

# **SOLDAGEM HÍBRIDA - PLASMA/GMAW E PLASMA-GTAW**

James F. C. Machado - [jamesfcmachado@gmail.com](mailto:jamesfcmachado@gmail.com)

André Ferreira dos Santos - [dc.andresantos@gmail.com](mailto:dc.andresantos@gmail.com)

Daniel de Jesus - [danielmostbosa@gmail.com](mailto:danielmostbosa@gmail.com)

Professor Luiz Gimenes – Orientador [gimenes@infosolda.com.br](mailto:gimenes@infosolda.com.br)

Fatec-SP Junho/2017

## **1 INTRODUÇÃO**

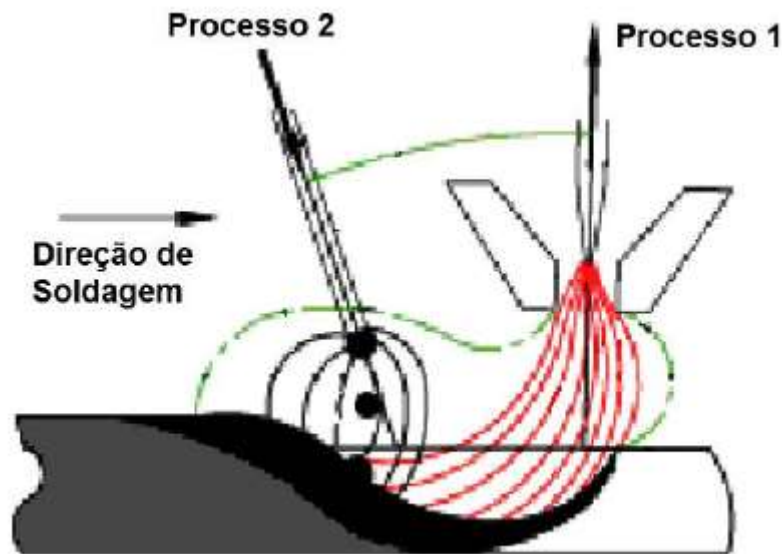
A soldagem híbrida consiste na combinação de diferentes tipos de soldagem em um mesmo processo resultando em características próprias, neste contexto, destacam-se os processos de soldagem híbrida PLASMA/GTAW e PLASMA/GMAW, obtida com a junção das soldagens em uma mesma zona de fusão.

A busca por inovações e diferentes métodos de soldagem é crescente em virtude da globalização e da competitividade industrial, sendo que meios alternativos podem ser um diferencial em determinados processos.

A utilização de métodos de soldagem híbrida, vem sendo utilizado em casos em que processos de soldagem convencionais não satisfazem as necessidades de união em determinado produto, ou em casos onde se deseja aperfeiçoar a soldagem de materiais em relação à produtividade, qualidade e competitividade, desta forma, necessitando-se de diferentes soluções.

Segundo Messler (2004), o processo de soldagem híbrida começou a apresentar um desenvolvimento a partir dos anos de 1970.

Campana *et al.* (2007), destaca que a soldagem híbrida consiste em duas diferentes tecnologias de soldagem acopladas juntas. Ilustra-se na Figura 1 um processo de soldagem híbrida, composto pela junção de dois tipos de soldagem.



**Figura 1 – Processo de soldagem híbrida**  
**Fonte: Adaptado de Dykhno; Davis, 2006.**

Segundo Nielsen (2011) podem se destacar algumas vantagens na utilização do processo de soldagem híbrida como: aumento na penetração do cordão, aumento na velocidade de soldagem, redução nas taxas de calor (com uma estreita zona afetada pelo calor) e melhor energia acoplada ao sistema.

Os processos híbridos são aplicáveis, principalmente, em casos em que há limitações nas tolerâncias de determinado projeto ou produto, sendo que as mesmas não podem ser cumpridas utilizando-se apenas um processo individual (NIELSEN, 2011).

Da mesma forma que o processo apresenta vantagens, o mesmo possui algumas desvantagens e limitações. Além do elevado custo de operação, o processo é complexo e com mais variáveis quando comparado a processos individuais, possuindo parâmetros adicionais como a distância e ângulo entre as tochas dos dois diferentes tipos de soldagem, a relação entre as potências e a influência que os parâmetros podem apresentar entre si (NIELSEN, 2011).

## **1 PROCESSO PLASMA/ GTAW**

### **2.1 Introdução**

O processo de soldagem por Plasma-GTAW nada mais é que a união de dois processos de soldagem com excelente avanço tecnológico, a união desses dois processos resultará em um processo de soldagem híbrida de alta qualidade unindo as melhores características de cada processo em um único processo de soldagem. Além de conseguirmos excelente qualidade na soldagem e uma deposição de material extremamente alta temos que levar em consideração que as limitações particulares a cada processo poderão aparecer nessa união de processos, por isso se faz necessário um melhor estudo para que no momento de sua aplicação essa limitação possa ser controlada ou reduzida.

Sabemos também que processos de soldagem a plasma são processos de alto avanço tecnológico e que necessitam de um investimento considerável, por outro lado o processo GTAW já é um processo mais difundido até em conhecimento técnico e operacional onde o investimento não será tão agressivo em vista do plasma.

Precisamos sempre levar em consideração que a soldagem deve ser preparada e executada com cuidado, o processo de soldagem sempre traz ZTA (zona termicamente afetada). Isso é algo inerente ao processo e qualquer que seja o processo de soldagem ela

irá aparecer, em menor ou em maior espessura. Porém com alguns cuidados e conhecimento do metal de base podemos diminuir em muito sua incidência na junta soldada.

