



Realização

Organização



ESTUDO COMPARATIVO DOS PROCESSOS TIG - HOT WIRE E TIG COLD WIRE VISANDO ALTA PRODUTIVIDADE

Alexssander Marzzone Fernandes Martins¹, a.marzzone@grad.ufsc.br
Bruno Ostetto Elias¹, bruno.ostetto.elias@grad.ufsc.br
Kauê Correa Riffel², kauê.riffel@posgrad.ufsc.br
Alisson Fernandes da Rosa², alissonaula@gmail.com
Régis Henrique Gonçalves e Silva³, regis.silva@labsolda.ufsc.br

¹ Aluno de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina

² Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina

³ Professor da Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: LABSOLDA - Instituto de Soldagem e Mecatrônica
Departamento de Engenharia Mecânica - Bloco B
Centro Tecnológico – Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário, Trindade - Florianópolis - SC
CEP: 88040-900

Resumo: O processo TIG é reconhecido por proporcionar alta qualidade (menor incidência de defeitos), porém com menores índices de produtividade quando comparado ao processo MIG-MAG. Atualmente, existem diversas tecnologias para o aumento da produtividade do processo GTAW. Destacam-se as aplicações com alimentação automática de arame e técnicas para o preaquecimento (Hot-Wire) do mesmo antes do aquecimento provindo do arco. Verifica-se na literatura uma falta de metodologia científica, na comparação entre o que se tem convencionalmente versus as técnicas mais elaboradas, sendo muitas vezes fontes de cunho puramente comercial. Sendo assim, este artigo tem como objetivo uma comparação entre os processos TIG com arame quente (Hot Wire) e TIG com arame frio (Cold Wire) com uma análise sobre o incremento da taxa de deposição no processo. Os experimentos foram propostos tendo como base 3 estratégias para comparação entre Cold Wire e Hot Wire. As estratégias foram: 1- Aumento máximo da velocidade de arame para análise do limite do volume fundido; 2- A mínima velocidade de arame para obter-se transferência metálica por ponte; 3- A adoção de uma constante de proporcionalidade entre velocidade de alimentação (V_a) e soldagem (V_s). Foram desenvolvidos todos os ensaios em depósito sobre chapa de aço carbono com metal de adição ER 70S-6. Análises macrográficas foram realizadas para avaliação da geometria dos cordões. Como principal resultado no desenvolvimento dos ensaios, destaca-se a influência da corrente de preaquecimento na estabilidade do arco elétrico. Com o aumento da corrente no arame, a transição entre ponte e intermitente é modificada, exigindo mais arame para a condição com mais corrente no arame. A metodologia de comparação entre as técnicas deve ser feita de forma criteriosa, pois pode levar a conclusões errôneas no trabalho. A máxima velocidade de arame fundida para Hot Wire e Cold Wire é elevada em ambos, ficando em valores muito acima daqueles que proporcionam um cordão adequado.

Palavras-chave: TIG alimentado, Hot Wire versus Cold Wire, Produtividade.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade na fabricação de equipamentos para a indústria mecânica é dependente da dificuldade que existe em unir metais garantindo a continuidade das suas propriedades mecânicas e metalúrgicas. Neste contexto, surgiram os processos de soldagem que utilizam gás como proteção à poça de fusão, como, por exemplo, o MIG/MAG (*Metal Inert Gas/ Metal Active Gas*) e o TIG (*Tungsten Inert Gás*). Dentre os processos citados acima, o processo TIG destaca-se em função da superioridade do aspecto superficial dos cordões e da menor incidência de defeitos nas soldas [1].

Entretanto, é comum encontrar na literatura especializada, apontamentos que inferem ao TIG uma limitação referente à sua produtividade. Neste caso, a limitação deste processo é traduzida pelo fato de o TIG não

alcançar velocidades de soldagem e de alimentação de arame comparáveis ao MIG/MAG. Contudo, existem métodos desenvolvidos para aumentar a velocidade de alimentação no TIG, como a técnica *Hot Wire* ou arame quente [2,3]. O objetivo deste trabalho é analisar e estudar os efeitos do arame quente no processo TIG e por consequência, definir parâmetros que comprovem a tese de que com arame quente, e consequentemente maior fusão do arame, é possível se obter cordões de qualidade com maior velocidade de soldagem quando comparado ao TIG convencional. Foram realizados estudos comparativos com e sem aquecimento do metal de adição avaliando os limites operacionais da alimentação de arame e da transferência metálica, bem como das condições gerais das soldas realizadas. Três metodologias de comparação foram definidas, 1- A máxima velocidade de arame possível de ser fundida; 2- A transição da transferência entre ponte e intermitente e; 3- Definindo-se uma constante (K) para ser mantida a relação V_a/V_s .

