a necessidade de preparação de chanfros.

## **OUTRAS INFORMAÇÕES**

### ***Bibliografia***

Welding Handbook vol 2 8º edition 1991

Curso de Especialização de Engenheiros na Área de Soldagem

Processos Especiais de Soldagem

Luiz Gimenes Jr. e Marcos Antonio Tremonti