

## A VELOCIDADE DE CORTE COM PLASMA ASSOCIADA À FORMAÇÃO DE ESCÓRIAS

**Aleir Antonio Fontana De Paris**

Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Departamento de Fabricação e Projetos de Máquinas, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: [aparis@ct.ufsm.br](mailto:aparis@ct.ufsm.br)

### Resumo

O corte de chapas de aços ao carbono com o processo plasma tem se tornado comum nas indústrias mecânica-metalúrgicas pela sua versatilidade, que alia alta velocidade de corte e baixo custo operacional, até espessuras de 1 ½". A qualidade do corte para chapas finas equivale-se, e a s vezes é melhor, do que quando utiliza-se o processo oxiacetilênico. Este trabalho estuda a aplicação do processo plasma tendo como gás "plasmagênico" ar comprimido, no corte de chapas de aço carbono SAE 1020 com espessura de 5 mm. Poucas referências são encontradas na literatura sobre corte plasma com ar comprimido e sua influência na formação de escórias. Determinou-se uma faixa ideal de velocidades teóricas e experimentais, que não provoque a aderência de escórias tanto em alta como em baixa velocidade, para uma determinada corrente de corte.

**Palavras-chave:** Corte plasma, Escória, Aço carbono, Velocidade de corte

### 1. INTRODUÇÃO

O corte de metais com o processo plasma tornou-se uma opção disponível e bastante econômica para indústrias do segmento metal-mecânica (De Paris *et al*, 1999). Seu benefício não é somente neste aspecto mas também em termos de versatilidade, já que sua aplicação não é limitada aos aços carbono como no processo oxiacetilênico ( $O_2-C_2H_2$ ), mas aos metais não ferrosos e aços inoxidáveis.

No início de seu desenvolvimento, o processo plasma não tinha competitividade no corte de aços carbono com relação ao processo  $O_2-C_2H_2$  pela baixa velocidade de corte e acabamento dos mesmos em função dos equipamentos disponíveis (Snyder II & Manohar, 1994). Outra limitação imposta era a espessura de corte impedindo seu uso e aplicação.

Com o desenvolvimento e avanço tecnológico dos equipamentos, o processo plasma foi sendo aprimorado tornando-se uma opção de grande versatilidade e qualidade no corte de metais. Se uma fonte plasma for adequadamente selecionada para um determinado trabalho, as velocidades de corte serão razoavelmente elevadas e compatíveis com a velocidade de produção além de minimizar as distorções das peças devido ao aporte térmico (Fernicola, 1998).

No entanto, apesar do atual estágio de desenvolvimento, alguns senões continuam limitando a qualidade do processo plasma. Para chapas de aço carbono com espessuras acima

de 1 ½” a melhor escolha contínua sendo o O<sub>2</sub>-C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> por ser geralmente mais veloz e com melhor acabamento superficial de corte.

Um dos problemas tecnológicos associados ao corte de aço carbono pelo processo plasma é a aderência de escórias nas arestas inferiores de corte. Esta limitação está relacionada com a velocidade de corte, corrente do arco, diâmetro do orifício de constricção do plasma e espessura de corte (Nemchinsky, 1997).

O objetivo deste trabalho é a determinar a velocidade ideal para o corte de uma chapa de aço carbono com pequena espessura.

## 2. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

Para o estudo utilizou-se uma fonte plasma do tipo inversora com capacidade máxima de corte de 15 mm, arco transferido, e como gás “plasmagênico” ar comprimido. Considerando esta limitação na espessura de corte, os experimentos foram efetuados sobre uma chapa de aço carbono SAE 1020 com espessura de 5 mm. Para limitar o número de parâmetros operacionais, a corrente foi mantida em 50 ampères, tensão de arco de 120 volts, pressão de ar comprimido de 7 atm, diâmetro do orifício do bico de corte de 1,5 mm.

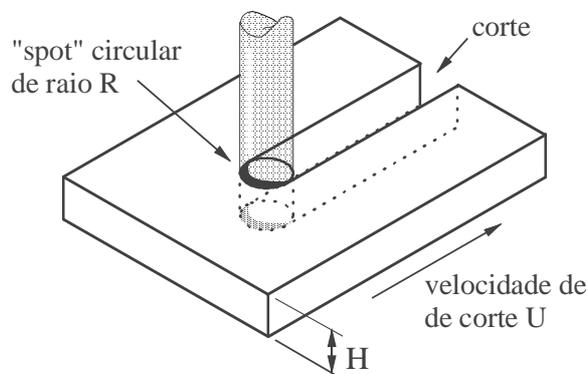
As velocidades de corte empregadas no estudo variaram entre 150 e 2500 mm/min.