## **2.2 Definições**

### **2.2.1 O que é plasma?**

Em temperaturas muito elevadas o gás se torna altamente ionizável (os átomos perdem seus elétrons). Sendo assim, o plasma é constituído de elétrons livres, íons e átomos neutros de forma que a carga elétrica total seja nula. Como são formados de elétrons livres, plasmas são ótimos condutores de eletricidade. Podemos dizer que o estado físico da matéria está diretamente relacionado à temperatura e à pressão em que está submetido. O plasma também pode existir em baixas temperaturas, como por exemplo podemos citar a lâmpada fluorescente, à medida que aumentamos a temperatura de um determinado material em uma pressão constante, o estado físico da matéria se altera. Então, adicionando-se energia o sólido passa para o líquido, esse se transforma em gás, e conclui a transformação no estado de mais alta energia que é o estado plasma.

### **2.2.2 O que é o processo de soldagem por arco plasma?**

A Associação Americana de Soldagem (AWS, de American Welding Society), define o processo de Soldagem a Arco Plasma como:

“É um processo de soldagem a arco que produz a coalescência de metais pelo aquecimento gerado a partir de um arco constrito, que pode ser arco transferido (entre o eletrodo e a peça) ou arco não-transferido (entre o eletrodo e o bocal de constrição). A proteção é obtida do gás aquecido e ionizado emitido pela tocha, mas geralmente essa proteção pode ser insuficiente e é suplementada por uma fonte auxiliar de gás denominada gás de proteção, que pode ser um gás inerte ou uma mistura de gases inertes. A pressão não é aplicada, e o processo pode utilizar metal de adição. (Welding Handbook 8º Edition, 1991, tradução).”

### **2.2.3 Soldagem Plasma – Melt-in**

O modo melt-in possui uma poça de fusão semelhante ao processo TIG, onde a poça de fusão tem uma forma de calota esférica na região de incidência do arco. ASM Handbook (1993).

### **2.2.4 Soldagem Plasma – Keyhole**

Conforme ASM Handbook (1993), no modo keyhole o arco penetra totalmente no material da peça formando um furo que atravessa a espessura da mesma. Com o deslocamento da tocha, a poça de fusão segue no entorno da coluna de plasma, enquanto que o material atrás do keyhole é solidificado. A Figura 2 mostra a tocha de soldagem Plasma e as características do cordão de solda resultante.

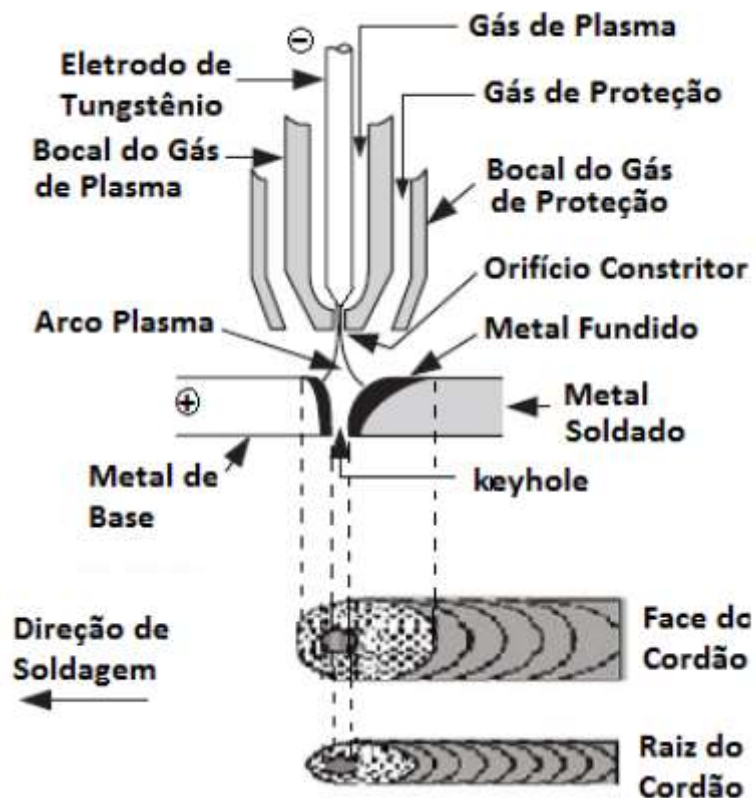
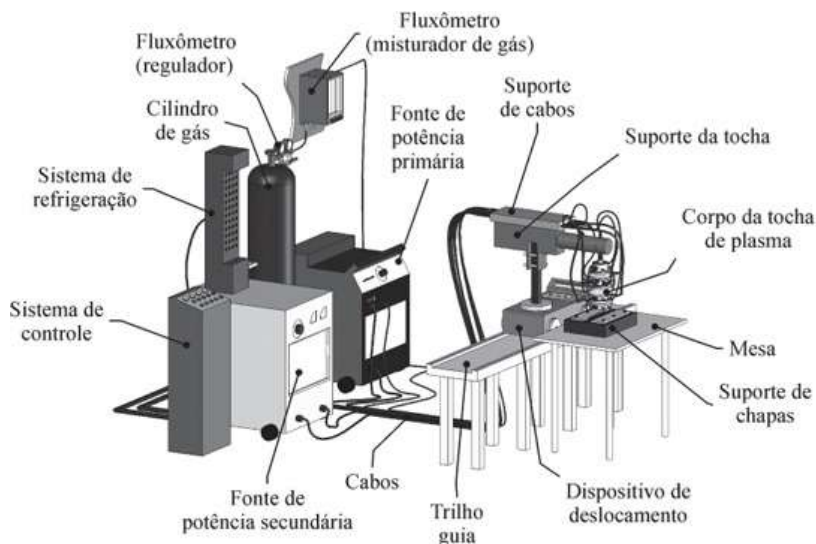


Figura 2 – Detalhes da tocha e da poça de fusão.  
Fonte: Adaptado de Kou, 2003.

