

CORTE A PLASMA

Introdução

Desde sua invenção na metade da década de 50, o processo de corte por plasma incorporou várias tecnologias e se mantém como um dos principais métodos de corte de metais. Porém, até poucos anos atrás, o processo detinha uma reputação duvidosa na indústria de corte de metais devido ao elevado consumo dos itens componentes do sistema, o ângulo de corte e a inconsistência do processo.

Os recentes desenvolvimentos agrupando tecnologias em sistemas de cortes manuais e mecanizados, proporcionaram um marco importante na história do corte plasma. Os plasmas manuais mais modernos são equipados com sistema de jato coaxial de ar, que restringe ainda mais o plasma, permitindo um corte mais rápido e com menos ângulo. O projeto de escudo frontal permite ao operador apoiar a tocha na peça mesmo em correntes elevadas na ordem de 100 A. Nos sistemas mecanizados, utilizados principalmente em manipuladores XYZ comandados por controle numérico, foram incorporadas tecnologias que aumentam a consistência do processo e prolongam a vida útil dos componentes consumíveis através de um controle mais eficiente dos gases e do sistema de refrigeração respectivamente.

O processo de corte plasma, tanto manual como mecanizado ganhou espaço considerado na indústria do corte de metais. Mesmo descontado o crescimento desta indústria, a participação do corte plasma teve substancial ampliação devido a sua aplicação em substituição ao processo oxi-corte, em chapas grossas, e ao LASER em chapas finas ou de metais não ferrosos.

Neste artigo iremos revisar a evolução do desenvolvimento tecnológico, a teoria do processo de corte plasma, os detalhes de processos e procedimentos, além da relação comparativa com os demais processos de corte térmico.

Resumo Histórico

O processo de corte plasma foi criado na década de 50 e tornou-se muito utilizado na indústria devido sua capacidade de cortar qualquer metal condutor de eletricidade principalmente os metais não ferrosos que não podem ser cortados pelo processo oxi-corte. O

processo consiste na utilização do calor liberado por uma coluna de plasma, resultante do aquecimento – por meio de um arco elétrico – de um gás, em alta vazão rotacional. Este plasma é transferido ao metal a ser cortado. A parte do metal se funde pelo calor do plasma e este metal é expulso com auxílio do gás em alta vazão. A figura 1 mostra os detalhes do corte plasma.

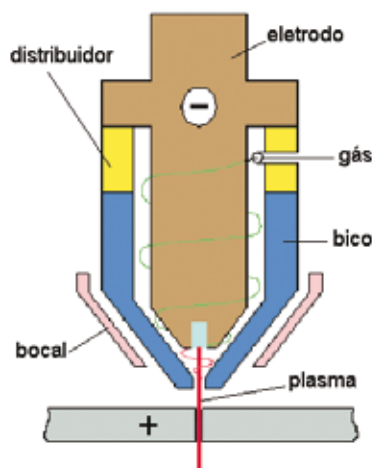


Figura 1 – Processo Plasma

Em 1968 surge a primeira grande inovação, a injeção de água entre o bico e um bocal frontal, com o objetivo de ampliar a vida útil dos consumíveis e na qualidade de corte, conforme figura 2

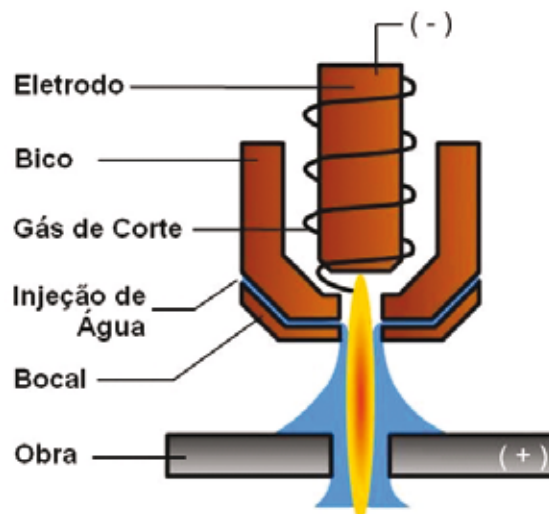


Figura 2 – Plasma com injeção de água.

Em 1983 torna-se industrialmente viável a utilização do plasma com oxigênio para materiais ferrosos. Com o oxigênio como gás de plasma o calor do processo provém de duas fontes: a do plasma e da reação exotérmica da oxidação do ferro. A resultante é um aumento considerável de velocidade e qualidade de corte.