A tocha foi montada em um dispositivo com velocidade controlada para mecanizar o processo e manter a velocidade constante durante o corte.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo plasma assim como outros processos ditos de alta densidade de energia, laser e feixe de elétrons, apresentam um formato de arco ou feixe incidente, de forma aproximadamente cilíndrica até uma determinada distância do bocal de saída. Alguns estudos foram efetuados sobre a distribuição de temperatura na peça com este formato de energia incidente.

O processo de transferência de calor durante o aquecimento de metal por uma fonte em movimento foi considerada em vários artigos começando com o trabalho clássico de Rosenthal (1941). Em seu estudo, a fonte de calor foi considerada pontual. Em outro trabalho Swift-Hook & Gick (1973) consideraram a fonte de calor sob a forma de linha infinitamente estreita. Bunting & Cornfield (1975) fizeram um estudo mais aproximado do formato do jato plasma, considerando o feixe incidente sob a forma cilíndrica, figura 1, e o calor para fundir o metal no *front* com o formato de lua.



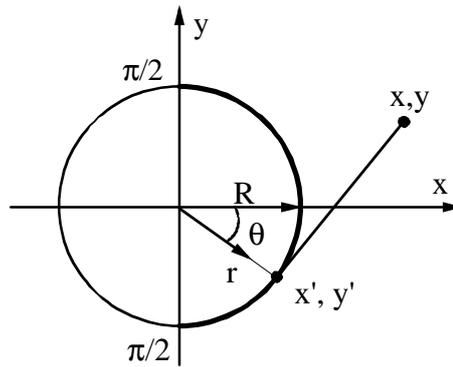
**Figura 1.** Situação típica de corte com o feixe de forma cilíndrica.

A partir destes trabalhos, Nemchinsky (1997), desenvolveu um equação que relaciona a velocidade máxima de corte para o processo plasma em função da forma cilíndrica da energia incidente.

Partindo da fórmula clássica de Rosenthal (1941) para uma fonte de calor pontual:

$$T(r) - T_0 = \frac{Q}{2\pi H \kappa} \cdot \text{Ko} \left( \frac{Vr}{2\alpha} \right) \exp \left( -\frac{Vx}{2\alpha} \right) \quad (1)$$

Considerando a superfície de aquecimento como sendo a superposição de linhas de calor e a parte mais fria do contorno plasma-metal está localizada na frente da linha do feixe em  $x = R$  e  $y = 0$ , figura 2, chegou a seguinte equação de transferência de calor:



**Figura 2.** Coordenadas utilizadas para a distribuição de temperatura.

$$T_m - T_0 = \frac{Q_\kappa}{\pi^2 H \kappa} \int_0^{\pi/2} \exp \left( -\frac{V_{\text{máx}} R \sin^2(\theta/2)}{\alpha} \right) \cdot \text{Ko} \left( \frac{V_{\text{máx}} R \sin(\theta/2)}{\sqrt{2\alpha}} \right) d\theta \quad (2)$$

Esta equação foi desenvolvida considerando que a velocidade máxima de corte corresponde a condição que a parte mais fria está na temperatura de fusão,  $T_m$ . Ela relaciona a velocidade máxima de corte  $V_{\text{máx}}$  e a energia perdida  $Q\kappa$  devido a condução térmica durante o corte.

Finalmente chegou a uma equação para a velocidade máxima de corte como sendo:

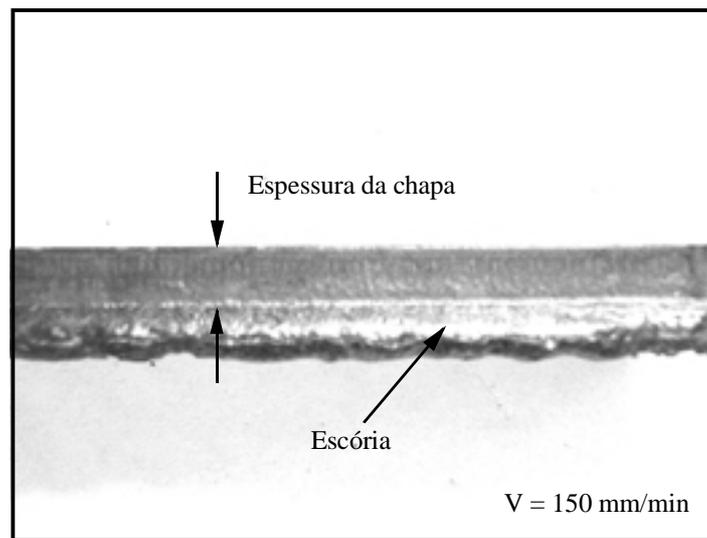
$$V_{\text{máx}} = \frac{Q_c}{\pi \rho C_1 \Delta T_m R H \left( 1 + \frac{2}{\pi} + \frac{W}{\pi C_2 \Delta T_m^*} \right)} \quad (3)$$

