

Influência do Resfriamento do Eletrodo na Produtividade do Processo TIG**(Influence of Cooling of the Electrode in the Productivity of GTAW Process)**

¹Erick Gonzalez Olivares, ¹Regis Henrique Gonçalves e Silva, ¹Jair Carlos Dutra
¹Universidade Federal de Santa Catarina, Labsolda, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
Erick.gonzalez@posgrad.ufsc.br, regis@labsolda.ufsc.br, jdutra@labsolda.ufsc.br

Resumo

A busca pelo aumento de produtividade em processos de soldagem autógenos se baseia comumente em iniciativas para aumento da concentração da fonte de calor. Assim, como alternativa ao Laser para aplicações de alta velocidade de soldagem (i.e. a partir de 2 m/min), comercialmente surgiu uma moderna variante do processo TIG, com constrição catódica do arco. A técnica consiste na utilização de um projeto diferenciado de tocha, que provê uma elevada taxa de refrigeração do eletrodo de Tungstênio (cátodo). As simulações numéricas térmica do eletrodo e do arco para a mesma corrente de soldagem, encontradas na bibliografia, mostram que existem substanciais aumento da temperatura do arco e redução da temperatura do eletrodo para a tocha TIG com constrição catódica, em relação à tocha convencional. Ensaio feitos no laboratório demonstraram que a tensão do arco da tocha com constrição catódica tem um comportamento diferente à descrita na bibliografia, ao comparar com o TIG convencional. Analisando os dados obtidos e fotografias do arco entre o processo TIG convencional e com constrição catódica, é concluído que o resfriamento do eletrodo não é um fator relevante no incremento da produtividade no processo TIG.

Palavras-chave: GTAW, Produtividade TIG, Resfriamento do Catodo, Constrição catódica, CF-TIG.

Abstract: The search for the improvement in the autogenous welding process is commonly based in the increased of the concentration of the heat source. So as alternative to Laser welding process for applications of high welding velocity (ex. Beginning to 2 m/min), commercially arose a modern variant of the GTAW process. The variant consist in an improvement of the cooling system of the GTAW gun, focused in the tungsten electrode (cathode). The numerical thermic simulations of the electrode and the arc for the same welding current show that exist significant increase in the temperature of the arc and a reduction of the electrode temperature, to compare with a conventional TIG welding gun. Experiments made in the laboratory showed that the arc voltage for the Constricted Focused TIG gun (CF-TIG) has a different behavior to described in the bibliography, when is compared with the conventional TIG welding gun. Analyzing the current and voltage measurement, included images of the arc welding for both TIG guns, is concluded that the electrode cooling is not a relevant factor for the increased of the productivity in the GTAW process.

Key-words: GTAW, TIG productivity, Cathode cooling, Cathodic constriction, CF-TIG.

1. Introdução

Dentro das pesquisas atuais no processo TIG, sempre procurando um melhoramento da produtividade que pode alcançar esse processo, foi desenvolvida a ideia de aumentar o nível de resfriamento do eletrodo. É preciso lembrar que o processo TIG trabalha fundamentalmente com emissão termiônica de elétrons, a qual depende da temperatura do eletrodo para iniciar a emissão dos elétrons..

O aquecimento do eletrodo no processo TIG inicia-se com a abertura do arco, seja por alta tensão e alta frequência, em que um pulso de tensão ioniza o meio entre o eletrodo e a peça, ou por curto-circuito com corrente controlada, em que o baixo valor de corrente é suficiente para aquecer a ponta do eletrodo até a condição da emissão termiônica. Dentre essas fontes estariam, segundo Cheng [1], o efeito Joule, a radiação do arco, a energia das reações exotérmicas na superfície do eletrodo e as energias térmica e cinética dos íons que se chocam contra o cátodo. Conforme observado por Richardson [2], um corpo emite termiõnicamente um número de elétrons limitado por sua mancha catódica em função de sua temperatura e material. A mancha catódica dependerá das condições com que seja estabelecido o arco (intensidade de corrente, gás de proteção, afiação e tipo de eletrodo). Jarvis [3] fez estudos sobre o efeito da afiação e o diâmetro do eletrodo sobre a mancha catódica no processo TIG, encontrando que ao aumentar o diâmetro do eletrodo diminuía a área de emissão dos elétrons, o qual também é corroborado por Savage et al [4].

