



DESENVOLVIMENTO DE UMA TOCHA DE PLASMA PARA APLICAÇÃO NO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA

Gabriel Villetti Vintacourt, gv000776@fahor.com.br¹
Leandro Vianna Fernandes, lf000809@fahor.com.br¹
Richard Thomas Lermen, richard@fahor.com.br¹

¹Faculdade Horizontina (FAHOR), Avenida dos Ipês, 565, CEP: 98920-000, Horizontina, RS, Brasil.

Resumo: *Este trabalho apresenta a caracterização e construção de uma tocha geradora de plasma para aplicação em processos de aspersão térmica. A tocha de plasma desenvolvida e fabricada nos laboratórios da Faculdade de Horizontina - FAHOR foi primeiramente submetida a testes que serviram para verificação de erros de projeto e definição de parâmetros onde alguns problemas referentes ao arrefecimento da tocha, vazamentos, regulação da corrente elétrica e vazão do gás foram encontrados e corrigidos. Após ajustes da tocha de plasma, foram realizados testes de aspersão térmica, nos quais foram utilizados dois corpos de prova, um de aço SAE 1020, e um de alumínio. Os materiais de adição utilizados foram fios de alumínio para o corpo de prova de aço SAE 1020 e estanho para o corpo de prova de alumínio. Observou-se que a realização da aspersão térmica foi possível, apresentando no corpo de aço uma superfície rugosa e irregular enquanto que no corpo de alumínio uma superfície com formato semi-rugoso, porém regular. Outra aplicação da tocha de plasma foi a realização de furos com o jato de plasma. Portanto, a tocha de plasma foi capaz de realizar aspersão térmica sobre materiais. Os furos realizados com a tocha apresentaram formato irregular. Salienta-se que ambos os processos, tanto aspergir quanto furar com a tocha de plasma construída precisam de um estudo mais aprofundado e melhorias.*

Palavras-chave: *Tocha de plasma, Aspersão térmica, furos.*

1. INTRODUÇÃO

Desde a sua descoberta até os dias atuais o plasma tem sido objeto dos mais variados tipos de estudo que visam sempre sua aplicação cada vez maior nos mais diversos campos, e áreas onde a sua utilização seja possível. Além de aplicações nas mais diversas áreas a descoberta do plasma possibilitou também o desenvolvimento de diversos equipamentos. Dentre os equipamentos desenvolvidos que se destacam estão às tochas geradoras de plasma que servem para a realização do processo de aspersão térmica a plasma.

Basicamente o processo de aspersão térmica consiste na aplicação de um revestimento metálico ou não metálico utilizando-se de uma pistola de aspersão (tocha de plasma). O material sob a forma de pó, ou fio, é aquecido até seu ponto de fusão e suas partículas são projetadas contra a superfície de determinado substrato através do ar comprimido. Estas aderem a esta superfície por impacto e após resfriarem acabam formando uma camada que serve de revestimento para a superfície do substrato.

Apoiado nesse contexto o presente trabalho tem por objetivo principal o desenvolvimento de uma tocha de plasma capaz de realizar o processo aspersão térmica em diferentes materiais. Em caráter mais específico e já com o equipamento tocha de plasma construído, o presente trabalho visa analisar o funcionamento do equipamento na realização do tratamento superficial em diferentes corpos de prova, além de analisar se o equipamento pode ser utilizado em outros processos que utilizam plasma.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Plasma

A palavra plasma é de origem grega e significa alguma coisa que pode ser formada ou moldada. Os estudos nesta área iniciaram-se em princípios do século XIX, com pesquisas em descargas elétricas de corrente contínua, por Humphry Davy, em 1808, Michael Faraday e outros, em 1830. Os plasmas foram identificados como o quarto estado da matéria em 1879 por William Crookes. Considerando as mudanças de estado que ocorrem através do aquecimento da matéria tem-se a passagem do estado sólido para o líquido pela fusão e deste para o gasoso pela vaporização. Adicionando-se mais energia, as partículas carregadas dos átomos tendem a se separar em elétrons e íons, formando



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



assim, o quarto estado da matéria – o plasma. Assim tem-se uma analogia ao antigo conceito grego dos quatro elementos – terra, água, ar e fogo (Nicholson, 1983 apud Lermen, 2011).