Em 1989 lança-se o bocal protetor eletricamente isolado (figura 3b) que minimiza a formação de arco duplo (figura 3a) e aumenta a vida útil dos consumíveis, conforme mostrado na figura 3.

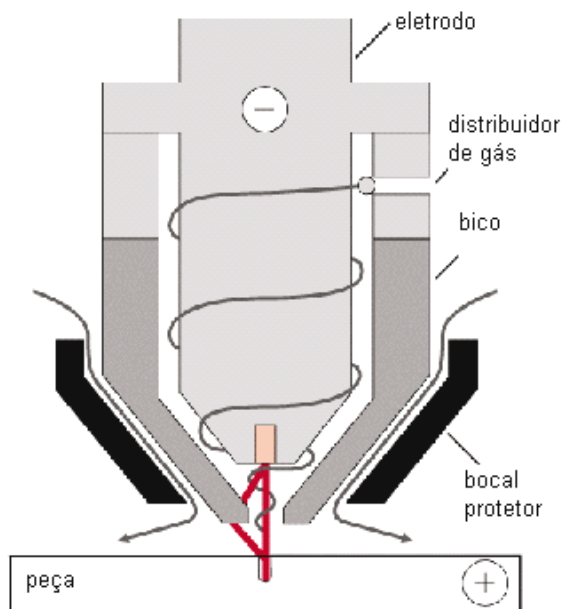


Figura 3 b – Plasma com bocal isolado

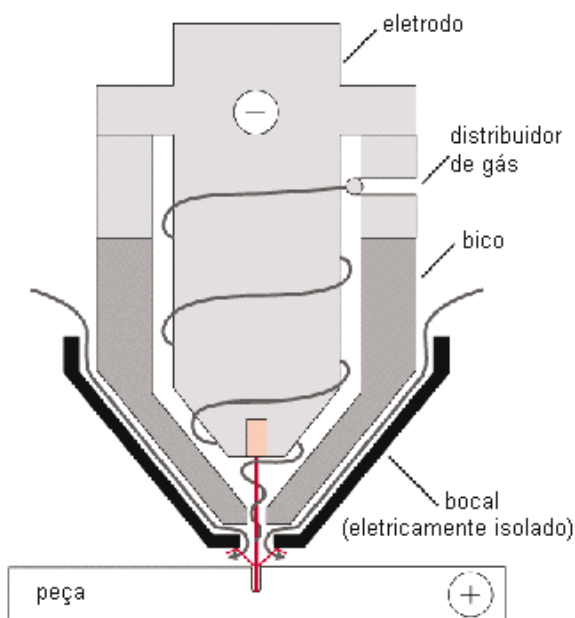


Figura 3a – Plasma convencional – arco duplo

Para melhorar a vida útil dos consumíveis, principalmente nos processos com o uso do oxigênio como gás de plasma, em 1990 são incorporadas seqüências lógicas nos sistemas plasma com ajustes específicos de corrente e vazão e pressão de gás nos intervalos de início e final de corte, conhecido como tecnologia LongLife. Esta tecnologia conta ainda com o aprimoramento do projeto do eletrodo. Com um inserto de ráfnio de menor diâmetro, amplia-se a capacidade de refrigeração do eletrodo.

Nesta mesma época surge o plasma de alta definição (figura 4) que revoluciona o processo plasma e o torna aplicável em peças com maiores exigências de qualidade de corte. O processo utiliza um orifício reduzido no bico e um canal extra para saída de excesso de gás plasma resultando num corte praticamente sem chanfro e sem geração de escória.

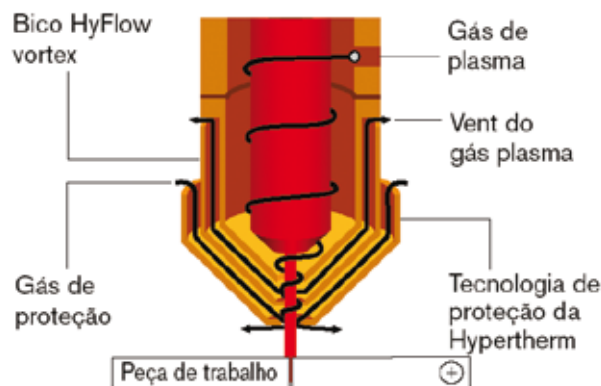


Figura 4 – Plasma de Alta definição

Em 1993 é lançado o processo com jato de ar auxiliar aplicado coaxialmente ao jato de plasma (figura 5). Esta força de constrição aumenta a eficiência do jato proporcionando um aumento de velocidade e redução do ângulo de corte.