A ideia proposta por Schnick et al[5] é obter uma superfície de emissão de elétrons limitada a uma pequena região na ponta do eletrodo, utilizando uma eficiente refrigeração do eletrodo. O qual provocaria uma constrição do arco e um incremento na densidade de corrente, alcançando altas temperaturas de arco, incrementando a pressão e a velocidade do plasma, inclusive aumentaria a vida do eletrodo.

É objetivo do presente trabalho, estudar o efeito da refrigeração eficiente do eletrodo proposta por Schnick et al[5] e sua direta relevância na constrição catódica do arco e na produtividade do processo TIG.

2. Matérias e Métodos

Para realizar os ensaios foi necessário montar uma bancada segundo e apresentada na Figura 1. A fonte de soldagem utilizada é uma DigiPlus A7 da IMC Soldagem. O deslocamento das tochas foi realizado através de um Tartilope V2 em posição plana. A refrigeração das tochas é conseguida com um trocador de calor de temperatura regulável.

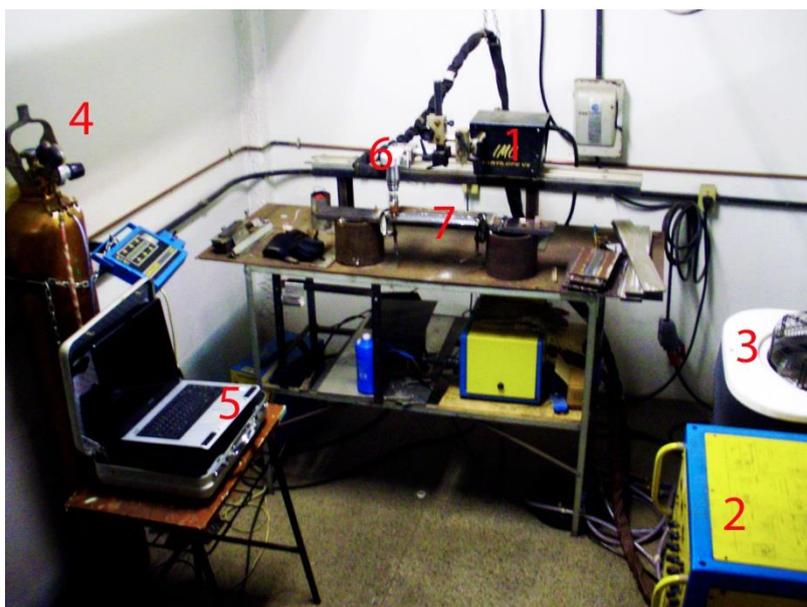


Figura 1 – Bancada de ensaios. 1) Tartilope V2 – 2) Fonte de Soldagem Digiplus A7 – 3) Trocador de calor – 4) Gás de proteção – 5) Sistema de aquisição de dados SAP4 – 6) Tocha TIG – 7) Material de base.

A tocha tig com constrição catódica ou CF-TIG (Figura 2a) utilizada para os ensaios, é comercialmente conhecida como Infocus da empresa Kjellberg e pode trabalhar com até 1000 A de corrente. Ela é caracterizada por uma eficiente refrigeração centrada no eletrodo tipo EWLa15 de 6,35 mm de diâmetro, o qual tem um formato especial (Figura 3). Enquanto a tocha convencional Tig da empresa Binzel tem uma capacidade de 500 A, utiliza um eletrodo convencional de tungstênio EWTh20

de 6,35 mm de diâmetro e é resfriada por água (Figura 2b).



Figura 2 – (a) Tocha Infocus (b) Tocha Binzel.

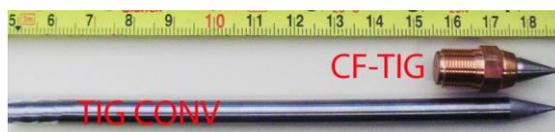


Figura 3 – Eletrodos Tig de 6,35mm de diâmetro utilizados para os ensaios.