No que diz respeito ao uso de arco elétrico para obtenção de plasma destaca-se que existem vários processos de obtenção de um plasma dependendo das características exigidas em cada aplicação, sendo que os plasmas produzidos com o uso de arco elétrico são obtidos por utilização de descargas elétricas agindo sobre certa quantidade de gás. Dentro dos tipos de descargas o mais usual é a descarga luminescente ou descarga incandescente (“*glow*”). Esta é obtida pela aplicação ao gás de tensões de corrente contínuas CC, ou correntes alternadas, CA, ou ainda de radiofrequência RF, ou micro-ondas (INPE, 2005).

Nos processos que se utilizam de plasma o arco elétrico é também chamado de arco plasma. Salienta-se que o arco plasma pode ser transferido, quando a corrente elétrica flui entre a tocha plasma (cátodo) e a peça de trabalho (anodo); ou de modo não transferido quando a corrente elétrica flui entre o eletrodo e o bocal da tocha. Embora o calor do arco plasma emergja do bocal nos dois modos de operação, o modo transferido é usado para corte uma vez que o “calor impulsivo” utilizável na peça de trabalho é mais eficientemente aplicado quando o arco está em contato elétrico com a peça de trabalho. No arco não transferido o calor necessário para fusão é transmitido às peças somente pelo gás, podendo ser usado na união de materiais não metálicos (Silva, 2012).

2.2 Processos Industriais que Utilizam Plasma

2.2.1 Corte a 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 (Galiza, 2010).

Basicamente o corte plasma utiliza os mesmos princípios da soldagem PAW. O arco sofre constrição, forma o plasma (gás altamente ionizado) e funde a peça, sendo que o próprio remove o material fundido por arraste ou com um gás auxiliar. Entretanto, o corte realizado com este dispositivo se dá por fusão, sendo possível obter pequenas extensões; baixa deformação e alta qualidade (Machado 1996, apud Lermen 2011).

2.2.2 Soldagem a Plasma

O processo de soldagem a plasma é similar ao processo TIG e aos propulsores eletrotérmicos. O sistema desse processo é constituído por um eletrodo refratário não consumível e é geralmente conectado ao polo negativo de uma fonte de característica corrente constante. Circundando o eletrodo são encontrados dois bocais concêntricos, onde flui um gás geralmente inerte (argônio). O arco elétrico é iniciado por uma fonte de alta frequência entre o eletrodo e a peça (plasma transferido) ou entre o eletrodo e o bocal (plasma não transferido). O gás é eletricamente aquecido e ionizado ao passar pela descarga elétrica no orifício e emerge como um jato de plasma, efeito característico dos propulsores eletrotérmicos. (Lermen, 2011).

Bracarense (2000) destaca que a soldagem a plasma é um processo de soldagem que produz coalescência dos metais pelo aquecimento com um arco constricto entre o eletrodo e a peça de trabalho ou entre o eletrodo e o bocal constricto da tocha. A proteção se obtém através de um gás quente e ionizado proveniente da tocha. Esse 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.

2.3 Aspersão Térmica

A aspersão térmica é uma tecnologia de aplicação de revestimentos utilizada em diversas áreas da engenharia. Seus diferentes métodos de aplicação e a grande variedade de materiais utilizados fazem desta tecnologia uma das mais conceituadas para soluções relacionadas a desgaste, corrosão e degradação térmica, entre outras aplicações tornando sua utilização ampla, tanto na fabricação quanto na manutenção de peças e componentes (Lima, Souza e Camargo, 2012).

De forma simplificada a aspersão térmica consiste em um grupo de processos por meio dos quais se deposita, sobre uma superfície previamente preparada, camadas de materiais metálicos ou não metálicos. Nos processos de aplicação de aspersão térmica, os materiais depositados são levados a um estado fundido ou semifundido através de uma fonte de calor gerado no bico de uma pistola apropriada. E logo após a fusão, o material na fase de solidificação (na forma de partículas) é acelerado por gases sob pressão contra o substrato que será revestido. Na colisão contra a superfície as partículas deformam-se e aderem ao material base e na sequência sobre as partículas já depositadas formando camadas.



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



E estas camadas são constituídas por pequenas partículas deformadas na forma de panquecas em direção paralela ao substrato formando lamelas. (AWS, 1985 apud Paredes, 2009).

A aspersão (pulverização) térmica a plasma foi desenvolvida a partir de exigências apresentadas pela indústria aeroespacial quando revestimentos de alta qualidade que faziam uso de carbonetos e óxidos se tornaram necessários sobre motores e turbinas de foguetes em geral (Machado, 1996).

