

# AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROCESSAMENTO POR PTA NAS SUPERFÍCIES PROCESSADAS

**Edson Hiromassa Takano**

Universidade Federal do Paraná - hiromassa@gmail.com

**Douglas de Queiroz**

Universidade Federal do Paraná - douglas.queiroz@ufpr.br

**Ana Sofia Clímaco Monteiro D'Oliveira**

Universidade Federal do Paraná - sofmat@ufpr.br

**Resumo.** *O processo de deposição a Plasma por Arco Transferido (PTA) vem recebendo, nos últimos anos, uma crescente aceitação. O conceito do PTA é uma modificação do processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas), onde a coluna do arco elétrico (plasma) sofre uma constrição, resultante da passagem do arco através de um orifício de diâmetro reduzido, normalmente de cobre, refrigerado a água. Apresentando características atrativas tanto do ponto de vista do processo como metalúrgico, não podendo deixar de se mencionar a pequena distorção, baixa diluição, estrutura homogênea e refinada dos revestimentos. Maiores inovações e otimização no processamento de componentes de engenharia poderão ser conseguidas se diversas empresas tivessem acesso a um estudo dos diferentes parâmetros de processamento. De fato, ainda é escassa a literatura do processo, se comparado com outros processos de soldagem, tendo-se certos aspectos com informações divergentes, exigindo a elaboração de um estudo amplo e sistemático dos efeitos das variáveis de soldagem. Este trabalho visa contribuir com esta sistematização e tem como objetivo principal a verificação do efeito das variáveis de processo nas características do cordão depositado por PTA. Utilizando corrente contínua constante, estudou-se a influência do ângulo de afiação do eletrodo de tungstênio, vazão do gás de plasma e a constrição do bocal da tocha, utilizando-se como material de aporte à liga atomizada à base de cobalto conhecida comercialmente como Stellite 6. As características dos revestimentos foram avaliadas através da caracterização, do acabamento superficial, diluição e da determinação da dureza. Os resultados mostraram que as características dos depósitos foram determinadas pela intensidade de corrente seguida pela constrição do bocal e a afiação do eletrodo que não influenciou os resultados.*

**Palavras-chave:** Plasma por Arco Transferido, Revestimentos Soldados, Ligas de Co

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de deposição a Plasma por Arco Transferido (PTA) pode ser considerado uma modificação do processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas), onde a coluna do arco elétrico (Plasma) sofre uma constrição, resultante da passagem do arco através de um orifício de diâmetro reduzido, normalmente de cobre, refrigerado a água [1, 2, 3, 5]. O processo utiliza dois arcos ajustáveis independentemente, Figura 1, um arco não transferido chamado piloto, obtido de um circuito de alta frequência entre um pólo negativo (eletrodo de tungstênio) e um ânodo que vem a ser um bocal de cobre. Este arco piloto é utilizado para iniciar e estabilizar o arco transferido (arco principal), entre o eletrodo de tungstênio (cátodo) e a peça a ser revestida (ânodo) através da

ionização do gás inerte direcionado ao redor do eletrodo. Quando o arco principal é formado, o arco piloto é extinto e somente volta a ser estabelecido quando o arco principal é extinto.

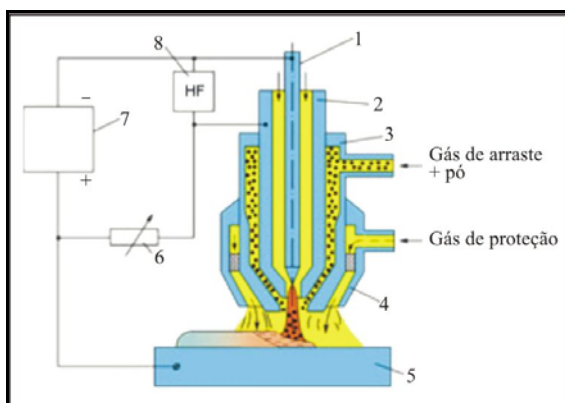
O processo consiste inicialmente em provocar numa coluna de gás com o auxílio de um arco elétrico, o aumento da temperatura, o suficiente para que os impactos entre as moléculas de gás provoquem entre si certo grau de dissociação e ionização. O gás ionizado é forçado a passar através de um orifício de parede fria e esta repentina mudança provoca um grande gradiente térmico entre o centro da coluna de gás e a periferia, que está em contato com a parede de cobre, fazendo com que a densidade no centro da coluna diminua, favorecendo os elétrons adquirirem energia suficiente para provocar ionização de outros átomos, criando-se assim o plasma.