Procedeu-se com cordões em chapas planas de aço carbono A36, isentas sujeiras e oxidações, com 300 mm de comprimento, 120 mm de largura e 10 mm de espessura. O gás de proteção utilizado foi argônio puro a uma vazão de 18 l/min e distância eletrodo peça (DEP) de 5 mm. Foram também adquiridos os dados de corrente e tensão utilizando o equipamento SAP 4, que é um sistema de aquisição de dados portátil fabricado pela empresa IMC.

Será estudado o efeito da temperatura de resfriamento do eletrodo, mudando a temperatura em três níveis (20°, 15° e 10° C) para 5 níveis de corrente, começando em 100 A até 500 A, com aquisição de imagens, tensão e corrente, fazendo 3 repetições por ensaio. Também será reproduzido o gráfico comparativo utilizado pelos fabricantes da Infocus (CF-TIG) para demonstrar a constrição catódica.

3. Resultados e Discussão

Os primeiros ensaios foram feitos para uma temperatura do eletrodo de 20° C para depois mudar a 15° C, mas para temperaturas inferiores de 15° C é notado que o eletrodo tem uma fina camada de humidade na superfície. Isto acontece porque a humidade do ambiente é suficiente para condensar a temperaturas inferiores a 15° C. Com aquela observação é descartado fazer ensaios com temperaturas baixas os 15° C. Na Figura 4 são apresentadas as aquisições de tensão para diferentes níveis de temperatura.

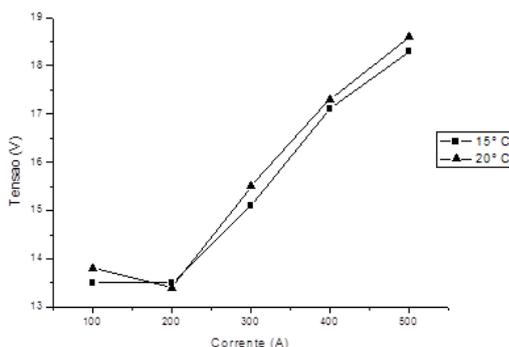


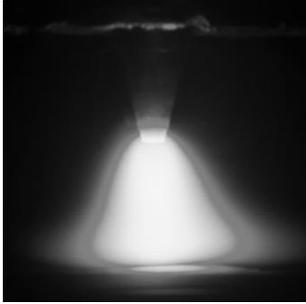
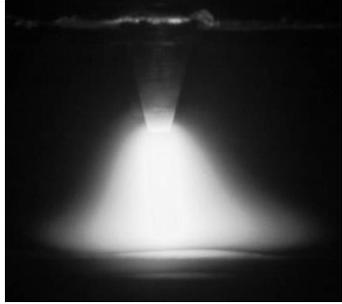
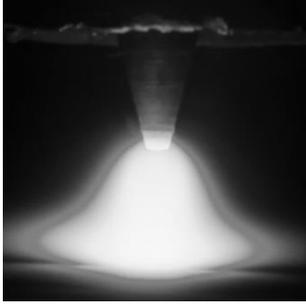
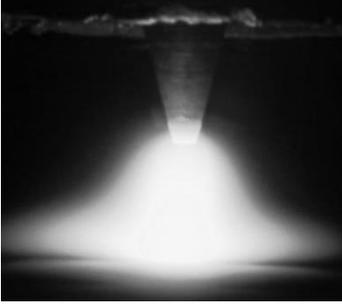
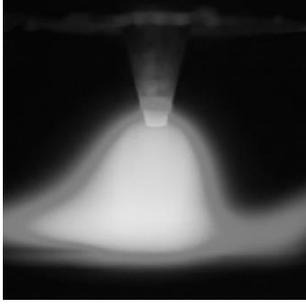
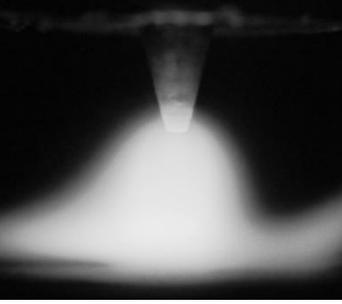
Figura 4 – Curva estática da Tocha CF-TIG para 15° e 20° C de temperatura.