Onde  $Q_c$  é a soma das energias perdidas por condução  $Q\kappa$  e a energia que deixa a chapa com o metal fundido  $Q_i$ :  $Q_c = \eta V I$ ;  $\Delta T_m = T_m - T_0$ ;  $\rho$  é a densidade;  $C$  é a capacidade térmica;  $R$  raio de constrição do arco e  $H$  a espessura da chapa.

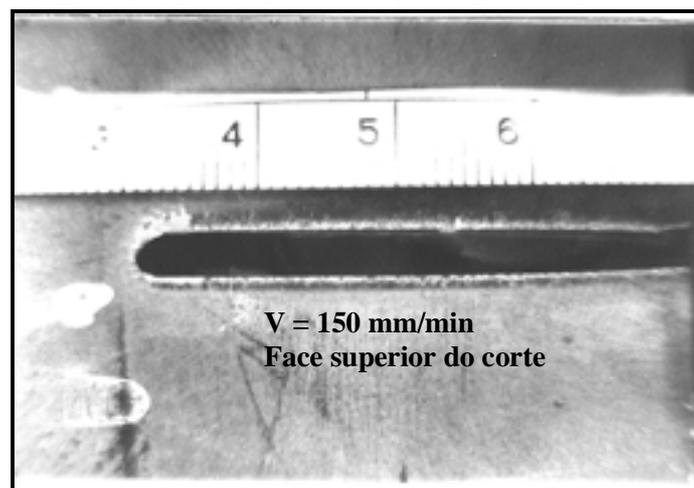
Se aplicarmos os dados experimentais na equação (3), que é como já viu-se dividida em duas partes:  $\rho = 7.8 \text{ g.cm}^{-3}$ ,  $C_1 = 0.45 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$  (estado sólido);  $C_2 = 0.86 \text{ J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$  (estado líquido);  $\Delta T_m = 1510 \text{ K}$  (temperatura de fusão até a temperatura ambiente);  $\Delta T_m^* = 1540 \text{ K}$

(temperatura do ferro líquido);  $W = 275 \text{ J.g}^{-1}$ ,  $R = 1.5 \text{ mm}$ ;  $H = 5 \text{ mm}$  e  $Q_c = \eta VI = 50 \times 120 \text{ W}$ , obtemos uma velocidade máxima teórica de corte de aproximadamente  $1640 \text{ mm/min}$ .

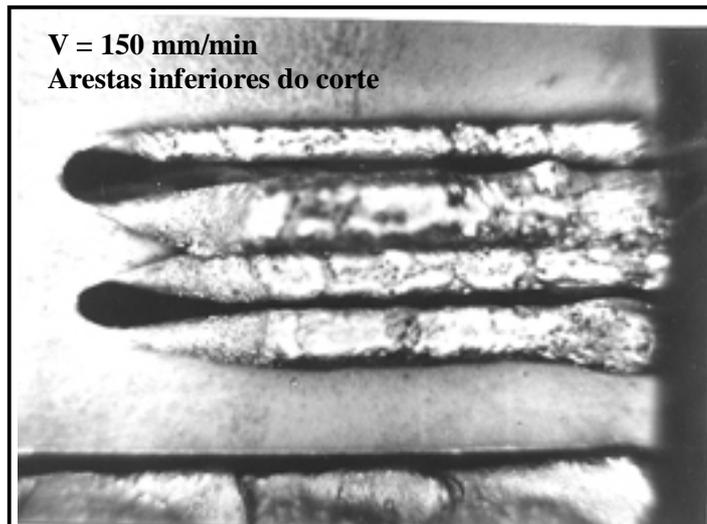
O trabalho experimental, fixado os parâmetros tensão e corrente, consistiu em cortes com velocidades variáveis. As velocidades máxima e mínima de corte foram baseadas na formação de escória na raiz da sangria. Esta escória é o resultado de metal fundido (ou oxidado) que resolidifica nas arestas inferiores da superfície de corte antes que possa ser expulso pelo jato plasma. Para uma velocidade inicial de  $150 \text{ mm/min}$ , figura 3, o corte apesar de separar perfeitamente as duas partes, apresenta superfícies irregulares com muitas estrias formada pela pressão do jato plasma como também a aderência de grande quantidade de escória. A largura do corte situa-se na média em torno de  $4 \text{ mm}$ , figuras 4 e 5. Isto significa que houve uma concentração muito grande de calor e aumento da largura de corte muito maior que o diâmetro do feixe incidente.