O aumento da velocidade do plasma é consequência direta da constrição do bocal de cobre. O bocal age como colimador e focaliza o feixe de plasma. O arco a plasma oferece um arco de maior densidade de energia do que no processo com arco não transferido, em virtude da natureza colimada do feixe de plasma. O arco é essencialmente circular na sua seção transversal, e a área de contato é praticamente inalterada por variações mínimas da distância de afastamento.

O equipamento básico para a soldagem a plasma consiste de uma tocha, fonte de energia, painel de controle, cilindros de gases de plasma e de proteção, circuito de água de resfriamento e controle remoto da corrente de soldagem.

O PTA emprega três fluxos de gás: Plasma, Proteção e Transporte ou Arraste. As vazões e composição desses gases podem ser controladas separadamente, mas em muitos casos emprega-se somente o argônio.

A deposição por PTA é um processo no qual um material em pó, liga atomizada ou mistura de pós-elementares é introduzido no plasma onde é fundido e este spray térmico ao atingir a poça fundida no substrato, forma um depósito denso e homogêneo, com excelente ligação metalúrgica ao metal de base.



- 1) Eletrodo de Tungstênio
- 2) Bocal do Orifício Constritor
- 3) Condutor de Pó
- 4) Bocal do Gás de Proteção
- 5) Substrato ou Material Base
- 6) Circuito do Arco Piloto
- 7) Circuito do Arco Principal
- 8) Gerador de Alta Freqüência para início do Arco Piloto

Figura 1. Desenho esquemático de uma tocha do PTA.

Entre as vantagens do processo a plasma a arco transferido em relação a outros processos de soldagem de revestimentos destacam-se: [3, 5]

- Estabilidade do arco, mesmo com corrente muito baixa;
- Jato de plasma mais forte, em consequência da constrição do bocal e do aumento da velocidade do gás plasma;
- Menor tendência à distorção;
- Diluição típica em torno de 5% a 20%;
- Confiabilidade no controle dos parâmetros.

Também se devem destacar as seguintes desvantagens: [4, 6]

- Equipamento de maior complexidade, o que gera maior custo de manutenção;
- O equipamento é relativamente caro e necessita de uma instalação permanente;
- O consumo de gás argônio é um pouco maior que no processo TIG;

- Requer do operador maior conhecimento do processo, pois a tocha é mais complexa, o eletrodo requer configuração e posicionamento precisos, havendo a necessidade de seleção correta da vazão do gás de plasma e de proteção.

## 2. OBJETIVOS

Sendo as informações apresentadas na literatura dispersas e muito dependentes do equipamento utilizado, o objetivo deste trabalho é analisar as influências de alguns parâmetros do processo de deposição por Plasma com Arco Transferido (PTA) nos revestimentos processados. Foram investigados os efeitos da constrição do bocal, do ângulo de afiação da ponta do eletrodo, da influência da vazão de gás do plasma na geometria do cordão, diluição e dureza.

## 3. MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

Os revestimentos foram processados utilizando-se o equipamento de Plasma por Arco Transferido do modelo STARWELD 300M, produzido pela Deloro Stellite, instalado no Laboratório de Engenharia de Superfície da Universidade Federal do Paraná.

A tocha utilizada foi o modelo 600 produzida pela Deloro Stellite refrigerada a água, a faixa de trabalho para a intensidade de corrente está compreendida entre 20A a 250A, sendo provida de um eletrodo de tungstênio não consumível com diâmetro de 3/16" e um bocal de cobre.