Na aspersão térmica a plasma existem dois modos de formação de plasma arco transferido e o não transferido: No modo de arco transferido, o arco atinge a peça de trabalho que fecha o circuito elétrico. No modo de arco não transferido, o arco é estabelecido e mantido entre o eletrodo e o orifício constrito. Desta forma o plasma é forçado através do orifício pelo gás e a peça não faz parte do circuito elétrico. O calor útil é obtido somente do jato de plasma, sendo conhecido como processo de aspersão térmica de plasma spray (Paredes, 2009).

Conforme Machado (1996) na aspersão por plasma a maioria das vezes é utilizado para a produção do plasma o modo de arco não transferido, ou seja, o arco é formado entre o eletrodo geralmente de tungstênio e o bocal de cobre refrigerado por água. Além disso, a tocha usada para o direcionamento e formação do plasma deve sofrer algumas modificações para a aplicação do consumível (material do revestimento) em pó.

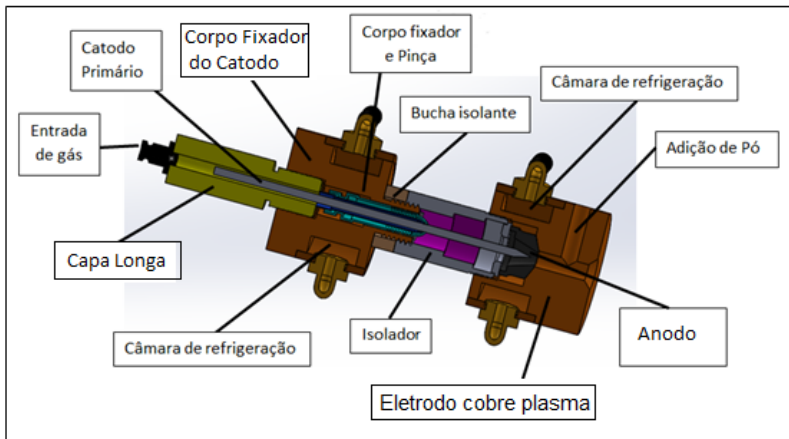
3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Para realizar a modelagem dos principais componentes da tocha de plasma, foi utilizado o software “Solid Works 2013”, uma ferramenta de auxílio para desenho e montagem de projetos muito utilizada pela engenharia atualmente. Com base em projetos e especificações referentes ao processo de aspersão térmica por tocha de plasma já existentes, foi-se dimensionada a tocha de plasma. Após ter o projeto definido, deu-se início a fabricação dos componentes, onde os mesmos foram fabricados nos Laboratórios de Conformação Mecânica e Usinagem I e II nas dependências da Faculdade de Horizontina - FAHOR, a qual disponibilizou máquinas e ferramentas necessárias para realização do trabalho.

A tocha de plasma desenvolvida caracteriza-se pela formação de um jato de plasma com elevada densidade de energia. A tocha possui geometria coaxial, sendo constituída por um catodo, que é o eletrodo negativo (eletrodo de tungstênio), fixado através de um corpo fixador, fabricado de cobre em formato cilíndrico, e um anodo, que é o eletrodo positivo (bocal de cobre). O corpo fixador do catodo e o bico de cobre são ligados e eletricamente isolados entre si através de um bocal isolador. Esta ligação permite que ocorra a formação do arco elétrico no interior da tocha entre o eletrodo positivo e o negativo.

Para o funcionamento da tocha inicialmente é injetado gás argônio no interior da mesma através da entrada de gás. O gás atravessa a capa longa e também o corpo fixador do catodo, que além de fixar o catodo possui as entradas para a refrigeração por onde é injetada água. No interior da tocha o gás é aquecido e ionizado através da passagem pela descarga elétrica gerada por uma fonte de solda TIG que tem intensidade de corrente elétrica que varia de zero até duzentos e vinte amperes. Este gás ionizado ao entrar em contato com o catodo (eletrodo de tungstênio) forma o plasma que é expelido em formato de jato.

A Figura 1(a) mostra o desenho esquemático da tocha de plasma. Os principais componentes do dispositivo são um anodo confeccionado de cobre com câmara de refrigeração e um catodo, sendo um eletrodo de tungstênio de diâmetro 3,2 mm e comprimento 150 mm com extremidade cônica de 60°. O catodo é fixado pelo corpo fixador e uma pinça, e é refrigerado através das câmaras de refrigeração a água e isolado eletricamente. Foram utilizadas luvas de cobre para formar as câmaras de refrigeração. O gás de trabalho é adicionado à tocha através da entrada de gás, localizada na capa longa da tocha. A Figura 1(b) apresenta a tocha de plasma desmontada, com as peças constituintes do projeto.