Em 2004 são incorporadas novas tecnologias ao processo plasma de alta definição com o objetivo de melhorar o desempenho e consistência do processo. O resultado foi a criação do processo HyPerformance ou plasma de alto desempenho.

Com todo este avanço tecnológico, o plasma torna-se um dos processos mais importantes na indústria do corte do país. Atualmente o plasma vem sendo usado tanto para acompanhar o crescimento da indústria, bem como na substituição de processos mais lentos ou com maiores custos operacionais.

A seguir iremos estudar em detalhes, características e aplicação do corte plasma.

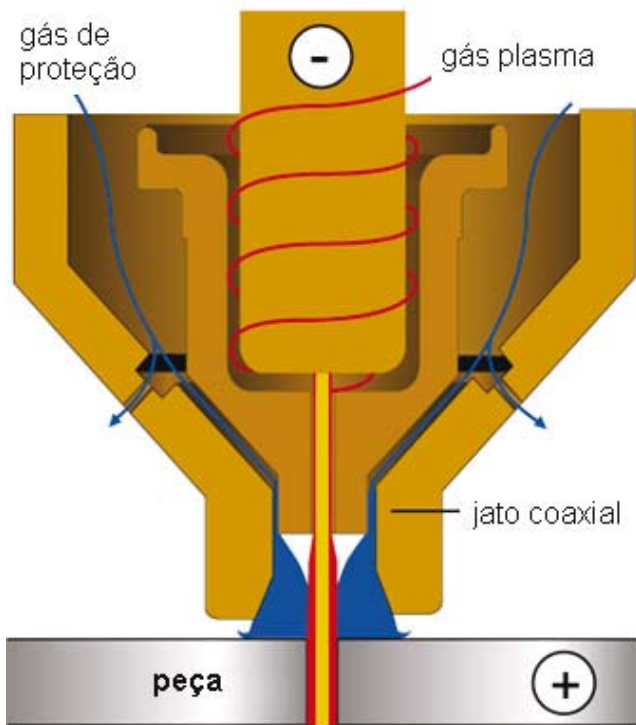


Figura 5 – Plasma com Jato Coaxial

PROCESSO DE CORTE PLASMA

Introdução

Os 3 primeiros estados da matéria são sólido, líquido e gasoso. Em exemplo, usando uma das mais conhecidas substâncias, a água (H_2O), estes estados são: gelo, água e vapor. Quando a energia, como calor, é aplicada ao gelo, o gelo se derrete se tornando água. A água se transforma do estado sólido, gelo, para o estado líquido, água. Quando mais energia é aplicada à água, a água vaporiza tornando-se vapor. A água (H_2O) muda do estado líquido, água, para o estado gasoso, vapor (H_2 & O_2). Finalmente, quando calor é aplicado aos gases, estes gases ionizam. Os gases agora são eletricamente condutores e este estado da matéria é chamado plasma. A figura 6 mostra esquematicamente esta sequência.

O constantemente denominado “4º estado da matéria” é chamado PLASMA. Este gás ionizado com propriedades é a base fundamental em que todos os sistemas plasma operam.