Os substratos ou material base foram confeccionados a partir de uma barra chata de aço ao carbono ABNT 1020 e seccionada com as dimensões de 100 x 100 x 12,5mm, antes da deposição a superfície foi desbastado para a retirada de sujeiras, óxidos e carepas.

Para os ensaios foi utilizado o gás de argônio com 99,995% de pureza como gás de plasma, de proteção e de arraste. O pó utilizado para o revestimento foi à liga atomizado à base de cobalto conhecida comercialmente como Stellite 6.

Para o processamento fixaram-se alguns parâmetros como a velocidade de deposição, vazão do gás de proteção, gás de arraste e distância tocha-peça, apresentado na tabela 1, e variando-se o ângulo de afiação da ponta do eletrodo, diâmetro do orifício do bocal, vazão do gás de plasma e intensidade de corrente, conforme a tabela 2.

Tabela 1. Parâmetros constantes dos processos

| <b>Velocidade de Deposição (mm/min)</b> | <b>Vazão do gás de Proteção (L/min)</b> | <b>Vazão do gás de Arraste (L/min)</b> | <b>Distância Tocha-Peça (mm)</b> |
|---|---|--|----------------------------------|
| 100                                     | 15                                      | 2                                      | 10                               |

Tabela 2. Variação dos parâmetros das amostras depositado em PTA

| Ângulo do Eletrodo (Graus) | Diâmetro do Bocal (in) | Vazão do Gás de Plasma (L/min) | Corrente (A) |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------|
| 30°                        | 3/16"                  | 2                              | 100          |
|                            |                        |                                | 180          |
|                            | 1/8"                   | 1                              | 100          |
|                            |                        |                                | 180          |
|                            | 1/8"                   | 2                              | 100          |
|                            |                        |                                | 180          |
| 10°                        | 3/16"                  | 2                              | 100          |
|                            |                        |                                | 180          |
|                            | 1/8"                   | 1                              | 100          |
|                            |                        |                                | 180          |
|                            | 1/8"                   | 2                              | 100          |
|                            |                        |                                | 180          |
| 1/8"                       | 1                      | 100                            |              |
|                            |                        | 180                            |              |

O aspecto superficial dos cordões foi avaliado por inspeção visual quanto à presença de trincas, porosidades e outros defeitos de soldagem.

A molhabilidade dos cordões foi avaliada qualitativamente através do ângulo de molhabilidade ou de contato ( $\theta$ ) formado entre a superfície sólida e o plano tangencial à superfície do cordão depositado, conforme a Figura 2. Se  $\theta < 90^\circ$ , o líquido tem tendência a molhar a superfície e o oposto ocorre para  $\theta > 90^\circ$ . Portanto, quanto menor este ângulo, melhor será o molhamento.

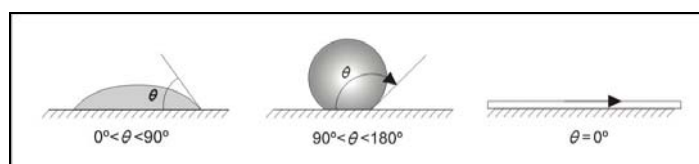


Figura 2. Ângulo de Molhabilidade

A caracterização dos revestimentos inclui ainda a determinação da diluição e microdureza Vickers na seção transversal à direção de soldagem e submetido à preparação metalográfica. O cálculo da porcentagem da diluição dos cordões foi realizado através de um exame macrográfico conforme a Figura 3 e assim sendo calculada a diluição através da Fórmula (1) onde D é a diluição em porcentagem, A é a área do cordão de solda e B a área do metal de base fundido.

$$D = \frac{B}{A + B} \cdot 100 \quad (1)$$

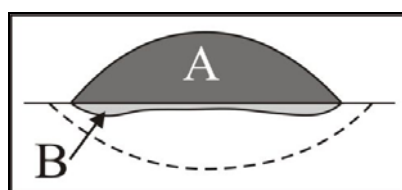


Figura 3. Determinação da porcentagem de diluição

O ensaio de microdureza foi realizado utilizando um microdurômetro Vickers da marca Wilson Tukon com uma carga de 0,3 kg. As impressões de microdureza foram medidas na seção transversal dos revestimentos e no total foram efetuadas oito impressões aleatórias para calcular o valor médio de cada superfície.