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Soldagem TIG

O processo TIG consiste em um eletrodo, fixado a uma tocha com polaridade negativa, envolto em uma atmosfera de gás inerte, a qual o protege contra oxidação. Esta proteção deve abranger também a extremidade do material de adição, em caso da existência do mesmo, estendendo-se até à poça de fusão. Em virtude de o eletrodo possuir a capacidade de emissão termiônica, os processos que o utilizam são designados de processos com eletrodos refratários. Entretanto, esta capacidade do eletrodo depende fundamentalmente das características do gás de proteção e da polaridade da corrente. Este tem de ser inerte com um mínimo de impurezas em polaridade direta que evita a degradação precoce dele. Em aplicações especiais, é possível a utilização de adições de hidrogênio, que é um gás não inerte, porém não oxidante e sim com características de reação redutoras [4].

De fato, a qualidade da alimentação de arame e o aporte de energia estabeleceu industrialmente o processo como sendo de alta qualidade, porém baixa produtividade. Um exemplo da dificuldade de aumento da produtividade é que, segundo Mendez [5], pressões do arco elevadas resultam em *humping* quando em altas velocidades de soldagem. Para sanar essa dificuldade, diversas técnicas foram desenvolvidas para aliar a melhor qualidade do processo TIG com maiores taxas de deposição de material - este que é o objeto de estudo do presente trabalho, impondo, como solução ao problema descrito, a inserção de arame previamente aquecido.

2.2. Hot Wire

O Hot Wire é uma técnica para aumentar a produtividade da soldagem TIG, consiste na adição do metal já preaquecido. Este aquecimento decorre pela passagem de uma corrente elétrica no arame de adição conforme o esquema ilustrativo está representado na Figura 1).

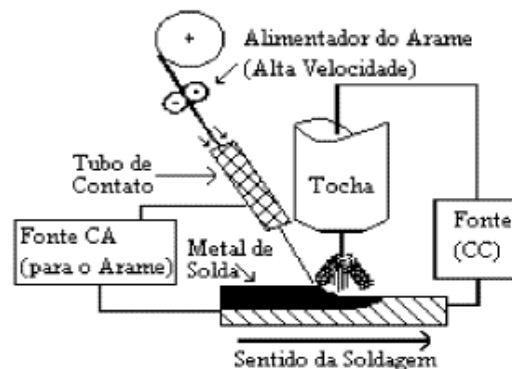


Figura 1 - Técnica de Hot Wire [6].

De acordo com a literatura, a técnica permite a adição uma maior quantidade de arame sem a necessidade da alteração dos parâmetros. O mecanismo de funcionamento que baseia a técnica é o do aquecimento dos materiais condutores à passagem de uma corrente elétrica (Efeito Joule). A maior taxa de deposição é obtida, pois o arame que chega à poça de fusão precisa de uma menor parcela de energia térmica do arco elétrico para se fundir, permitido assim uma velocidade de alimentação maior. Um aumento da taxa de deposição pode ser observado pela Figura 2).

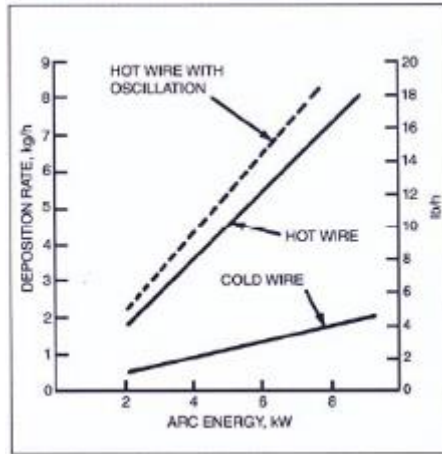


Figura 2 - Aumento da taxa de deposição para utilização de Hot Wire [7].