“Conforme Wu, Jia e Chen (2010), a faixa de operação dos parâmetros quando se utiliza o modo keyhole é estreita, especialmente a faixa de corrente empregada. Se a corrente for um pouco abaixo do ideal, o keyhole pode se fechar, enquanto que, se a corrente for levemente acima do ideal, o keyhole aumenta a quantidade de calor introduzido, causando a falta de sustentação e, conseqüentemente, o desprendimento do metal fundido”

### 2.2.5 Esquema Plasma (PAW)



**Figura 3 – Esquema Plasma PAW**

Fonte: (<http://www.scielo.br/scielo.php>)

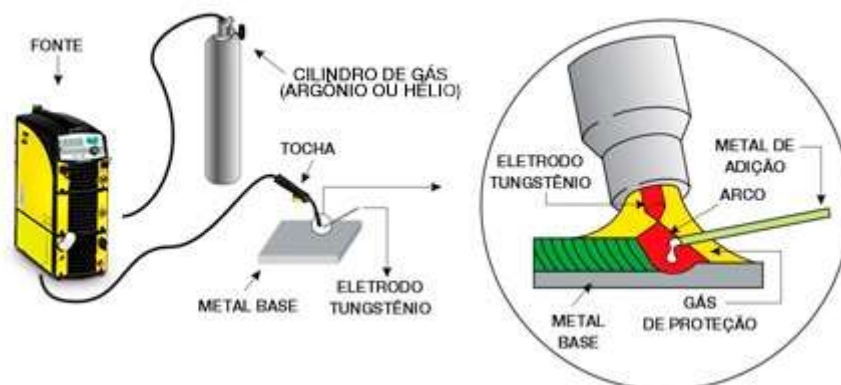
O processo de soldagem a arco com Plasma (PAW) é um processo de soldagem que produz coalescência dos metais, pelo aquecimento com um arco constricto entre o eletrodo e a peça de trabalho (arco transferido) ou entre o eletrodo e o bocal constricto da tocha (arco não transferido). A proteção é obtida do 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.

## 2.2.6 Processo TIG (GTAW)

O que é o TIG?

Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) ou GTAW (Gas-Shielded Tungsten Arc Welding) é um processo que tem como característica principal a utilização de um eletrodo sólido de tungstênio não consumível.

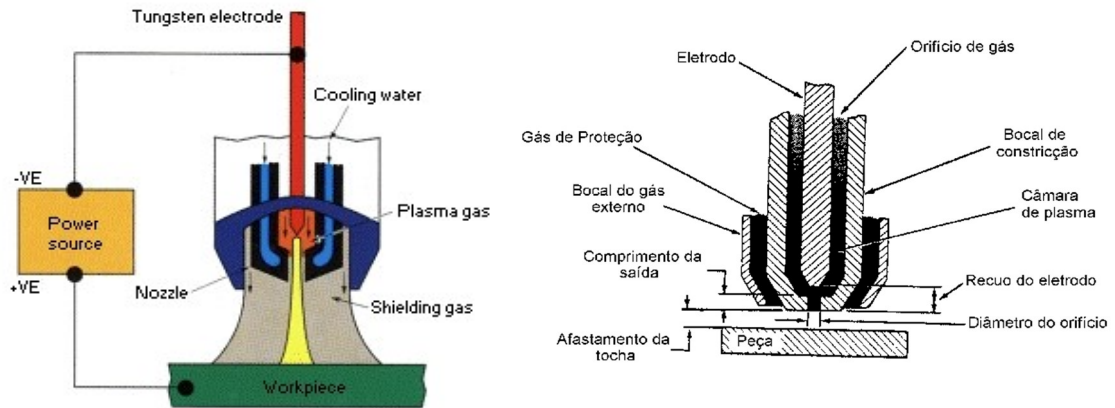
O eletrodo, o arco e a área em volta da poça de fusão da solda são protegidos por uma atmosfera protetora de gás inerte. Se um metal de enchimento é necessário, ele é adicionado no limite da poça de fusão. A soldagem TIG produz uma solda limpa e de alta qualidade. Como não é gerada escória, a chance de inclusão da mesma no metal de solda é eliminada, e a solda não necessita de limpeza no final do processo.