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Análise Superficial

Os diferentes cordões foram analisados por inspeção visual para identificação de descontinuidades superficiais, trincas e ou poros superficiais. Na Figura 4 apresenta-se o aspecto superficial dos cordões processados e organizados conforme a intensidade de corrente (100A e 180A) e a vazão do gás de plasma (2 L/min e 1 L/min) em função do ângulo de afiação do eletrodo (30° e 10°) e o diâmetro do orifício do bocal (3/16" e 1/8").

De um modo geral observa-se que os depósitos processados com 100A, para as variações de parâmetros testados, apresentaram-se lisos, mais estreitos, sem a presença de poros ou trincas superficiais e eventuais mordeduras foram observadas. Um aumento na intensidade de corrente para 180A manteve a qualidade superficial no que se refere à presença de poros e trincas. A exceção foram os depósitos processados com bocal de 1/8" e vazão de gás de plasma 2 L/min para a intensidade de corrente de 180A que apresentaram escamas em suas superfícies, característica associada a uma maior turbulência na poça de fusão durante a solidificação do revestimento [7, 8]. Esta maior turbulência pode ser associado ao aumento da pressão do arco de plasma em consequência da constrição imposta pelo bocal de 1/8".



Figura 4. Análise superficial dos diferentes cordões conforme intensidade de corrente, ângulo de afiação do eletrodo e vazão de gás

## 4.2. Diluição

A avaliação do efeito dos diferentes parâmetros sobre a diluição, ou seja, sobre a maior ou menor mistura da liga depositada com o substrato podem ser observados nas seções transversais da Figura 5, resultados apresentados mantendo a organização anterior, e a porcentagem da diluição apresentado na Figura 6. A seção transversal dos cordões processados para os diversos parâmetros variados mostra o efeito determinante da intensidade de corrente nas características geométricas dos cordões e conseqüentemente na diluição.