2.3. Transferência metálica

O termo tipo de transferência metálica, utilizado nesse relatório, faz distinção aos dois modos como o arame de adição é inserido na poça metálica. O primeiro modo, observado na Figura (3), é o de transferência em ponte, neste o arame ainda metálico está inserido na poça de fusão e sua fusão ocorre em constante contato com ela. É o tipo de transferência em que ocorre a uma passagem de arame de forma suave.



Figura 3 - Transferência metálica por ponte. Fonte: LABSOLDA.

O segundo modo é o “goticular” ou intermitente, nesse a fusão do arame ocorre antes da chegada a poça de fusão, observado na Figura (4), essa fusão antecipada gera incerteza de onde o metal irá ser depositado. Para este trabalho foi considerado uma forma desvantajosa de transferência.



Figura 43 - Transferência metálica intermitente. Fonte: LABSOLDA.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho consiste em uma análise do processo em 4 frentes diferentes, alterando apenas os parâmetros de velocidade de soldagem (V_s), velocidade de alimentação (V_a) e corrente do arame (I_w). Os parâmetros fixados são mostrados na Tabela 1:

Tabela 1. Parâmetros de soldagem fixos.

Valores fixados para os ensaios		
I_arco	250	[A]
U_AVC	15	[V]
V_S	25	[cm/mim]
DEP	4	[mm]
Vazão Ar	15	[l/mim]
Dist. Eletrodo-Arame	2.5	[mm]
Stickout	12	[mm]
Alpha - Alimentação	45°	[mm]
Comp. Atuação corrente Hot Wire	14	[mm]

Os testes foram realizados sob chapa de aço carbono, comprimento de 200 mm, e com metal de adição ER 70S-6. Três valores de corrente foram utilizados no metal de adição - 0 A (Cold Wire), 75 A e 150 A.

Na primeira parte, a velocidade de alimentação foi elevada até a instabilidade do processo inviabilizar a continuidade, comparando posteriormente o volume fundido de material. Logo após, na segunda metodologia, foi realizado um teste inicial para definir uma velocidade de arame cuja transferência metálica fosse por ponte. Então, com o dado anteriormente definido, foi reduzida gradualmente a V_a até que a forma de transferência mudasse de ponte para um regime intermitente. Posteriormente avaliou-se o cordão com a técnica Cold Wire, impondo a velocidade de alimentação obtida nos testes anteriores com Hot Wire.

No terceiro método o objetivo foi a comparação dos processos definindo como base de análise a proporção entre a velocidade de alimentação e a velocidade de soldagem. Esta razão foi denominada K.

$$\frac{V_a}{V_s} = K$$

Esta constante de referência resultou em uma área de cordão depositada sobre a chapa, sendo assim, testes preliminares foram feitos para definir um valor mais adequado para a continuidade desta etapa. Os testes partiram de 15 cm/min e 30cm/min, em cada disposição - 0 A, 75 A e 150 A como corrente Hot Wire.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Abordagem 1- Máxima velocidade de arame capaz de ser fundida pelo arco.

Para o teste com *Cold Wire*, obteve-se uma taxa alimentação de 1,5 m/min (arame de aço com 1,2 milímetro de diâmetro). Em velocidades de alimentação mais altas a tocha oscilava em decorrência do contato forçado (*stutting*) entre o arame e a peça, conforme a Figura (5).



Figura 5 - Teste Cold Wire. Sentido de soldagem da esquerda para direita. Partindo de uma velocidade de alimentação inicial de 1m/mim, e finalizando em 1,7 m/min.

No teste com *Hot Wire*, pôde-se aumentar a velocidade de alimentação, em decorrência do pré-aquecimento imposto ao arame. Neste caso, foi possível atingir velocidades de alimentação de aproximadamente 3,6 m/min sem que o fenômeno *stutting* ocorresse. O ensaio foi interrompido devido ao aspecto excessivamente convexo do cordão, conforme mostrado na Figura (6).



Figura 6 - Teste HotWire. Sentido de soldagem da direita para esquerda. Com uma velocidade de alimentação inicial de 1,7 m/min com aumento gradativo até finalização em 3,6 m/min.

Esta abordagem demonstrou certa ineficiência devido a falta de aplicabilidade dos cordões obtidos, que, com o aumento da velocidade de alimentação há uma contaminação do eletrodo antes de chegar ao seu máximo valor. Como resultado, obteve-se um cordão com geometria extremamente convexa, pois a capacidade de fusão de material é alta, podendo atingir-se valores elevados mesmo sem o arame bater sólido na peça.