(a)

(b)

Figura 1. (a) Desenho esquemático da tocha de plasma. (b) Peças constituintes da tocha de plasma.

Após a fabricação de todas as partes constituintes da tocha de plasma, foi dado início ao processo de montagem da mesma. Os componentes da tocha de plasma foram fabricados com ligações roscadas, para facilitar sua montagem e desmontagem além de futuras manutenções e trocas de componentes que sofrem desgaste ao longo de sua utilização. A Figura 2 apresenta a tocha de plasma montada.



Figura 2. Tocha de plasma montada.

Os parâmetros determinados para a realização dos testes utilizando a tocha de plasma foram: vazão do gás e a intensidade da corrente, conforme Tabela 1, onde a partir destas variáveis foram analisados o comprimento e aparência do jato de plasma expulso para fora da tocha.

Tabela 1- Variáveis com os respectivos valores utilizados nos testes com a tocha de plasma.

Nº	Variável	Unidade	Nível	Valor
1	Intensidade da corrente elétrica	A	1	100
			2	150
			3	220
2	Vazão do Gas (Argônio)	l/min	1	10
			2	14
			3	25

A Figura 3 apresenta o esquema utilizado para realização dos testes da tocha de plasma. O equipamento é composto pelos seguintes componentes: Uma fonte de potência com regulagem de amperagem, um cilindro de argônio com regulagem de vazão, e um sistema de arrefecimento.

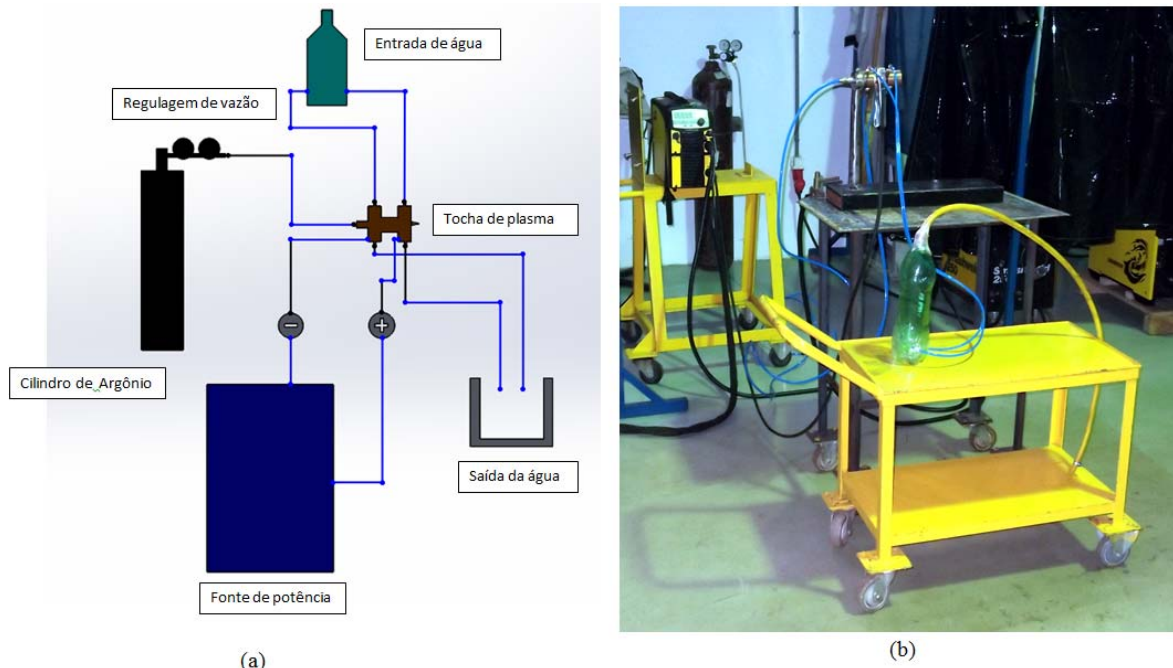


Figura 3. Esquema de funcionamento da tocha de plasma: (a) desenho esquemático do esquema de funcionamento da tocha e (b) esquema na pratica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes iniciais constituíram-se em analisar a funcionalidade da tocha de plasma. Foi analisada a formação do arco elétrico, o jato de plasma formado, possíveis vazamentos de gás, isolamentos elétricos e todo o sistema de refrigeração.