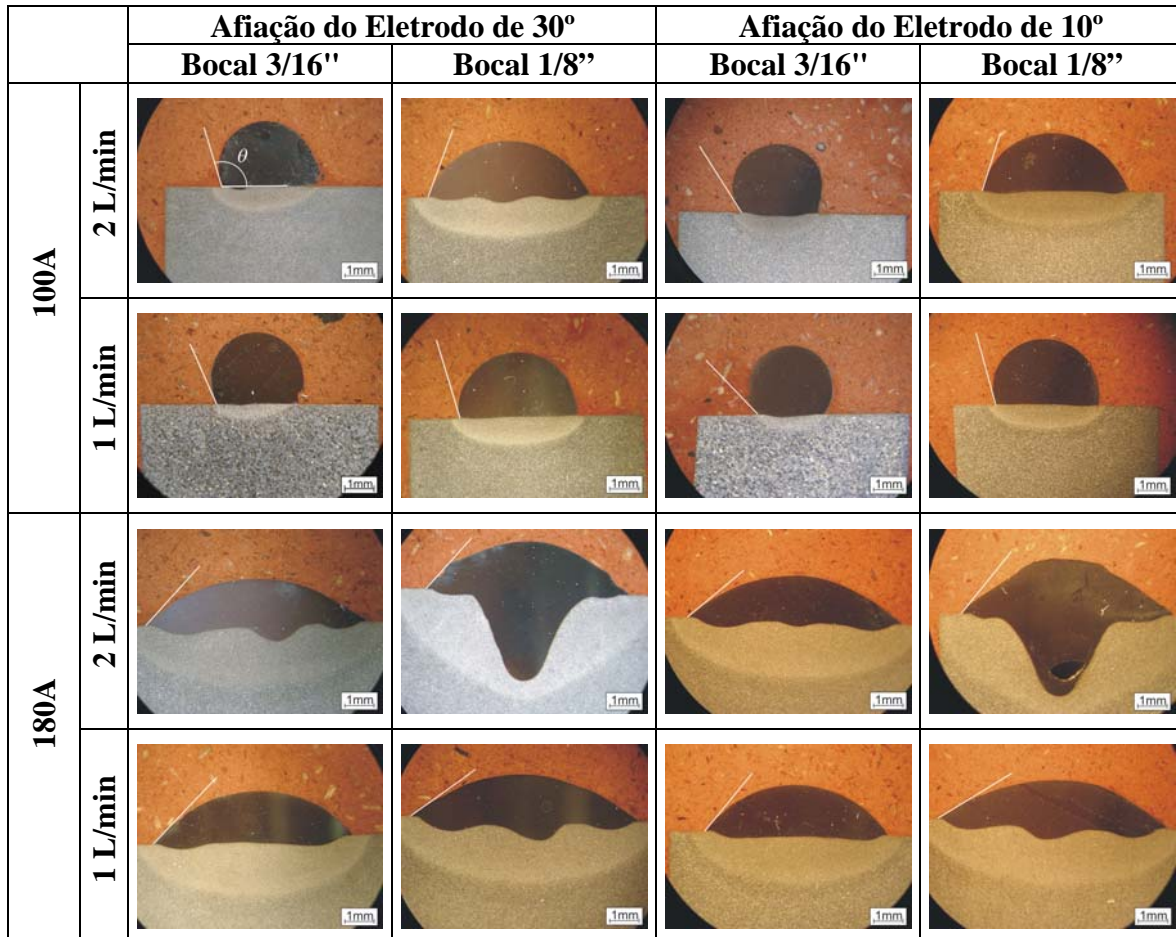


Figura 5. Seção transversal dos cordões indicando o ângulo de molhabilidade

Os resultados mostram que o nível de diluição é determinado principalmente pela intensidade de corrente, seguindo previsões da literatura [6, 9, 10], comportamento resultante do maior aporte de calor que permite fundir um maior volume do substrato.

Observa-se também que a constrição do arco contribui para maiores diluições para cada uma das intensidades de corrente testadas, sendo seu efeito mais pronunciado nos cordões processados com 180A.