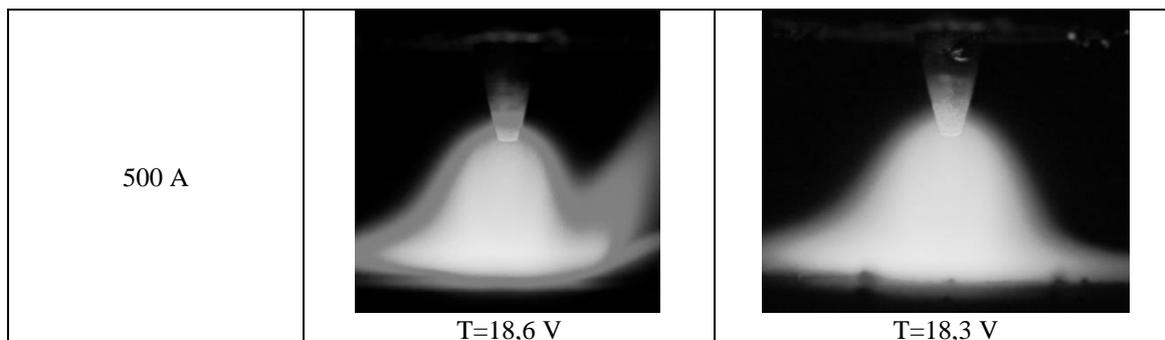
É possível apreciar que quase não existe uma diferença no comportamento do arco para diferentes níveis de temperatura, no caso da tocha CF-TIG. A diferença de tensão entre as duas curvas é

aproximadamente de 0,3 V, o que pode ser considerado pouco significativo.

Para continuar comparando o comportamento do arco para diferentes temperaturas, foram obtidas algumas fotografias do arco de soldagem. Os resultados das medições de tensão e as fotografias feitas para diferentes níveis de temperatura são apresentadas na Tabela 1. As imagens do arco concordam com o comportamento da tensão, evidenciando-se que não existe diferenças significativas com a mudança da temperatura de resfriamento do eletrodo.

Tabela 1 – Fotografias do arco de soldagem para diferentes níveis de temperatura e corrente com a tocha CF-TIG.

Corrente	Temperatura	
	20°C	15°C
100 A	 <p>T=13,8 V</p>	 <p>T=13,5 V</p>
200 A	 <p>T=13,4 V</p>	 <p>T=13,5 V</p>
300 A	 <p>T=15,5 V</p>	 <p>T=15,1 V</p>
400 A	 <p>T=17,3 V</p>	 <p>T=17,1 V</p>



Segundo o descrito por Schnick et al[5], a tensão medida num arco com constrição catódica deveria ter uma diferença de 7 V a mais que um arco Tig convencional. Com aquela descrição feita pelo desenvolvedor da tocha CF-TIG, é que foi necessário fazer uma comparação dos dados obtidos para diferentes níveis de temperatura, com o comportamento de uma tocha Tig convencional. Na Figura 5a são apresentadas as curvas estáticas para a tocha TIG convencional e a tocha CF-TIG para diferentes níveis de temperatura.