**Figura 3.** Superfície da seção de corte mostrando uma camada espessa de óxidos aderidos na aresta inferior.



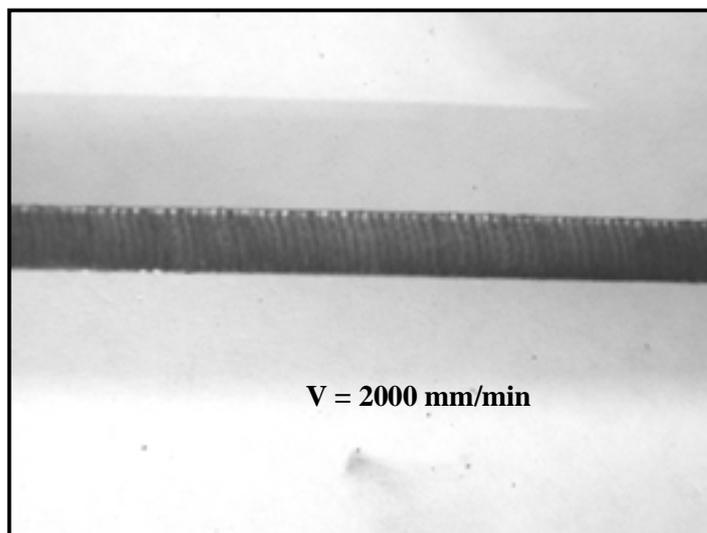
**Figura 4.** Vista superior do corte plasma para uma velocidade de  $150 \text{ mm/min}$ .



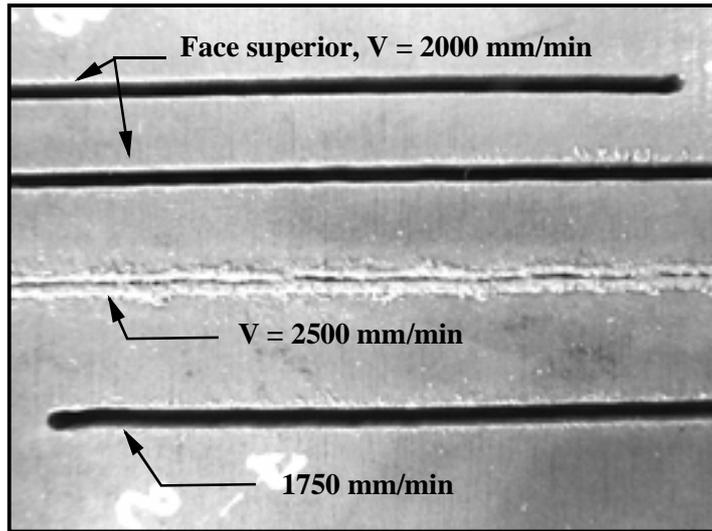
**Figura 5.** Vista inferior da superfície de corte com velocidade de 150 mm/min. Grande formação de escórias.

Aumentando esta velocidade, o volume e a aderência da escória começa a diminuir. A partir de 900 mm/min até uma velocidade de 2000 mm/min o corte apresenta-se com pouca ou ausência de escória com melhores propriedades na faixa de 1500 a 2000 mm/min.