**Figura 4 – Esquema TIG (GTAW)**

Fonte: (<http://www.esab.com.br/pt/education>)

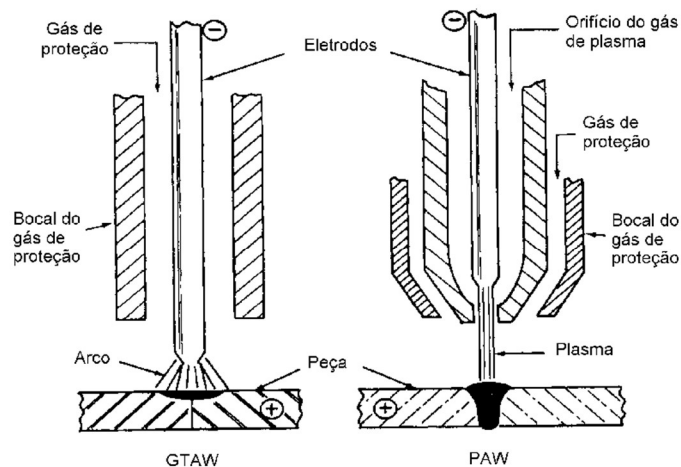
O processo de soldagem a arco com Plasma, assim como o processo GTAW, usa eletrodo não consumível. A tocha tem um bocal que cria uma câmara de gás ao redor do eletrodo. O arco aquece o gás na câmara até uma temperatura em que se torna ionizado e conduz eletricidade. Este gás ionizado é definido como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



**Figura 5 – Esquema Plasma GTAW**

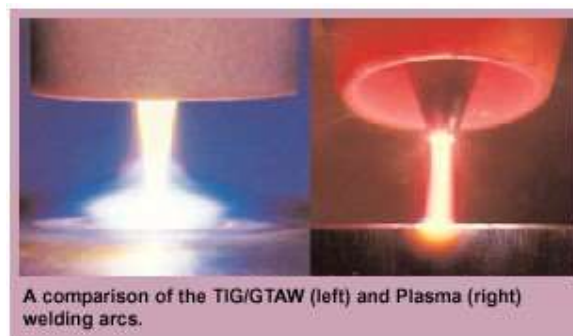
Fonte: ([www.google.com.br/search?q=PAW&source](http://www.google.com.br/search?q=PAW&source))

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



**Figura 6 – Comparação GTAW e PAW**

Fonte: ([www.google.com.br/search?q=PAW&source](http://www.google.com.br/search?q=PAW&source))



**Figura 7 – Comparação dos arcos de soldagem GTAW e PLASMA**

## 2.2.7 Aplicações

O processo PLASMA/ GTAW pode ser empregado para unir a maioria dos metais em todas as posições. Ele fornece um melhor controle direcional do arco e uma menor zona termicamente afetada, se comparado com o GTAW. Uma das maiores restrições para a utilização deste processo é principalmente 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 do bocal de constrição causando um aumento significativo da temperatura no plasma.

Os processos industriais nos quais o processo PLASMA/ GTAW pode ser utilizado dependem do tipo de arco de Plasma, alguns exemplos de utilização do processo 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;

## 2.2.8 Vantagens

O processo PLASMA/ GTAW 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.
- As velocidades de soldagem são maiores em algumas aplicações.
- Baixas correntes são necessárias para produzir um determinado tipo de solda, gerando um menor encolhimento. As distorções são reduzidas de 50%.
- A penetração pode ser controlada variando-se as variáveis de soldagem.
- Solda em intervalos de até 5 milissegundos.
- 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.

## 2.2.9 Restrições

Em relação às restrições podemos dizer o seguinte:

- É 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 ser manipuladas se comparado com as tochas GTAW.

Para uma qualidade consistente da solda, o bocal de constrição deve ser bem conservado e regularmente inspecionado para detectar sinais de deterioração.

“Segundo Richetti (2003), em processos de soldagem a arco, a profundidade de penetração e o perfil da solda estão relacionados com os efeitos mecânicos e térmicos produzidos pelo arco elétrico incidindo no metal. Os efeitos mecânicos são pronunciados quando o arco é constrito, fazendo com que a coluna de plasma atinja a peça promovendo grande deslocamento de volume de metal fundido”.

### **2.2.10 Considerações finais**

Na literatura não é encontrado muitos estudos sobre o processo plasma-tig, o mais comum é encontrar o processo plasma-mig, daí o fato de necessitar de mais estudos tanto teóricos quanto laboratoriais.

O processo de soldagem plasmas-tig tem excelentes benefícios tantos em termos de produção quanto em termos de distorção da junta soldada, tendo um estudo mais aprofundado sobre tal processo ajuda que a indústria aplique cada vez mais essa tecnologia e encontrem soluções para determinadas áreas.

## **2 PROCESSO PLASMA/ GMAW**

### **3.1 Introdução**

A primeira patente conhecida para o processo de soldagem Plasma-GMAW foi registrada no ano de 1958. Em 1971, ela foi reavaliada e aperfeiçoada novamente (Mattles et al, 2006), contudo, ainda não ficou atraente e viável dentre os processos de soldagem mais utilizados pela indústria, possivelmente devido a sua complexidade para a época (Cunha et al, 2006). Na Figura 8, mostra o esquema de uma das primeiras patentes de tochas Plasma-GTAW registrada por Essers em 1980, mas como citado por Oliveira (2006) esta configuração não é muito operacional, motivo pelo qual o processo ficou esquecido por algum tempo.