4.2 Abordagem 2- Transição da transferência metálica entre ponte e intermitente.

Para Cold Wire atingiu-se a transição com o valor de velocidade de alimentação de 0,9 m/min, conforme mostra a Figura (7).

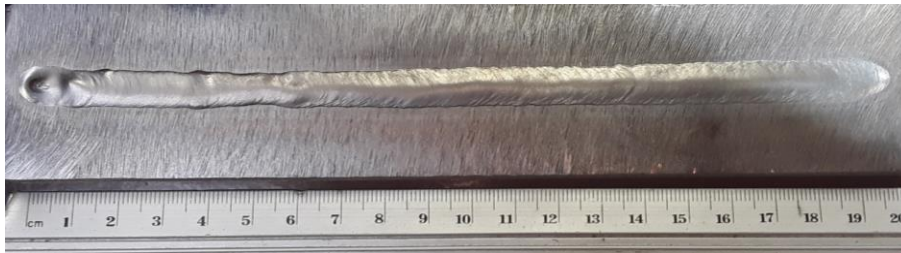


Figura 7 - Teste Cold Wire - Va de transição= 0,9 m/min, lw = 0 A.

O segundo ensaio foi realizado da mesma forma que o anterior, difere-se na inserção do arame de alimentação, onde foi imposta uma corrente de 75 A. Ao final do teste, a mínima velocidade de alimentação com a qual a transferência metálica se dá de forma ponte passou a ser 1,5m/min, conforme a Figura (8).



Figura 8 - Teste Hot Wire. Va de transição= 1,5 m/min e lw = 75 A.

Com a corrente de Hot Wire elevada para 150 A foi necessário um novo aumento na Va de transição, a qual passou para 2,2 m/min para que a ponte fosse atingida, conforme mostra a Figura Figura (9).



Figura 9 - Teste Hot Wire. Va = 2,2 m/min e lw = 150 A.

A segunda etapa desta abordagem consistiu em avaliar o cordão com a técnica Cold Wire, impondo a velocidade de alimentação obtida nos testes anteriores com Hot Wire.



Figura 10 - Teste Cold Wire. $V_a = 1,5$ m/min.



Figura 11 - Teste Cold Wire. $V_a = 2,2$ m/min.

Os resultados mostraram que a elevação na taxa de deposição, utilizando Hot Wire nos ensaios, é inviável para o processo a Cold Wire. Como comprovação desta conclusão é possível apelar ao aspecto desuniforme obtido nas Figura (10) e Figura (11). Além disso, durante os dois ensaios foi possível encontrar oscilações não usuais nos valores de tensão, gráfico na Figura (12) Figura , o que indicam o contato entre o arame ainda sólido e a peça de base.

Outra dificuldade observada foi o travamento do arame em alguns pontos do cordão gerando pontos de descontinuidades, devido ao arraste da poça líquida por parte do arame.

Gráfico de tensão

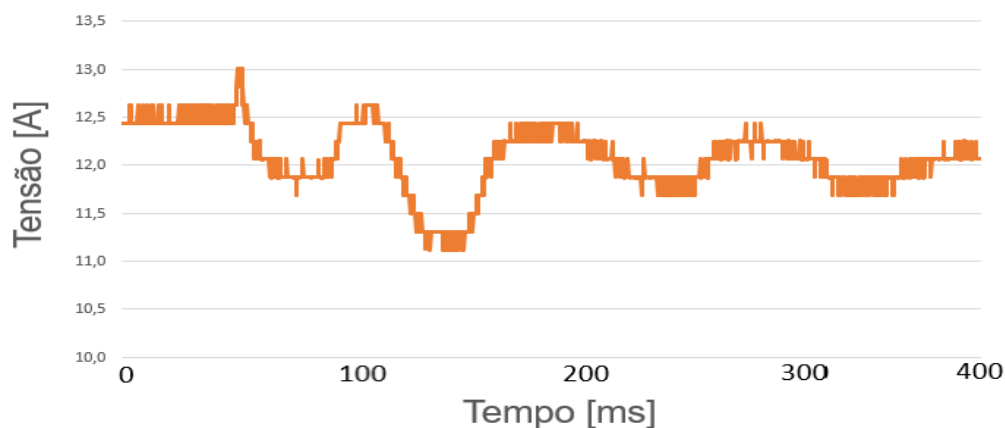


Figura 12 - Seção do gráfico de tensão do processo TIG-Cold Wire utilizando $V_a = 2,2$ m/min.