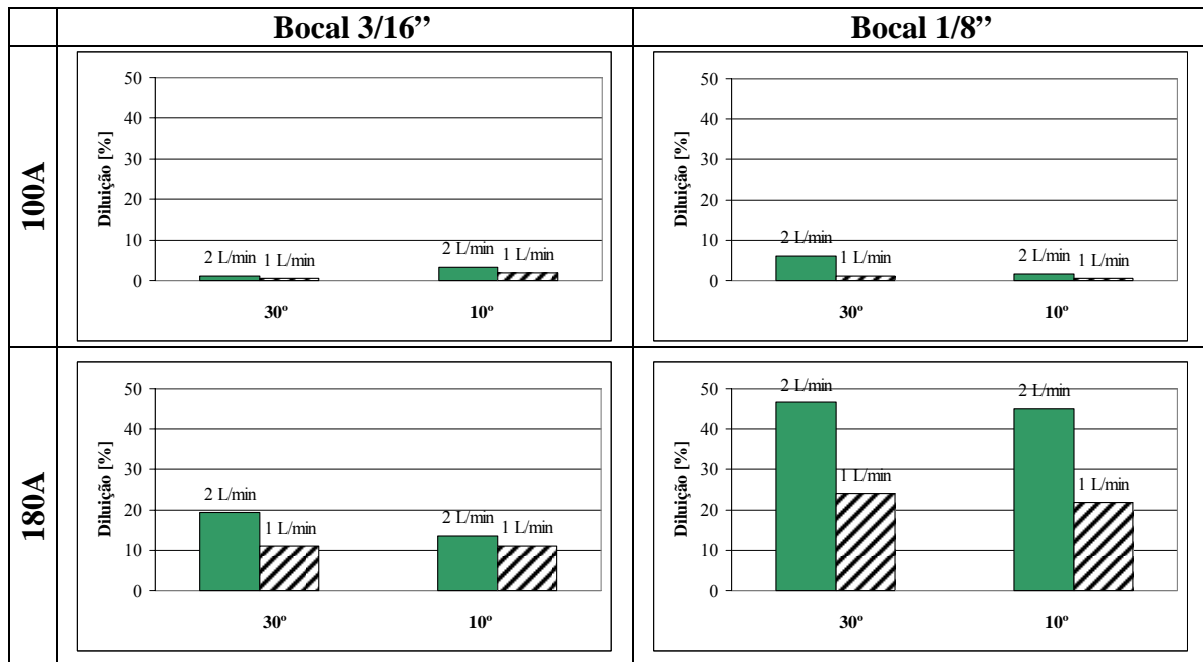


Figura 6. Variação da porcentagem da diluição do bocal em função dos parâmetros processados

Variações menos significativas nos percentuais de diluição são provocados pelo aumento da vazão do gás de plasma e pelo ângulo de afiação do eletrodo.

O aumento da intensidade de corrente tem um efeito apreciável sobre a molhabilidade dos cordões processados como se observa na sua seção transversal, Figura 5.

#### 4.3. Dureza

A avaliação dos parâmetros de processamentos por medidas de dureza mostra uma tendência similar ao observado na diluição, Figura 7. Verifica-se que as maiores durezas foram medidas nos revestimentos que apresentaram menor diluição, seguindo previsões da literatura [5]. A dureza dos revestimentos acompanha as tendências observadas na diluição, maiores níveis de diluição resultam nas menores durezas, comportamento atribuída a maior quantidade de Ferro na liga de cobalto proveniente do substrato [11].

Assim revestimentos processados com a menor intensidade de corrente (100A) apresentaram as maiores durezas, aproximadamente 545 HV, sendo a influência dos demais parâmetros de processamento pouco significativa. O aumento da intensidade de corrente para 180A provoca maiores oscilações nos valores de dureza medidas em função dos parâmetros de processamento. Neste caso com a constrição do bocal de 1/8" observa-se uma queda de dureza mais acentuada com o aumento da vazão de gás de plasma para 2 L/min. O ângulo de afiação não influenciou a dureza dos revestimentos.