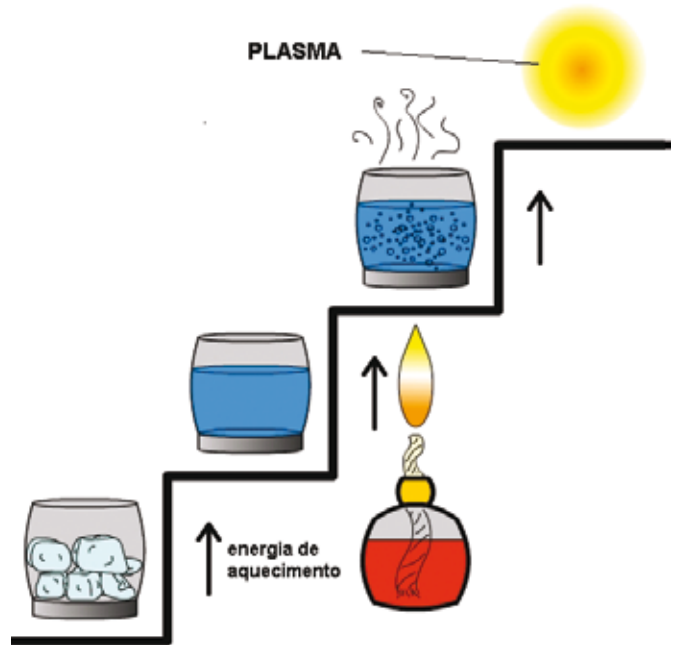


Figura 6 – Transformação de Estado

Definição de Plasma

“Uma coleção de partículas carregadas contendo quase a mesma quantidade de elétrons e íons positivos, e, embora apresente quase todas as características dos seus gases formadores, se difere deles por ser um bom condutor de eletricidade”. A ionização do gás causa a criação de elétrons livres e íons positivos entre os átomos de gás. Quando isso ocorre, o gás em questão torna-se eletricamente condutivo com excelente capacidade para transmissão de corrente elétrica. O melhor exemplo de plasma na natureza é a tempestade de raios. Exatamente como na tocha plasma, os raios movem a eletricidade de um ponto a outro. Para o raio, os gases do ar são os gases ionizados.

Corte Plasma

O corte a Plasma é um processo que utiliza um bico com orifício otimizado para restringir um gás ionizado em altíssima temperatura, tal que possa ser usado para derreter seções de metais condutores. Um gás eletricamente condutivo (plasma) é usado para transferir energia negativa fornecida pela fonte plasma da tocha para o material a ser cortado (obra). A tocha serve de suporte para os consumíveis e fornece um fluido refrigerante para estas peças (gás ou água).

O distribuidor ou difusor de gás é construído de material isolante e tem como principal finalidade de dar sentido rotacional ao gás. O eletrodo conduz a corrente até um inserto de háfnio que emite os elétrons para geração do plasma. O bico restringe o plasma e o guia para o metal a ser cortado. A capa tem como função manter os consumíveis alinhados e isolar a parte

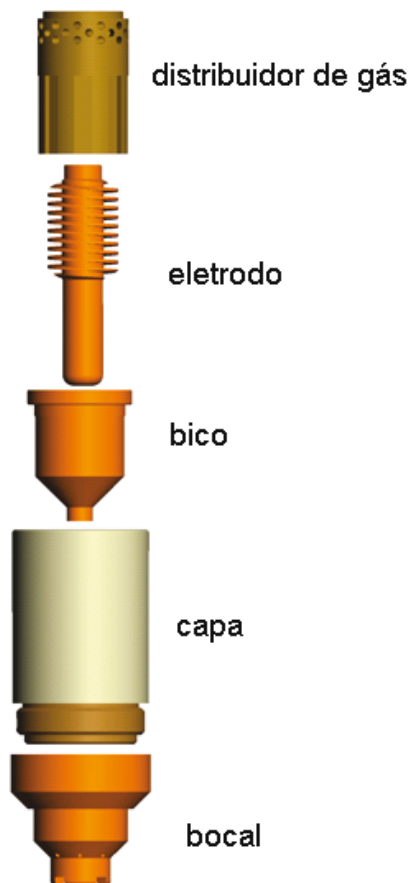


Figura 7 – Peças de uma tocha plasma

elétrica do bocal frontal. O bocal frontal guia o fluxo de jato de ar coaxial. Por ser refrigerado e isolado, o bocal pode ser apoiado à chapa.

Seqüência de Operação

Um sinal de partida (START) é enviado a fonte plasma. Simultaneamente a tensão de arco aberta (OCV) e os gases são transmitidos à tocha. Quando a vazão é estabilizada, a alta frequência (HF) é ativada. A HF aparece entre o eletrodo e o bico dentro da tocha e o gás se ioniza ao passar pelo arco. Este gás eletricamente condutor cria um caminho para corrente entre o eletrodo e o bico e dele, resulta a formação do arco piloto. Quando o arco piloto consegue contato com a obra, ele é transferido à obra. O arco plasma funde o metal e o gás em alta velocidade remove o metal derretido.

Métodos de Partida

Partida por contato:

O eletrodo e bico estão em contato (“curto-circuito”) e conectados a fonte plasma. A pressão de gás faz

se distanciarem o bico e o eletrodo, criando um arco. Este arco (piloto) é auto-sustentável (corrente CC); Este tipo de partida é encontrado em muitos sistemas pequenos.