Primeiramente foi verificada que haveria necessidade da construção de um suporte estilo bancada para tocha, o mesmo foi confeccionado em aço 1020. Após a montagem da tocha (corpo) e a sua fixação no suporte, outro problema encontrado foi no sistema de refrigeração. Havia necessidade de um sistema de refrigeração com uma vazão que mantivesse a tocha a baixa temperatura quando esta estivesse em uso, evitando assim o superaquecimento dos componentes e a fusão do eletrodo ao cátodo secundário quando da abertura do arco de plasma, além de o mesmo apresentar vazamentos nas conexões. A solução para este problema foi o uso de um sistema para regular a vazão de entrada, e a utilização de uma cola de silicone para altas temperaturas nas conexões.

Com relação ao arco elétrico o mesmo apresentou um jato de plasma estável. A Figura 4 apresenta a tocha de plasma em funcionamento e o jato de plasma formado pela mesma.

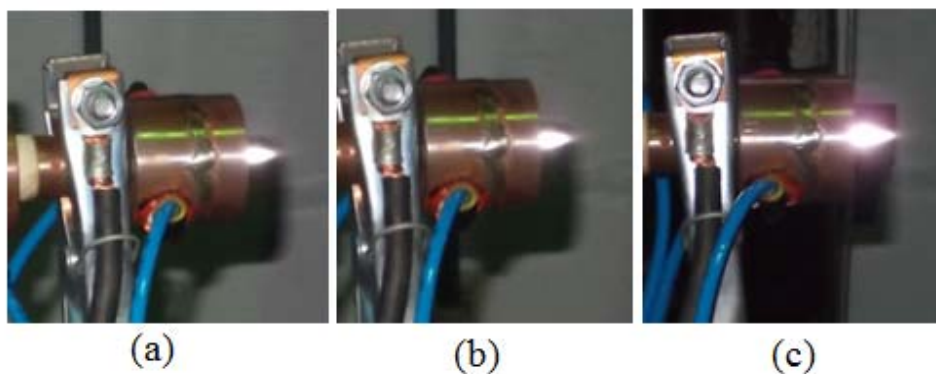


Figura 4. Comprimento do Jato de Plasma de acordo a corrente elétrica e vazão do gás. (a) 100 A e 10 l/min, (b) 150 A e 14 l/min e 220 A e 25 l/min.

Outro problema encontrado foi a injeção do metal em pó. Houve a necessidade da confecção de um furo com diâmetro de cinco milímetros na extremidade do ânodo secundário, com profundidade até o centro do ânodo secundário. A Figura 5 apresenta a tocha de plasma no processo de aspersão térmica.



Figura 5. Aspersão térmica com a tocha de plasma.

O resultado da aplicação do dispositivo no processo de aspersão térmica para revestimento superficial foi parcialmente satisfatório. No primeiro experimento os seguintes parâmetros foram utilizados; intensidade da corrente elétrica de 200 A; vazão do gás de 20 l/min; distância do corpo de prova até o bocal de 100 mm e material de adição alumínio em formato de fio. Após a realização do experimento verificou-se que houve deposição de material sobre o corpo de prova através da aspersão, criando uma camada de material com acabamento superficial semi-rugoso e irregular, conforme Figura 6 (a). No segundo teste realizado o material de adição foi o estanho em formato de fio. Os parâmetros utilizados neste experimento foram os mesmos do primeiro experimento. Ao final do experimento verificou-se que houve deposição de material sobre o corpo de prova utilizado, tornando a superfície do mesmo rugosa, porém mantendo um formato regular, conforme Figura 6 (b).

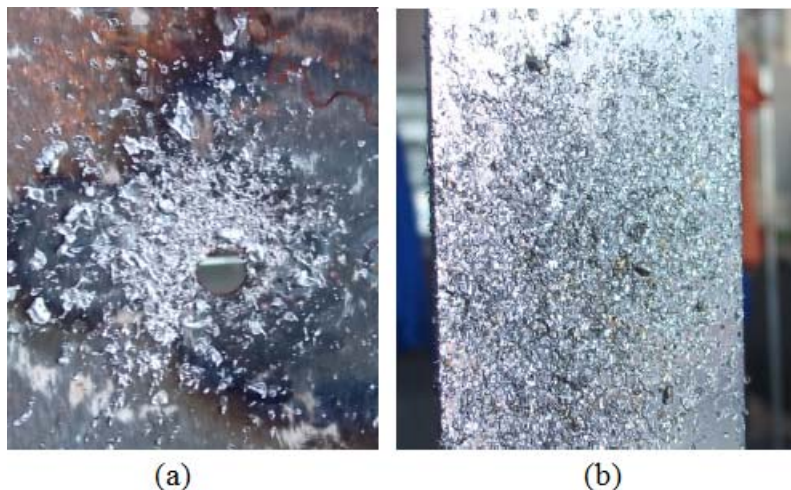


Figura 6. (a) Corpo de prova do primeiro teste e (b) Corpo de prova do segundo teste.