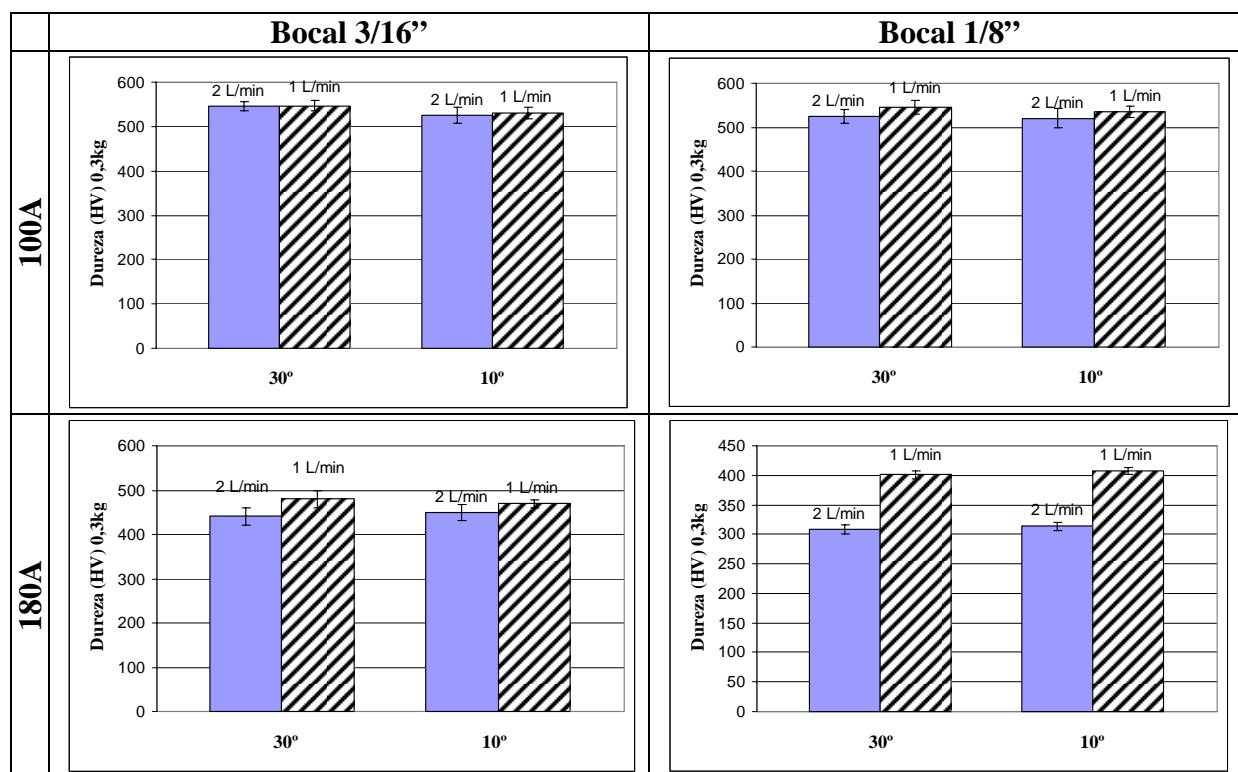


Figura 7. Variação de dureza em função dos parâmetros de processamento

#### 4.4. A Influência do Diâmetro do Orifício do Bocal

A identificação da importância relativa dos parâmetros de processamentos nas características dos cordões fica evidente pela análise da diluição e dureza em função da intensidade de corrente, no entanto este resultado não significa que os outros parâmetros não são relevantes, mas apenas para as condições avaliadas o seu efeito não é determinante. No entanto faz-se necessário uma análise mais detalhada da influência de parâmetros como o diâmetro do bocal e ângulo de afiação do eletrodo nas características avaliadas.

O bico constritor, de cobre, apresenta um orifício central pelo qual o arco e todo o volume de gás de plasma atravessam. O diâmetro do orifício do bico constritor tem uma grande influência sobre a qualidade do revestimento, pois a constrição do bocal possibilita grande concentração de energia e altas densidades de corrente resultam em maiores temperaturas do arco plasma.

Na Figura 5, pode-se observar que além da variação da intensidade de corrente, o bocal é um dos fatores que gere diferenças no comportamento e no aspecto dimensionais dos cordões. Para a corrente de 180A, um aumento na vazão de gás de plasma resulta no aumento da velocidade e rigidez do jato de plasma [5] e também na pressão do arco sobre a poça de fusão gerando uma agitação/turbulência da poça de fusão e um aumento excessivo da penetração chegando mesmo a provocar defeitos, como os observados nos cordão processados com afiação da ponta do eletrodo de 10°, com vazão do gás de plasma de 2 L/min e orifício do bocal de 1/8''. O desenvolvimento deste defeito deve-se a uma penetração excessiva, onde os gases inclusos na poça de fusão não conseguem sair durante a solidificação do revestimento [8, 9].

O ângulo da afiação do eletrodo é importante para a abertura e estabilização do arco principal, mas não influenciou a penetração dos cordões.



## 5. CONCLUSÃO

Para as condições testadas neste trabalho pode-se concluir:

O aspecto superficial, molhabilidade, diluição e dureza são influenciados com a intensidade diferentes pelos parâmetros de processamento.

A intensidade de corrente é o parâmetro de processamento que afeta mais significativamente as características dos cordões, sendo que quanto maior a intensidade de corrente de processamento, maior a molhabilidade, maior o nível de diluição e conseqüentemente menor a dureza dos revestimentos.