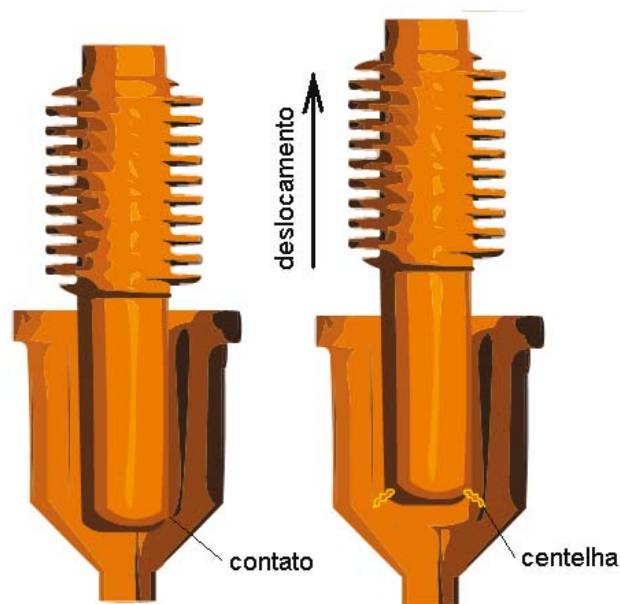


Figura 8 – Partida por contato

Partida por alta frequência:

Alta tensão elétrica (de 5 a 10 kVCA) em frequências altas é usada para gerar o arco piloto. Este método é utilizado nos sistemas com eletrodo refrigerado por líquido. Apesar de ser utilizado na maioria dos sistemas plasma, oferece o inconvenientes por causar ruídos na rede elétrica requerendo um aterramento eficiente para proteção principalmente de equipamentos eletrônicos instalados próximos ao equipamento ou mesmo nas máquinas de corte.

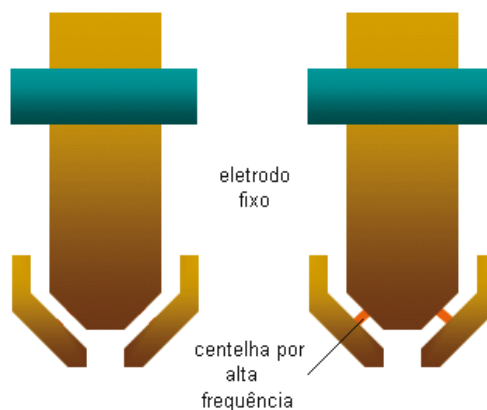


Figura 9 – Partida por Alta Frequência

TIPOS DE APLICAÇÃO

Corte Manual



Figura 10 – Detalhe do Processo de Corte Manual

Os sistemas de corte manual são muito simples e de fácil operação. Os sistemas mais modernos possuem o bocal isolado eletricamente o que permite que o operador apoie a tocha na peça e/ou utilize uma régua ou gabarito para guiar o corte. As fontes inversoras são preferidas devido a sua portabilidade.

O corte manual é largamente utilizado nas mais diversas aplicações. Desde cortes em chapas finas como as de automóveis ou móveis, até grandes espessuras como as de estruturas metálicas, o plasma apresenta vantagens devido a flexibilidade da tocha, facilidade de operação, velocidade de corte e menor deformação das chapas.

Corte Mecanizado

Corte mecanizado é todo aquele onde um sistema automático manipula a tocha de plasma. Os sistemas podem ser simples como uma “tartaruga” ou até os mais complexos manipulados e comandados por CNC.

Os sistemas manuais podem ser adaptados para trabalhar no método mecanizado e devem ser respeitados os limites de aplicação recomendados pelo fabricante do sistema para este método. Geralmente a capacidade de corte dos sistemas manuais é reduzida à me-

tade para o corte mecanizado. Esta redução não está relacionada diretamente com a capacidade da fonte, e sim pelo aquecimento progressivo da tocha. Como no plasma a velocidade reduz sensivelmente com o incremento da espessura, em chapas mais espessas o tempo de corte é grande devido a baixa velocidade. Esta é a principal razão de se limitar a espessura para se garantir uma velocidade razoável e permitir o refrigeração adequada da tocha.

Os sistemas mecanizados dedicados geralmente possuem tochas refrigeradas por líquido refrigerante. O líquido é guiado na parte interna do eletrodo permitindo um jato de líquido exatamente na parte traseira do ráfnio – parte que fica no estado líquido durante o corte.