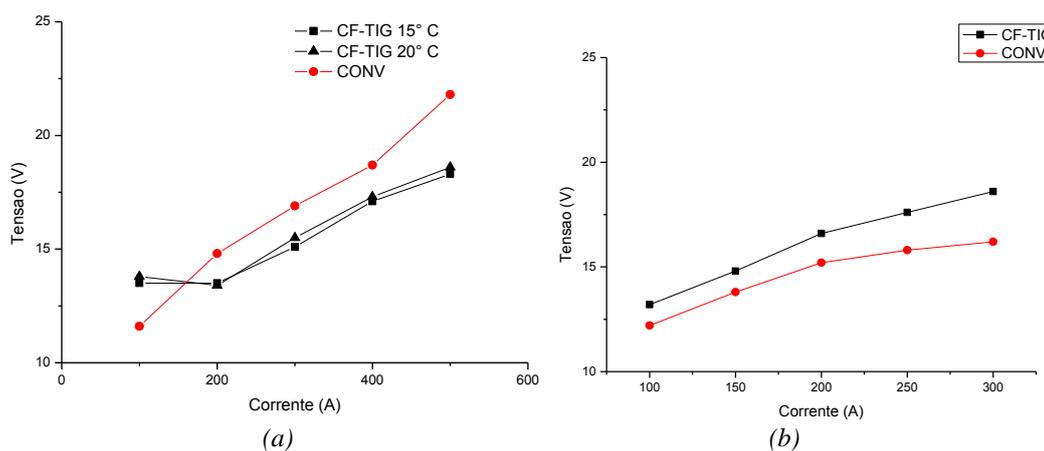


Figura 5 – Curvas de corrente e tensão (a) comparando tocha CF-TIG com a tocha Tig convencional (b) Adaptado de Schnick et al [5].

Analisando a Figura 5a é evidente a diferença entre as duas tochas e se pode dizer que a tocha convencional precisa de uma maior tensão que a tocha CF-TIG. Porém, a Figura 5b apresenta um gráfico que Schnick et al [5] utiliza para demonstrar o efeito da constrição catódica sobre a tensão do arco, mas o comportamento encontrado nos ensaios experimentais (Figura 5a) são totalmente contraditórios aos de Schnick et al [5]. De fato, é observado que para correntes maiores a 400 A a diferença de tensão é maior entre a tocha convencional e a CF-TIG. Com os resultados da Figura 5 é difícil concluir si a tensão é um fator determinante para saber si realmente há uma constrição catódica do arco. Savage et al [4] observou que para uma mesma corrente no processo TIG há uma constrição catódica do arco ao mudar para um diâmetro maior do eletrodo, o qual se pode evidenciar ao observar a superfície da ponta do eletrodo depois de um arco de soldagem (Figura 6). Sadek et al [7] também identifico aquele padrão na superfície da ponta do eletrodo Tig, reconhecendo que a área da ponta é onde os elétrons são emitidos. Savage notou que ao aumentar o diâmetro do eletrodo a área de emissão dos elétrons diminui, e considerando que a maior parte da corrente passa pela área de emissão, é possível estimar a densidade de corrente. O fenômeno da constrição catódica pelo diâmetro do eletrodo também foi estudado por Jarvis [3], obtendo resultados similares aos de Savage et al [4], além de notar que ao aumentar o diâmetro do eletrodo aumenta a tensão do arco.