Cold Wire



75 A



150 A



Figura 4 – Macrografias das Solda com Cold Wire e Hot Wire para a Abordagem 2.

O emprego de mais arame acarretou na elevação do reforço do cordão, pois a potência disponível no arco não foi capaz de espalhar o cordão como o caso com Cold Wire. Verifica-se que não adianta aumentar a taxa de fusão por meio da corrente no arame, se a corrente disponível no arco não permitir um molhamento adequado do cordão. A penetração foi similar para todas as condições, sem diferença significativa.

4.3 Abordagem 3- Volume do cordão depositado por unidade de comprimento constante.

Foram realizados ensaios preliminares e definiu-se um K ótimo para as comparações, o qual foi 11,3. A Tabela 2 mostra os ensaios resultantes.

Tabela 2 - Matriz de ensaios com K constante

	Corrente HotWire	Vel. Soldagem	Vel. Alimentação
Ensaio 3.1	0 A	15 cm/min	1,7 m/min
Ensaio 3.2	0 A	30 cm/min	3,4 m/min
Ensaio 3.3	75 A	15 cm/min	1,7 m/min
Ensaio 3.4	75 A	30 cm/min	3,4 m/min
Ensaio 3.5	150 A	15 cm/min	1,7 m/min
Ensaio 3.6	150 A	30 cm/min	3,4 m/min



Figura 5 - Teste com ColdWire, Vs = 15cm/min e Va = 1,7m/min



Figura 6 - Teste com ColdWire, $V_s = 30\text{cm/min}$ e $V_a = 3,4\text{m/min}$



Figura 7 - Teste com HotWire - 75A. $V_s = 15\text{cm/min}$ e $V_a = 1,7\text{m/min}$



Figura 8- Teste com HotWire - 75A. $V_s = 30\text{cm/min}$ e $V_a = 3,4\text{m/min}$



Figura 9- Teste com HotWire - 150A. $V_s = 15\text{cm/min}$ e $V_a = 1,7\text{m/min}$



Figura 10 - Teste com HotWire - 150A. $V_s = 30\text{cm/min}$ e $V_a = 3,4\text{m/min}$

Os cordões resultantes são apresentados nas Fgura (14) a Figura (18). Durante os ensaios foi perceptível uma mudança no modo de transferência metálica em processos com corrente adicional. A observação dos resultados se mostra favorável à atual bibliografia de aumento das taxas de alimentação com o uso do *Hot Wire*. Entretanto, observou-se que em níveis de corrente de preaquecimento elevado, na ordem de 150 A, existe alta interação elétrica entre o arco principal e o arame. Resultando em instabilidades no processo. A manutenção de um mesmo K mostrou que o Hot Wire não é capaz de proporcionar o dobro de velocidade de soldagem para os mesmos parâmetros elétricos do Cold Wire. As condições com velocidade de soldagem de 30 cm/min produziram cordões estreitos e muito convexas, mesmo com alta corrente de Hot Wire.