Um sistema básico mecanizado é constituído por 5 partes principais conforme mostrado na figura 11:

1. Fonte de Energia
2. Console de Ignição – Alta Frequência
3. Console de controle de gás
4. Tocha plasma
5. Conjunto de Válvulas



Figura 11 – Sistema de Corte Mecanizado

Este conjunto é parte integrante de uma célula ou máquina de corte. A qualidade do corte, bem como o desempenho da célula depende da combinação, interação e características dos componentes como: Sistema de Corte Plasma – os 5 itens mostrados acima, Comando CNC, Controle de altura (eixo Z) e Sistema de movimentação X-Y. A figura 12 mostra um exemplo de máquina de corte com comando CNC e os itens componentes

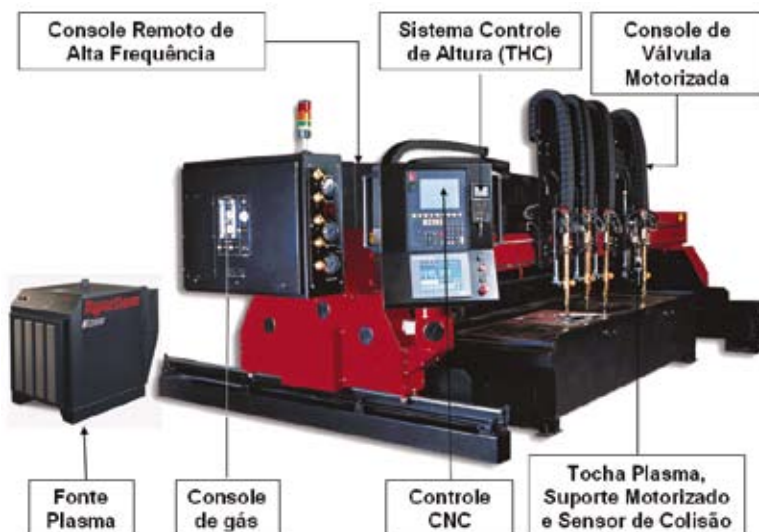


Figura 12 – Máquina de Corte

SELEÇÃO E TIPOS DE GASES

O gás no processo plasma tem duas funções distintas: a) insumo para geração do plasma e b) refrigeração dos consumíveis. Ainda, nos sistemas com partida por contato, serve como agente para afastar o eletrodo móvel.

Anteriormente vimos que o plasma é gás aquecido por uma diferença de potencial elétrico. Portanto, a qualidade e eficiência do processo estão intrinsecamente relacionadas com a qualidade do gás.

Na grande maioria dos sistemas manuais, utiliza-se uma única fonte de suprimento de gás para realizar as duas funções de formação de plasma e refrigeração dos itens consumíveis. Neste caso a vazão do gás torna-se um fator de extrema importância para o desempenho do processo. Se a vazão é excessiva implicará numa boa ação de refrigeração, porém com consequências danosas ao plasma. Se insuficiente, além da perda de qualidade do plasma, a vida útil do consumível é reduzida drasticamente. A vazão nos sistemas de gás único é sempre mais elevado que nos sistemas de múltiplos gases.

Existem alguns sistemas manuais, de correntes mais elevadas que podem utilizar a combinação de mais de um gás. Em consequência tem-se uma tocha mais robusta e pesada. Os sistemas mecanizados dedicados possibilitam o uso de dois gases distintos para plasma e para proteção. Nestes casos, o eletrodo é refrigerado internamente por um líquido refrigerante.

A vantagem dos sistemas múltiplos gases está no fato de selecionar um gás de plasma mais adequado ao tipo de material a se cortar independente de sua capacidade de refrigeração. As tabelas 1a e 1b mostram respectivamente as características recomendações para

gás de plasma e de proteção.

A seleção deve se dar primeiramente para atender aos requisitos de qualidade e produtividade do material a se cortar. O Ar comprimido é sempre a melhor segunda opção técnica e a primeira em conveniência e custo.

Quando se deseja a melhor combinação para obter melhor qualidade e produtividade, os gases recomendados são mostrados na tabela.

PLASMA DE ALTA DEFINIÇÃO

A definição ou qualidade de corte é caracterizada pelo desvio e angularidade da superfície de corte. A norma ISO 9013 estabelece critérios de avaliação com base na espessura do material conforme mostrado na tabela 3. Os níveis vão de 1 a 5, sendo o 1 de maior qualidade.