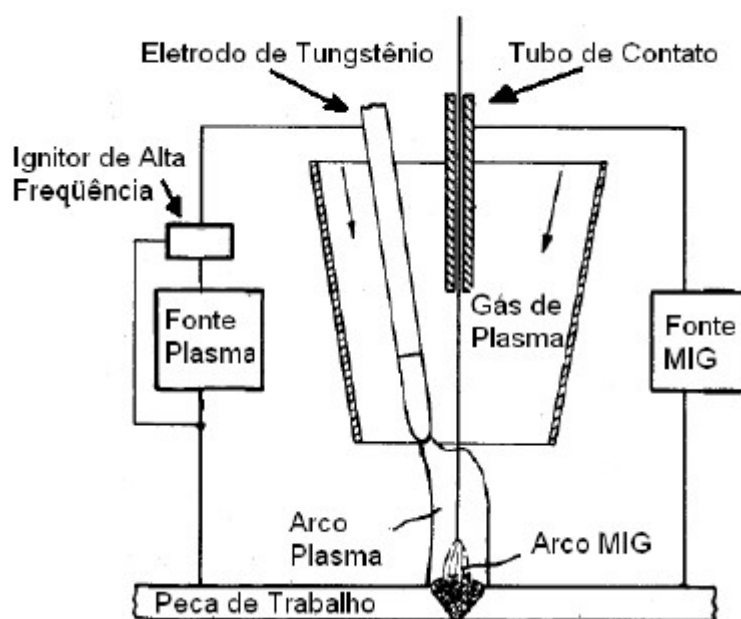


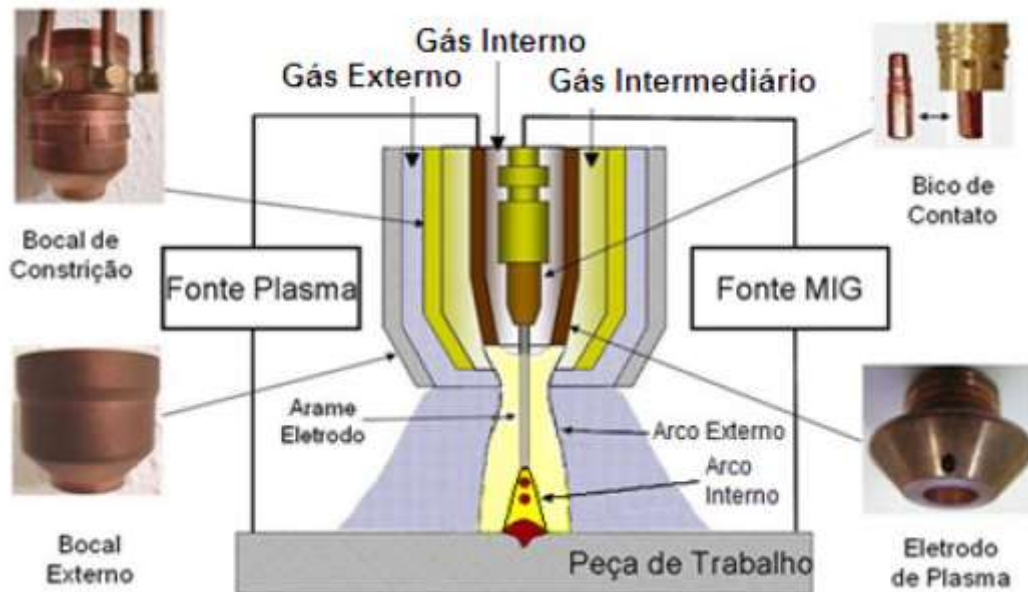
Figura 8 - Esquema de um equipamento para soldagem Plasma-MIG usada em pesquisas na década de 1970.

Fonte: (Adaptada de: Essers, 1980).

Nos últimos anos, com a crescente demanda da indústria por processos de soldagem capazes de realizar operações cada vez mais especializadas e de alto rendimento e produtividade, o processo Plasma-GMAW ressurgiu como uma atraente alternativa (Cunha et al, 2006).

Com a evolução da eletrônica e dos demais equipamentos utilizados em soldagem, o processo começou novamente a ser estudado nos últimos anos e foi reapresentado ao mercado em 1995 pela empresa "Plasma Laser Technologies ®" (PLT, 2013) e em 2003 pela empresa TBi® (TBI, 2013), ambas utilizando o termo Plasma-MIG para denominar seu produto, apesar de possuírem características construtivas e operacionais distintas.

Especificamente quanto à abordagem da empresa TBi®, a característica fundamental desse processo "Plasma-MIG" é que um arame-eletrodo e seu respectivo arco são envolvidos por um gás termicamente ionizado (Plasma), constituindo um segundo arco, e juntos formando um arco duplicado. Este processo, ilustrado na figura 9, é baseado no protótipo por (Essers et al. 1981).



**Figura 9 – Desenho esquemático de uma tocha para soldagem “Plasma-MIG” com arcos concêntricos com destaque para os componentes principais**  
 Fonte: (adaptado de: Oliveira; Dutra, 2007).

- Tecnologia que combina o arco de solda GMAW com o arco de solda Plasma;
- Desenvolvido para integrar sistemas robotizados standard;
- Capaz de operar em mutiplos processos de soldagem como: Plasma/TIG, Standard MIG ou Plasma-GMAW hibridos;
- Fornecimento do sistema completo incluindo fonte plasma, interface, softwer, tocha, refrigeração, sistema de limpeza.

### **3.2 Processo de Soldagem Híbridos Plasma-GMAW**

O Processo Plasma-GMAW, consiste basicamente na combinação dos processos Plasma e MIG em uma única tocha. Com essa associação, se consegue unir as vantagens de cada processo individualmente. O principal benefício consiste na independência entre o aporte de energia imposto pelo processo e o material adicionado, resultando em uma maior facilidade de atuar-se sobre a geometria do cordão de solda. Nos últimos anos, com a difusão de novas fontes eletrônicas, que possibilitam maior controle sobre o processo, foi retomado o interesse pelo Processo de Soldagem Plasma-GMAW. Este processo pode ser utilizado na indústria para a soldagem de diversos materiais. O Processo de Soldagem Híbrida Plasma-GMAW apresenta grande potencial para soldar alumínio, ferro fundido e até mesmo chapas zincadas.