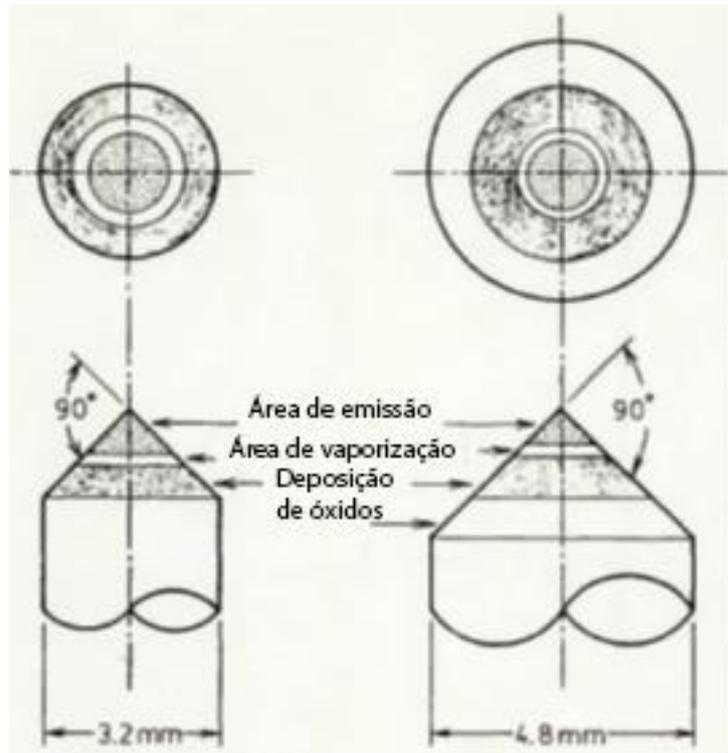
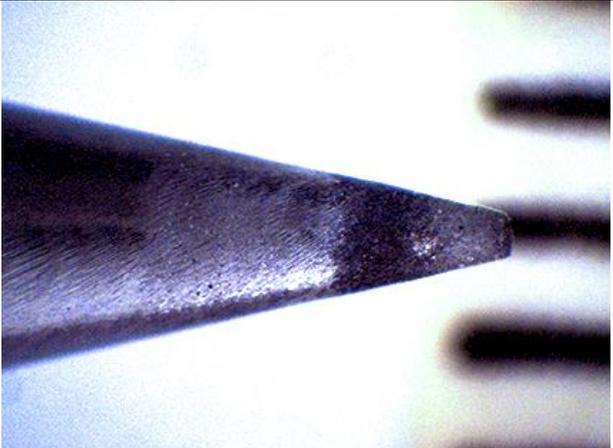
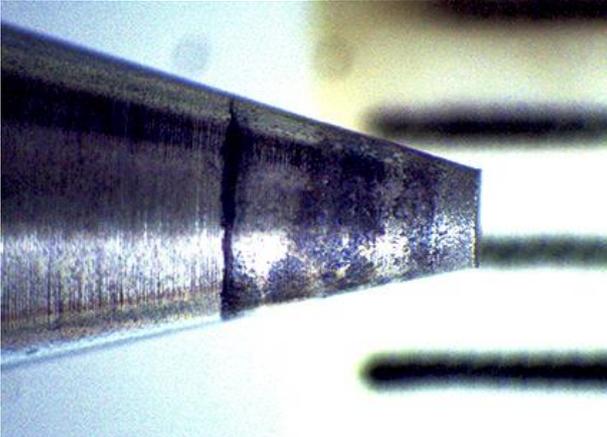


Figura 6 – Comparação das diferentes áreas na superfície do eletrodo. Adaptado de Savage et al [4].

Utilizando a técnica de Savage et al [4] para estimar a densidade de corrente, foram analisados os eletrodos utilizados para fazer os cordões com 400 A de corrente. Na Tabela 2 são apresentadas as macrografias das pontas dos eletrodos utilizados pelas duas tochas.

Tabela 2 – Comparação das áreas de emissão para as duas tochas.

<p>Eletrodo EWTh20 Diâmetro 6,35 mm Tocha Tig convencional</p>		<p>Área de emissão: 3,04 mm²</p> <p>Densidade de corrente: 131,52 A/mm²</p> <p>Tensão: 17,7 V</p>
--	--	---

<p>Eletrodo EWLa15 Diâmetro 6,35 mm Tocha CF-TIG</p>		<p>Área de emissão: 2,75 mm²</p> <p>Densidade de corrente: 145,66 A/mm²</p> <p>Tensão: 19,2 V</p>
--	--	---

Os valores das áreas apresentadas na Tabela 2, são valores médios de medições feitas a três eletrodos diferentes de cada tipo. Para o cálculo da área total de emissão é considerada a área lateral e a ponta plana do eletrodo. Os resultados mostram que evidentemente existe uma constricção catódica do arco com a tocha CF-TIG, o qual possui uma menor área de emissão (2,75 mm²) em comparação ao eletrodo convencional (3,04 mm²). O resultado obtido concordaria com os resultados de Savage et al [4] mas no caso de Jarvis [3] seria totalmente contraditório, no sentido do comportamento da tensão do arco.