O processo plasma de alta definição foi criado com o objetivo de produzir cortes com qualidade nível 3. Porém em produção, com as constantes variações de pressão e vazão nos gases de plasma e proteção, aliado ao desgastes da tocha e dos consumíveis, o processo se mantinha com nível de qualidade entre o 4 e 5 e uma vida útil do bico e eletrodo de aproximadamente 2 horas. Por este fato o processo tendia ao colapso na sua utilização para a indústria devido ao alto custo operacional e baixa consistência.

Em 2003 foram investidas elevadas quantias em pesquisa e desenvolvimento para resolver a inconsistência e aprimorar o processo de alta definição. O resultado foi o desenvolvimento de duas novas tecnologias que revolucionaram o plasma de alta definição. Um controle sinérgico para o gás e um novo desenho de tocha que permite a flutuação do tubo de refrigeração dentro do eletrodo proporcionou a consistência do processo, ou seja, produção de cortes com qualidade nível 3 por um longo período de vida dos consumíveis bico e eletrodo. O processo que foi batizado de Hyperformance, ou plasma de Alto Desempenho, já é comercializado desde 2004 e os resultados médios comprovam a qualidade nível 3 em uma vida útil de eletrodo e bico em média de 6 horas. A figura 13 mostra algumas peças cortadas com processo de alta definição.



Figura 13 – Exemplos de Corte de Alta Definição

Tabela 1a – Guia para Seleção de Gás Plasma

SELEÇÃO DO GÁS DE PLASMA			
Gás	Recomendado para	Vantagens	Desvantagens
AR	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Carbono • Alumínio • Aço Inox 	<ul style="list-style-type: none"> • Corte limpo e rápido em aço carbono • Conveniente • Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa vida do eletrodo • Nitretação da superfície de corte • Oxidação em Inox e Alumínio
Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Inoxidável • Alumínio • Aço Carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Bom acabamento em Inox e Alumínio • Excelente vida útil dos consumíveis • Custo relativamente baixo 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitretação da superfície de corte • Custo relativamente alto para sistemas manuais que requer alta vazão.
Misturas de Argônio e Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Inoxidável • Alumínio 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente qualidade e velocidade de corte em espessuras acima de 12 mm • Menos fumaça e fumos 	<ul style="list-style-type: none"> • Caro • Não recomendado para Aço Carbono
Oxigênio	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior velocidade de corte • Superfície livre de nitretação • Menor angularidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa vida útil dos consumíveis • Não aplicável em Inox ou Alumínio



Tabela 1b – Guia para Seleção de Gás Proteção

SELEÇÃO DO GÁS DE PROTEÇÃO			
Gás	Usado com:	Vantagens	Desvantagens
AR	<ul style="list-style-type: none"> • AR • Nitrogênio • Oxigênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Conveniente • Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitretação na superfície de corte
Dióxido de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Boa proteção para vários tipos de metais • Boa vida útil dos consumíveis • Maior flexibilidade de parâmetros 	<ul style="list-style-type: none"> • Inconveniente (Pode requerer console de gás específico) • Superfície de corte rugosa
Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio • Argônio/Hidrogênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente qualidade de corte em Inox e Alumínio • Boa vida útil dos consumíveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitretação da superfície de corte • Menor flexibilidade de parâmetros • Menor vida útil dos consumíveis (comparado ao C O₂)
Água	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio • Argônio/Hidrogênio • Oxigênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente qualidade de corte em Inox e Alumínio • Menos fumos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sujeira • Requer água de alta qualidade

Tabela 2 – Recomendações de Gases de Plasma e Proteção.

Material	Espessura	Gás Plasma	Gás de Proteção
Aço Carbono	< 6 mm	O ₂	O ₂
Aço Carbono	> 6 mm	O ₂	AR
Aço Inox	<10 mm	95% N ₂ – 5% H ₂	N ₂
Aço Inox	>10 mm	65% Ar – 35% H ₂	N ₂
Alumínio	<8 mm	AR	AR
Alumínio	>8mm	65% Ar – 35% H ₂	N ₂

Tabela 3 – Níveis de qualidade de superfície de corte conforme norma ISO 9013

Espessura (mm)	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Nível 4		Nível 5	
	Desvio	Ângulo	Desvio	Ângulo	Desvio	Ângulo	Desvio	Ângulo	Desvio	Ângulo
1.50	0.05	2.20	0.16	6.54	0.41	16.51	0.83	30.66	1.25	41.82
3.40	0.06	1.10	0.17	3.21	0.43	7.97	0.87	15.64	1.32	23.05
6.40	0.07	0.70	0.20	1.93	0.46	4.59	0.93	9.13	1.42	13.85
9.50	0.08	0.50	0.22	1.39	0.50	3.18	0.99	6.33	1.53	9.75
12.70	0.09	0.40	0.24	1.17	0.53	2.58	1.05	5.15	1.64	8.00