O princípio fundamental do Processo de Soldagem Plasma-GMAW é que o arame sólido, o arco voltaico, as gotas em transferência são envolvidos por uma corrente de gás termicamente ionizado, também denominado de plasma, ao invés de serem envolvidos apenas por um gás inerte ou ativo, como ocorre no processo GMAW. Em outras palavras, o arame sólido e seu respectivo arco elétrico, a parte GMAW do processo, são envolvidos por um gás termicamente ionizado, a parte PLASMA do processo, formando um arco híbrido (Ferraresi et al., 2008).

### **3.2.1 Fundamentos do Processo de Soldagem Plasma-GMAW**

Segundo (Oliveira, 2006), o Processo de Soldagem Plasma-GMAW pode ser definido como a combinação de dois processos de Soldagem o Plasma e o MIG em uma única tocha, onde o metal de adição é alimentado pelo orifício do bocal plasma, conforme demonstra a figura 9. O processo pode ser usado tanto para soldagem quanto para revestimento. Ele une as vantagens de alta produtividade dos processos de soldagem a arco aos menores custos dos equipamentos, proporcionados pelas possibilidades de combinação entre as fontes de corrente comercialmente disponíveis para a Soldagem a Plasma e GMAW.

No Processo de Soldagem GMAW e nos outros processos baseados em eletrodos consumíveis, a corrente de soldagem, a taxa de alimentação de metal de adição e o comprimento do eletrodo estão estreitamente interligados. Este fato traduz a forte dependência existente entre o aporte de energia e o aporte de material dos processos que trabalham com eletrodos consumíveis. Uma das principais consequências desta dependência é a dificuldade em se atuar na geometria do cordão de solda, já no Processo de Soldagem Plasma-GMAW, o controle independente do arco Plasma e da corrente que flui através do arame, permite melhor controle sobre o metal depositado, melhorando a produtividade, e dando flexibilidade no controle do calor que é transferido a peça.

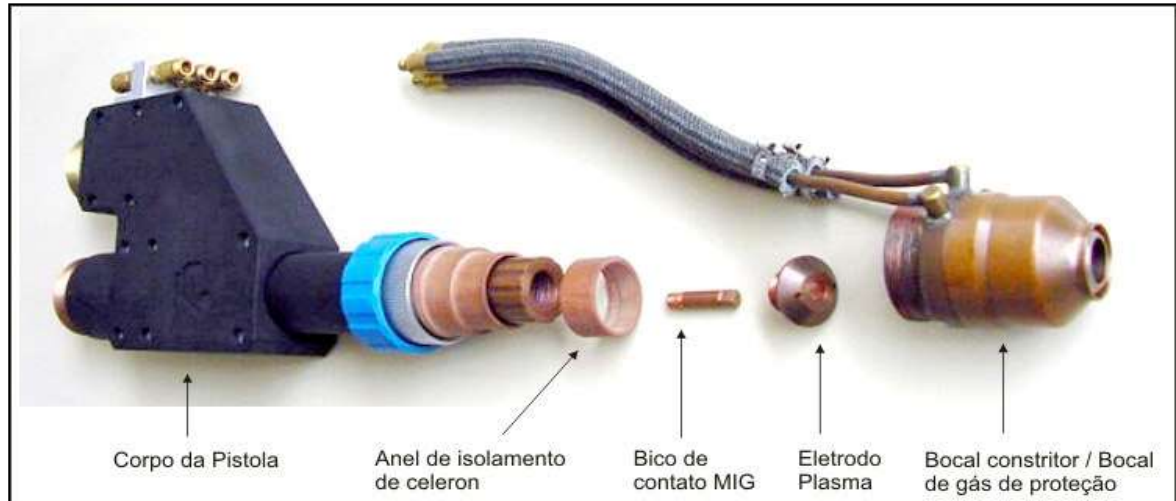
### **3.2.2 Princípios de Operação do Processo de Soldagem Plasma-GMAW**

A característica fundamental do Processo de Soldagem Plasma-GMAW é que o arame/eletrodo e seu respectivo arco (parte GMAW do processo) são envolvidos por um gás termicamente ionizado (parte Plasma do processo), formando um arco híbrido. Isto é bastante diferente do processo MIG convencional, no qual o gás a temperatura ambiente é alimentado ao redor do arame e do arco.

Na sua concepção original, o eletrodo de tungstênio (Figura 8) responsável pela geração do arco Plasma, era localizado ao lado do bico de contato MIG, nesta configuração, o bocal da tocha, posicionado entre o eletrodo não consumível e a peça, era o responsável por estabilizar o plasma, e qualquer distúrbio podia desestabilizar a coluna de Plasma (Essers et al, 1981).

No processo Plasma-GMAW o arco Plasma é estabelecido entre o eletrodo Plasma e a peça de trabalho – figura 9. O eletrodo Plasma possui uma geometria circular, isto faz com que o arco Plasma apresente uma geometria cônica. O arco MIG é estabelecido entre o arame MIG e a peça de trabalho, estando este localizado concentricamente ao arco Plasma. Em sua essência o processo Plasma-GMAW é o processo Plasma atuando simultaneamente com o processo MIG, numa mesma tocha de soldagem. Sendo assim é utilizado um gás para o arco Plasma, outro para o arco GMAW e um terceiro gás denominado gás de proteção que envolve os dois arcos e é conduzido pelo bocal de gás, além de um circuito de refrigeração para o eletrodo Plasma, eletrodo GMAW e bocal constritor.