A CF-TIG tem uma maior densidade de corrente em comparação a uma tocha tig convencional, mas é possível que produtivamente aquela diferença não seja significativa. Ensaios preliminares feitos no Labsolda em juntas de 6,35 mm de espessura, utilizando a técnica Keyhole numa faixa de corrente de 520 A, as duas tochas conseguiram fazer a junta com aspecto de raiz e face do cordão igual, conseguindo velocidades de 41 cm/min com argônio como gás de proteção. Isto demonstra que o processo tig convencional pode trabalhar com velocidades de produtividade considerável. Porém, foi evidenciado que a vida do eletrodo, no caso da Infocus, é muito maior que no caso da tocha tig convencional. O motivo se pode dever ao fato de possuir um melhor resfriamento do eletrodo ou simplesmente pelo fato da composição do eletrodo. Sadek et al [7] demonstrou que os eletrodos com conteúdo de Lantânio (La) tem uma maior vida que um eletrodo de Tório (Th).

4 . Conclusões

Através dos ensaios e os análises feitos é possível concluir:

- Mudando a temperatura do eletrodo de 20° C para 15° C não houve diferenças significativas nas aquisições de tensão e na estabilidade do arco, utilizando a tocha com constricção catódica (CF-TIG) conhecida comercialmente como Infocus.
- Foi determinado que usar temperaturas inferiores a 15° C é inviável, devido à condensação da humidade do ambiente na superfície da ponta do eletrodo da CF-TIG.
- Ao comparar as curvas estáticas da tocha com constricção catódica (CF-TIG) e a tocha convencional Tig, é apreciado uma diferença significativa de aproximadamente uns 3 V a mais para a tocha convencional. Porém, aquela diferença de tensão aumenta para correntes maiores a 400 A, contradizendo a literatura atual sobre a CF-TIG.
- O comportamento da tensão frente a uma constricção catódica ainda precisa de um estudo com mais detalhe, devido aos resultados contraditórios obtido nos ensaios.
- Foi avaliado que na tocha CF-TIG ou Infocus realmente há uma constricção catódica do arco, ao analisar as diferentes regiões que ficam na superfície do eletrodo depois de um arco aberto. Embora a diferença em densidades de correntes não sejam muito grandes.
- É discutível a efetividade ou a influencia da constricção catódica detectada na CF-TIG sobre a produtividade do processo de soldagem, numa comparação com uma tocha Tig convencional. Ensaios preliminares feitos no Labsolda em juntas de 6,35 mm de espessura, utilizando a técnica Keyhole numa faixa de corrente de 520 A, as duas tochas conseguiram fazer a união com aspecto de raiz e face do cordão igual.
- Foi evidenciado que a vida do eletrodo é maior na tocha Infocus. Isto se pode dever ao fato da maior ou mais eficiente maneira de resfriar o eletrodo. Fator importante ao momento de falar de produtividade em linhas de produção continua.

5. Referências Bibliográficas

- [1] CHENG, D. Y., Dynamics of arc ignition and cathode spot movement of thermionically emitting cathode surfaces. *Journal of Applied Physics*. USA, v.41, n. 9, p. 3626, August, 1970.
- [2] RICHARDSON, O. W., Thermionic phenomena and the laws which govern them. Nobel Lecture, December, 1929.
- [3] JARVIS, B. L., Keyhole gas tungsten arc welding: a new process variant. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, university of Wollongong, June 2001.
- [4] SAVAGE, W. F.; NIPPES, E. F.; AGUSA, K., Effect of arc force on defect formation in GTA Welding. *Welding Journal*, p. 212s-224s, Jul. 1979.
- [5] SCHNICK, M.; FUENTES, J. E.; ZSCHETZSCHE, J.; FÜSSEL, U.; SCHUSTER, H.; KRINK, V.; HUEBNER, M.; SZCZESNY, M. Cathode focussed TIG – Fundamentals and Applications. International Institute of Welding, Document XII-1985-10, 2010.
- [6] LOHSE, M.; FÜSSEL, U.; SCHUSTER, H.; FRIEDEL, J.; SCHNICK, M. Keyhole welding with CF-TIG. International Institute of Welding, Document XII-2141-13, 2013.
- [7] SADEK, A. A.; USHIO, M.; MATSUDA, F., Effect of rare earth metal oxide additions to tungsten electrodes. *Metallurgical Transactions A*, Vol. 21A, p. 3221- 3236, December 1990.