Lembrando que a qualidade aqui retratada refere-se à superfície de corte. A geometria da peça e a consistência dimensional é função do sistema de manipulação X-Y e do tipo de controle de altura. Quanto melhor, preciso e robusto o sistema de manipulação de coordenadas XYZ, melhor será a qualidade e consistência da peça cortada, tanto na superfície de corte quanto na geometria.

Contudo, o processo HyPerformance não está limitado a aplicação que requerem elevados níveis de qualidade. O processo pode ser empregado nos mais variados tipos de máquinas ou sistemas de manipulação XYZ. Os outros fatores do “tripé” de desejos do usuário final - produtividade e custo - podem também ser atendidos com o processo HyPerformance. Podemos tomar como exemplo o corte em chapas de aço carbono, espessura de 12 mm, o custo médio operacional do plasma HyPerformance está na ordem de R\$0,40 por metro cortado (peças, mão de obra e gases) e uma produtividade de 3,8 metros por minutos.

RELAÇÃO COM OUTROS PROCESSOS

O processo plasmático ocupa uma vasta área de aplicação com vantagens técnicas e econômicas. Porém, existem aplicações que os outros processos de corte térmico (ou termoquímico) mais adequados.

Para peças em aço carbono, com espessuras acima de 40 mm, o processo mais recomendado é o Oxi-Corte devido ao baixo custo inicial e operacional do processo. Para peças de espessura abaixo de 6 mm, com requisitos de ângulo reto, ou nível 1 ou 2 de segundo a ISO o processo mais recomendado seria o LASER. O LASER também pode ser aplicado em maiores espessuras dependendo da potência do ressonador. O que se deve avaliar é a rugosidade da superfície de corte e principalmente a velocidade de corte.

A figura 14 mostra a relação de aplicação entre os processos de corte térmico:

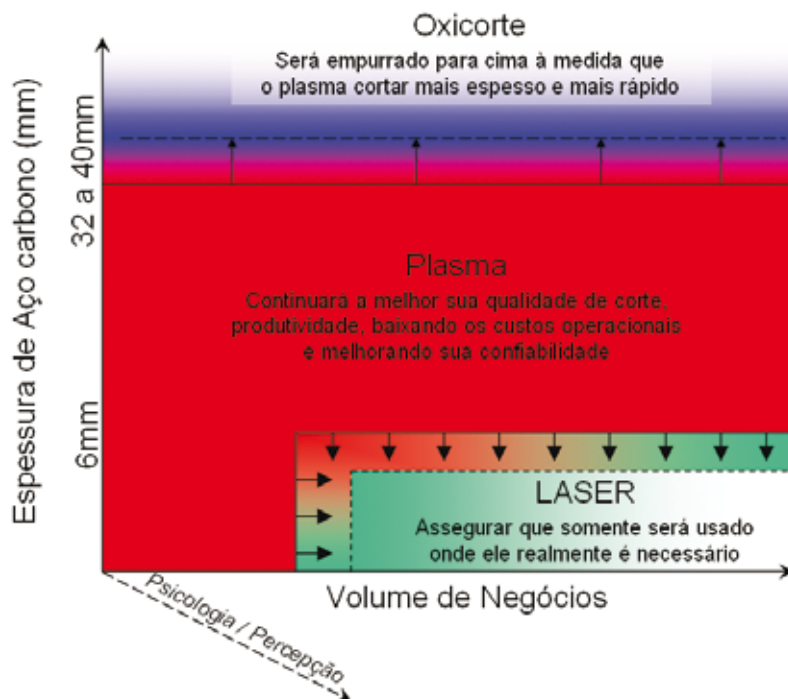


Figura 14 – Relação entre Processos

Neste artigo procuramos elucidar as características e aplicação e as diferentes formas do processo plasma. Porém é sempre recomendada uma sucinta avaliação para cada aplicação, envolvendo os critérios de exigências de qualidade dimensional da chapa, qualidade da superfície de corte, produtividade, investimento e custo operacional para se definir o processo de corte mais adequado.

Erasmio G. Lima
Hypertherm
Gerente América do Sul