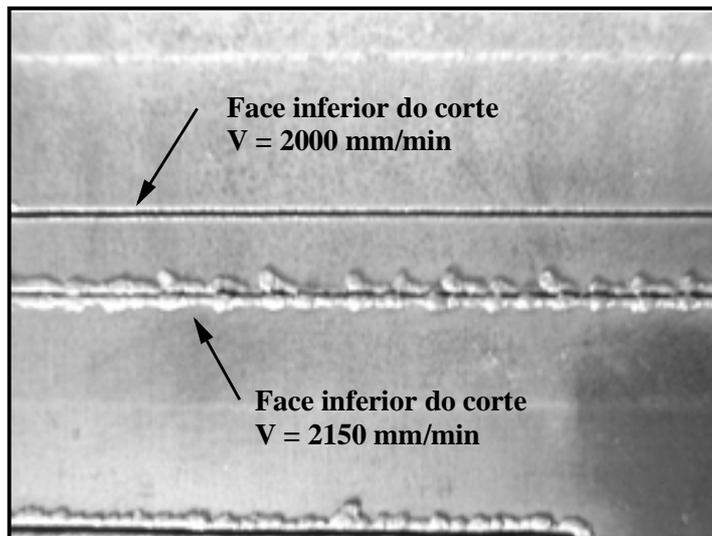
A figura 6, mostra o aspecto superficial do corte e das arestas livres de escórias para a velocidade de 2000 mm/min. As figuras 7 e 8, mostram o aspecto superior e inferior do corte com a velocidade máxima. Empregando velocidade maior, 2150 mm/min, o corte começou a apresentar novamente muita aderência e volume de escória na parte inferior das arestas.



**Figura 6.** Superfície da seção transversal de corte com velocidade de 2000 mm/min. Arestas isentas de óxidos aderidos.



**Figura 7.** Vista superior do corte com velocidades de 2000 e 1750 mm/min. Com velocidade de 2500 mm/min só houve fusão superficial.



**Figura 8.** Vista inferior do corte com velocidade de 2000 mm/min.

Nas figuras acima, nota-se que com o aumento da velocidade até um valor máximo sem defeitos, a largura da sangria aproxima-se do diâmetro de constrição do feixe incidente (do bocal).

Comparando as velocidades limites, verifica-se que existe uma diferença de aproximadamente 20% entre a velocidade teórica calculada e a experimental. Esta variação se deve provavelmente a dados não contemplados no cálculo tais como tipo e vazão de gás, já que o mesmo tem uma importância grande na largura da sangria e portanto na velocidade, Fujimura & Kawano (1987). Além disso, segundo Nemchinsky (1997), o valor de  $Q_c$  seria aumentado por um coeficiente de eficiência  $\eta$  que é maior que a unidade já que existiria uma liberação extra de calor devido à reações químicas do plasma com o metal fundido.

#### **4. CONCLUSÕES**

Através do estudo experimental, determinou-se a velocidade máxima aproximada de 2000 mm/min para o corte de uma chapa de aço carbono SAE 1020 com espessura de 5 mm, utilizando o processo plasma. A velocidade mínima de corte com boas propriedades superficiais e de arestas situa-se em torno de 900 mm/min. Se compararmos com a velocidade teórica calculada, não se verifica uma discrepância muito acentuada, levando à resultados compatíveis.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Este trabalho só pode ser levado a bom termo pelo incentivo da FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul), processo nº 97/1427.0, a quem o autor manifesta seu agradecimento.

#### **6. REFERÊNCIAS**

- Amaral, Luis Gustavo ; Rissardo, Wagner ; De Paris, Aleir. Comparação entre os custos dos processos de corte dos metais: oxicorte e plasma. XV CRICTE, Santa Maria, RS, 1999,
- Manohar, Murali ; Snyder II, James P. Dross formation during plasma arc cutting of steels. Weld. J., v. 73, n. 11, 1994, pp. 45-51.
- Fericola, Robert C. Guide to manual plasma arc cutting. Weld. J., v. 77, n. 3, 1998, pp. 53-55.
- Nemchinsky, Valerian A. Dross formation and heat transfer during plasma arc cutting. J. Phys. D: Appl. Phys., V. 30, 1997, pp. 2566-2572.
- Rosenthal, Daniel. Mathematical theory of heat distribution during welding and cutting. Weld. J., v. 20, n. 5, 1941, pp. 220s-234s.
- Swift-Hook, D.T. ; Gick, A.E. Penetration welding with lasers. Weld. J., v. 52, n. 5, 1973, pp. 492s-499s.
- Bunting, K.A. ; Cornfield, G. Toward a general theory of cutting: a relationship between the incident power density and the cut speed. Trans. ASME J. Heat Transfer, v.97, n. 2, 1975, pp. 116-122.
- Fujimura, Hiroshi ; Kawano, Takayuki. Studies on blowhole formation in welding of air-plasma cut steel plates. Trans. Japan Weld. Soc., v. 18, n. 1, 1987, pp. 46-53.