A pistola de soldagem utilizada para o processo Plasma-GMAW deve, portanto, ter a capacidade de gerar, simultaneamente, o arco voltaico entre o eletrodo permanente e a peça a ser soldada, denominado de “Arco Plasma”, e o arco voltaico entre o eletrodo consumível, na forma de arame, e a peça a ser soldada, denominado pela literatura de “Arco GMAW”. Geralmente a tocha é montada em sistemas mecanizados ou robotizados, conforme esquema na figura 3.

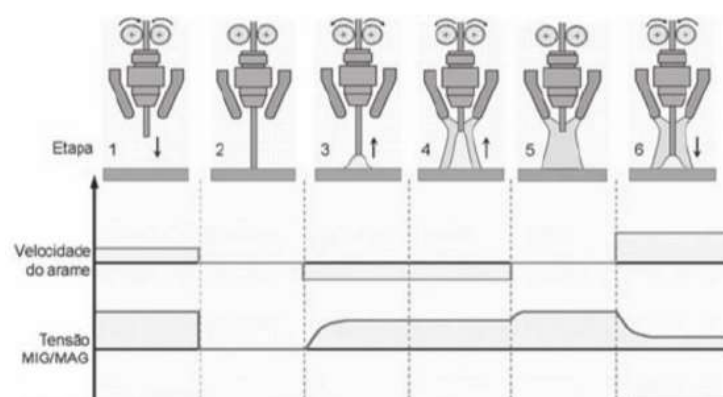


**Figura 10: Pistola Plasma-MIG (Plasma-GMAW)**  
**Fonte: Labsolda, 2014**

No método de acendimento do arco para o processo Plasma-GMAW, chamado “Soft Start”, o arame-eletrodo é utilizado para gerar um arco de baixa intensidade, através do qual ocorre a formação do arco plasma. Com este método, a abertura do arco ocorre praticamente isenta de respingos, evitando com que partes vitais da tocha sejam danificadas.

A Figura 11 ilustra as seis etapas básicas para acendimento do arco pelo método “Soft Start”:

1. As duas fontes apresentam tensão em vazio e o arame-eletrodo da porção MIG/MAG do processo é alimentado em direção à peça.
2. Ao toque do arame na peça, o movimento do mesmo é interrompido e a fonte gera um arco de baixa intensidade de corrente (em torno de 35 A), sem fusão considerável do arame.
3. O alimentador do arame inverte a rotação e o arame retrocede em direção à tocha de soldagem, trazendo progressivamente o arco para dentro da tocha, atingido as proximidades do eletrodo do Plasma.
4. Como a fonte Plasma já possui tensão em vazio, ocorre o acendimento imediato do arco-plasma, devido à atmosfera ionizada pelo arco MIG/MAG de baixa potência.
5. Após o acendimento do arco Plasma, o arco MIG/MAG é extinto (corte de energia) com o objetivo de impedir a transferência metálica e de proporcionar um pré-aquecimento no início da junta somente com a energia do arco-plasma.
6. O arame volta a se deslocar em direção à peça de trabalho e, como a fonte MIG/MAG apresenta novamente tensão em vazio e o meio está ionizado pelo arco Plasma, ocorre o re-acendimento espontâneo do arco MIG/MAG, sem necessidade de curto-circuito (isso garante um início de cordão de solda livre de respingos), mas já com a corrente regulada para a operação de soldagem.



**Figura 11: Esquema de funcionamento do “Soft Start”**  
**Fonte: RESENDE, 2011**

### **3.2.3 Vantagens e Aplicações Industriais do Processo de Soldagem Plasma-GMAW**

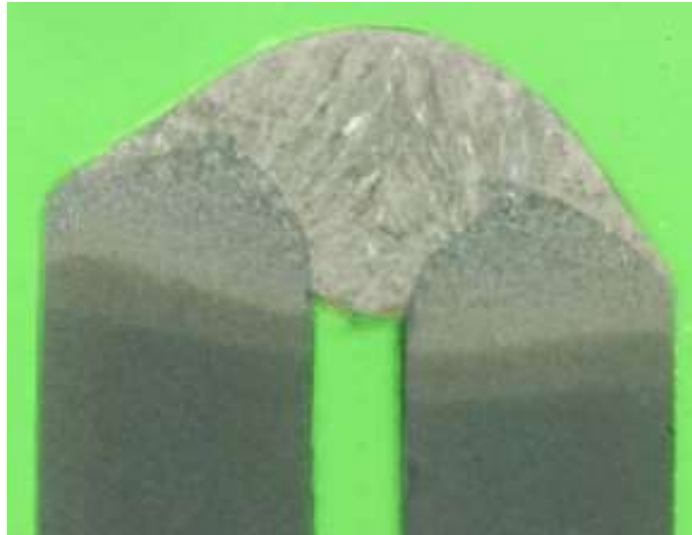
O Processo Híbrido Plasma-GMAW agrega características únicas como a capacidade de preaquecimento sem a deposição de material, inexistência de defeitos de soldagem, além de maiores velocidades de soldagem, possibilitando uma maior produtividade (Cunha et al, 2006). O Processo de Soldagem Plasma-GMAW pode então oferecer benefícios em relação ao Processo de Soldagem GMAW convencional como:

- Maiores Velocidades de Soldagem;
- Peças com menos distorções, por causa de uma menor Zona Afetada pelo Calor (ZAC);
- Soldas limpas com menos respingos;
- Cordões de solda com maiores penetrações;
- Utilização em robôs industriais de soldagem, que possibilitam operações em altas velocidades em peças de geometria relativamente complexa (Oliveira, 2006); Compatível com a maioria das controladoras robóticas.
- Menor investimento – Pode ser integrada a maioria dos modelos de fontes de soldagem MIG do mercado;
- Usa as mesmas especificações e normas de soldagem MIG;
- Reduz o consumo de arame e a emissão de respingos;
- Diminuição de custos – aumenta produção, redução de reparos e sucatas;
- Qualidade – Maior penetração de soldagem;
- Mantém altas velocidades de soldagem inclusive em condições de variação de gaps;
- Maior velocidade – aumenta a velocidade de solda com ou sem rampa de início de solda em até 3 vezes comparada com processo de Soldagem MIG;

### **3.2.4 Soldagem Plasma-GMAW nos Aços Carbono**

A soldagem de aço carbono com o Processo de Soldagem Híbrido Plasma-GMAW foi realizada em chapas de 2 mm de espessura, com junta de aresta, utilizando-se arame ER 70 S-6 de 1,2 mm de diâmetro. A meta era alcançar velocidade de soldagem de 3 m/min. Inicialmente foram conduzidos ensaios com controle de tensão, onde a velocidade do arame atingiu mais de 8 m/min, com correntes acima de 250 A. Nesta faixa de corrente, utilizando-se Ar + 10% CO<sub>2</sub> como gás MIG, a transferência metálica já pode ser caracterizada como Spray, o que permitiria uma soldagem estável e livre de respingos. O que foi observado na prática, no entanto, é que em elevadas velocidades de soldagem ocorrem variações instantâneas da impedância do circuito de soldagem,

promovendo flutuações na corrente MIG e, conseqüentemente, variações na frequência de destacamento, diâmetro de gota e taxa de fusão. Além de oferecerem risco de ocorrência de curtos-circuitos, estas variações provocam defeitos no cordão de solda, pois em elevada velocidade de deslocamento, qualquer flutuação na taxa de transferência metálica pode provocar trechos onde o material depositado não é suficiente para preencher a junta.



**Figura 12:**Seção transversal de união soldada pelo processo Plasma-MIG  
**Fonte:** FERRARESI, 2007

#### **4 REFERÊNCIAS**

- 1) CAMPANA, G.; FORTUNATO, A.; ASCARI, A.; TANI, G.; TOMESANI, L. The influence of arc transfer mode in hybrid laser-mig welding. **Journal of Materials Processing Technology**, 2007, p. 111-113.
- 2) CUNHA, T. V.; DUTRA, J. C.; GONÇALVES E SILVA, R. H.; GOHR JÚNIOR, R. **“Processo Plasma-MIG - Contribuição do Arco Plasma na Capacidade de Fusão do Arame”**. XXXII CONSOLDA, Belo Horizonte, 2006.
- 3) ESSERS, W.G. et al. Plasma-MIG Welding – a New Torch and Arc Starting Method. *Metal Constrution*. Jan. 1981. P 36-42.
- 4) MATTHES, K. J.; KOHLER, T., “Estudo Analisa Efeitos Elétricos e Parâmetros de Influência sobre Processo Híbrido de Soldagem a Plasma-MIG.” **Revista Corte & Conformação de Metais** - Out. 2006.
- 5) MESSLER, R. W. J. What’s Next for Hybrid Welding?. **Welding Journal**, v. 83, n. 3, Mar 2004.
- 6) NIELSEN, S. E. **Hybrid welding of thick section mild steel**. FORCE Institute, Brøndby, Denmark. 2011.
- 7) OLIVEIRA, M. A. **“Desenvolvimento do Processo de Soldagem Híbrido Plasma-Mig Para Operações de Soldagem e Brasagem”** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2006.
- 8) OLIVEIRA, M. A.; DUTRA, J. C. Electrical Model for the Plasma-MIG Hybrid weld Process. **Welding and Cutting**. nº 6. 2007. P 324-328.
- 9) PLT Plasma Laser Technologies (PLT). Disponível em: <<http://www.plasma-laser.com/new/about.asp>>. Acesso em: 15 ago. 2013.
- 10) Resende, André Alves; Ferraresi, Valtair Antônio; **“O PROCESSO DE SOLDAGEM PLASMA-MIG”**; 17º Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica; Uberlândia – MG, 2007. Disponível em: <<http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/posmec/17/PDF/28.pdf>>. Acesso em março de 2017.
- 11) Resende, André Alves; et al; “Influence of Welding Current in Plasma-MIG Weld Process on the Bead Weld Geometry and Wire Fusion Rate”; Uberlândia, 2011. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/254326182\\_influence\\_of\\_welding\\_current\\_in\\_Plasma-Mig\\_Weld\\_Process\\_on\\_the\\_Bead\\_Weld\\_Geometry\\_and\\_Wire\\_Fusion\\_Rate](http://www.researchgate.net/publication/254326182_influence_of_welding_current_in_Plasma-Mig_Weld_Process_on_the_Bead_Weld_Geometry_and_Wire_Fusion_Rate)>. Acesso em março de 2017.
- 12) TBI. TBI Industries GmbH: The History. Disponível em: <<http://www.tbi-industries.com/english/TBI/tbi.html>> Acesso em: 15 ago. 2013.