O efeito da constrição do bocal é função da intensidade de corrente utilizado, sendo mais expressivo para as maiores intensidade de corrente.

A vazão do gás de plasma pode ser considerado um parâmetro secundário, a variação gás de plasma influência no potencial de ionização do plasma, ou seja, quando maior a vazão de gás maior será a porcentagem de diluição e menor será a dureza. A afiação do eletrodo não afeta as características avaliadas em relação à dureza.

## 6. REFERÊNCIAS

### A) DOCUMENTOS IMPRESSOS

1. BRACARENSE A.Q. **Soldagem a plasma – PAW**, Belo Horizonte - MG, maio de 2000.
2. VERGARA V.M.D. **Estudo e desenvolvimento do processo de soldagem plasma de arco transferido alimentado com pó (PTAP) e concepção do equipamento**. Tese de Doutorado do Centro Tecnológico da UFSC, Florianópolis, 2005.
3. RICHETTI A., FERRARESI V.A. **Aplicação da soldagem a plasma em passe de raiz**, XXV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, Belo Horizonte – MG, Setembro de 1999.
4. WAINER E., BRANDI S.D., Mello F.D.H. **Soldagem: Processos e metalurgia**, Editora Edgard Blucher Ltda, 1992.
5. D’OLIVEIRA, A. S. C. M., PAREDES, R. S. C., SANTOS, R.L.C. **Pulsed current plasma transferred arc hardfacing**, Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 167–174.
6. D’OLIVEIRA, A. S. C. M. **Revestimentos soldados / Revestimentos duros**, UFPR, p. 10 - 18, 2001.
7. MODENESI, P. J. **Influências metalúrgica do fluxo de calor**, Apostila de Metalurgia da Soldagem, 1985, Belo Horizonte – MG.
8. RICHETTI, A. **Análise e modelagem empírica do processo de soldagem a plasma com “keyhole” em aços inoxidável**. Tese de Doutorado da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.
9. DAVIS, J.R. **Surface Engineering for corrosion and wear resistance**, ASM International, 2001.
10. WU, W., WU, L. **The wear behaviour between hardfacing materials**, Metallurgical and Materials Transactions , 3648-vol. 27A, 1996.
11. YAEDU, A. E., D’OLIVEIRA, A. S. C. M. **“Co based alloy pta hardfacing with different dilution levels**, Materials Science and Technology, United Kingdom, v. 21, n. 4, p. 459-466, 2005.

## EVALUATION PROCESSING PARAMETERS ON PTA HARDFACING

**Edson Hiromassa Takano**

Federal University of Paraná - hiromassa@gmail.com

**Douglas de Queiroz**

Federal University of Paraná - douglas.queiroz@ufpr.br

**Ana Sofia Clímaco Monteiro D'Oliveira**

Federal University of Paraná - sofmat@ufpr.br

**Abstract.** *Plasma transferred arc are hardfacing (PTA) on industrial components has been growing in recent years. This process is a modification of TIG (tungsten inert gas) where the electric arc is constricted. Exhibiting attractive features from the processing and metallurgical point of view among which one could mention low distortion, low dilution, refine and homogeneous microstructure. Further applications are frequently restrain by the lack of reliable information regarding the effect of the different processing parameters on the coating features. This work aims to contribute as it presents a study on the influence of processing parameters on the characteristics of the deposits. For that purpose using two levels of current intensity, 100A and 180A, a cobalt based alloy, commercially known as Stellite 6 was deposited to evaluate the effect of arc constriction, plasma gas flow and the tungsten electrode degree sharpening. Coating features were evaluated by visual inspection, for the presence of porosities and cracks, wettability, dilution and hardness. Results confirmed the relevance of an optimization stage regarding the parameters tested and that current intensity as a major role on the coating properties, followed by the arc constriction.*

**Keywords.** *Plasma Transferred arc, Surface welding, Co Alloys*