Os furos realizados com a tocha de plasma apresentaram irregularidades devido ao jato de plasma formado não ter força suficiente para expulsar o material fundido. No experimento realizado foram feitos dois furos em um corpo de prova de latão de aproximadamente 1 mm de espessura, com os seguintes parâmetros; intensidade da corrente elétrica de 200 A; vazão do gás de 20 l/min e distancia do bocal de 5mm. Os furos apresentaram formato irregular e rebarbas como mostrado na Figura 7, e o tempo de corte foi de aproximadamente 40 segundos.



Figura 7. Corpo de prova cortado com tocha de plasma.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nos experimentos, os estudos bibliográficos, e as análises realizadas, conclui-se que:

- Foi realizado o projeto, a construção a caracterização e a aplicação de uma tocha de plasma.
- A tocha de plasma construída apresentou a formação de um jato de plasma estável sendo que quanto maior a vazão de gás e a intensidade da corrente aplicadas maior foi o comprimento do jato de plasma.
- A tocha de plasma mostrou-se capaz de realizar aspersão térmica em corpos de prova de diferentes materiais. Foram realizados testes com corpos de prova de aço SAE 1020 onde foi aspergido o material alumínio em formato de arame e verificou que a aspersão térmica foi realizada. Também foi realizado teste com corpo de prova de alumínio onde foi aspergido material estanho em formato de arame e a aspersão térmica também pode ser verificada.
- Os furos realizados com a tocha de plasma que foi projetada e construída apresentaram irregularidades devido ao jato de plasma formado não possuir força para expulsar o material fundido de forma instantânea.

6. REFERÊNCIAS

- Bracarense, A. Q., 2000, “Soldagem a Plasma – PAW”, Universidade Federal de Minas Gerais: Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica; Disciplina de Processos de Soldagem. Belo Horizonte.
- Galiza, J. A., 2010, “Processo de Corte a Arco Plasma”, (Apostila), Piracicaba.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2005, “Relatório Final do Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE)”, São José dos Campos.
- Lermen, R. T., 2011, “Desenvolvimento de uma Tocha de Plasma Híbrida para o Processamento de Materiais”. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Machado, I. G., 1996, “Soldagem e Técnicas Conexas: Processos”, Porto Alegre: Editado pelo Autor, 1996. Cap. 18. P. 362-369.
- Paredes, R. S. C., 2009, “Aspersão Térmica”. Apostila, Curitiba, 2009.
- Silva, G. G., 2012, “Apostila de Processamento de Materiais por Plasma”, Apostila, Rio Grande do Norte.

7. RESPONSABILIDADE AUTORMAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

DEVELOPMENT OF PLASMA TORCH FOR THERMAL SPRAY APPLICATION

Gabriel Villetti Vintacourt, gv000776@fahor.com.br¹
Leandro Vianna Fernandes, lf000809@fahor.com.br¹
Richard Thomas Lermen, richard@fahor.com.br¹

¹Horizontina College (FAHOR), Avenida dos Ipês, 565, CEP: 98920-000, Horizontina, RS, Brazil.



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



Abstract. *This work presents the characterization and construction of the generating plasma torch for use in thermal spray processes. The plasma torch designed and manufactured in the laboratories of the Horizontina College- FAHOR was first subjected to tests which were used to check for design errors and definition of parameters where some problems related to cooling the torch , leaks , regulating the flow of electrical current and gas have been found and fixed . After adjustment of the plasma torch, thermal spray tests, where two specimens, one of SAE 1020 steel, and aluminum were used were carried out. The filler materials used were aluminum wires to the specimen of SAE 1020 steel and tin for the aluminum specimen. It was observed that carrying out the thermal spraying was possible, with the steel body of a rough and irregular surface while the aluminum body a surface with semi- rough shape, but regular. Another application of the plasma torch was conducting holes with the plasma jet. Therefore, the plasma torch was able to perform thermal spray on materials. The holes played with the torch have irregular shape. It is noted that both processes, both as sprinkling stick with the plasma torch constructed need further study and improvements.*

Keywords: *Plasma Torch, Thermal Spray, cutting holes.*