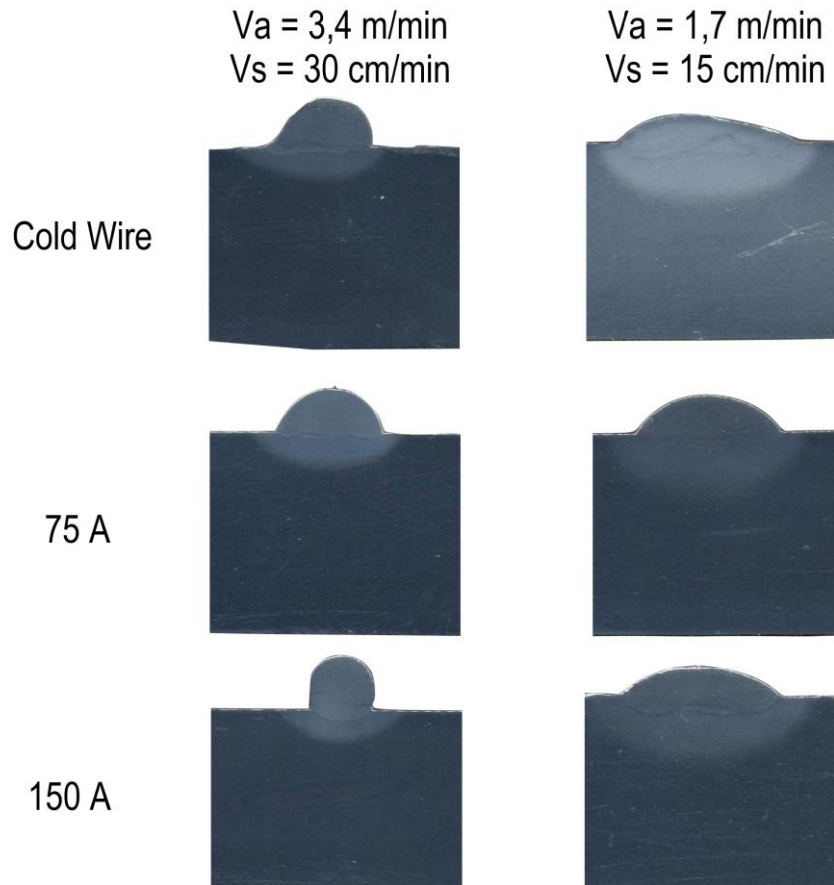


Figura 11 - Fotos das metalografias realizadas dos testes com K constante.

Ao analisar as macrografias da Figura (20), verifica-se que não há mudanças significativas na penetração das soldas, comparando-se a mesma velocidade de soldagem. Mesmo havendo uma corrente extra no arame, o aporte de calor na peça é dado apenas pelo arco principal, portanto, fundir mais arame com uma mesma potência, acarreta maior convexidade da solda. A corrente no arame tem influência insignificante na taxa de calor aportada no arame, pois a energia associada ao efeito joule é muito menor ao ser comparada com a energia do arco elétrico. Somado ao fato de que o teste se baseia em uma constante K que definirá uma mesma área de deposição, então era lógico que a área obtida e a energia depositada seriam muito próximas em cada teste. Esta análise questiona uma proposição na literatura a qual afirma a diminuição da diluição quando utilizado o processo *Hot Wire*.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar a influência da imposição de uma corrente adicional no metal de adição do processo TIG, por meio de 3 abordagens diferentes. Além disso, um ponto encontrado que vai de encontro com outros trabalhos, referentes a este assunto, diz respeito a não linearidade do aumento da deposição em função da corrente Hot Wire. Com correntes maiores do que 75A, o arco apresenta instabilidades devido à ocorrência de um campo eletromagnético mais forte que interage com o arco elétrico. Já com correntes menores percebe-se o contrário, onde a interação foi menor e possibilitou uma menor sensibilidade do processo.

Apesar de os processos analisados utilizando o K constante terem os mesmos parâmetros, mudando apenas a corrente no arame. A necessidade de se fundir mais arame com Hot Wire produz cordões mais convexas pois o aporte térmico na peça é governado principalmente pelo arco principal. Apenas adicionar uma corrente no arame, sem alterar os demais parâmetros de soldagem não apresentou ganhos significativos em termos de aspecto de qualidade das soldas.

6. AGRADECIMENTOS

Iniciamos prestando nossos mais sinceros agradecimentos à Petrobras, que financiou o projeto no qual esta pesquisa ficou inserida, ao LABSOLDA - instituto de soldagem e mecatrônica - que nos forneceu todos os equipamentos e suporte necessários.

Os autores agradecem também a organização do VII Encontro da Rede PDIMat - Encontro de Caxias do Sul 2019.

7. REFERÊNCIAS

- [1] DELGADO, L. C. Estudo e Desenvolvimento do Processo TIG com Alimentação Automática de Arame. 2000. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Depto. Eng. Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [2] SCHWEDERSKY, M.B.; DUTRA, J.C.; OKUYAMA, M.P.; SILVA, R.H.G. Soldagem TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos. Soldagem e Inspeção, v. 16, p. 333-340, 2011.
- [3] FIGUERÔA, D.W.; PIGOZZO, I.O.; SILVA, R.H.G.; SANTOS, T.F.A.; URTIGA FILHO, S.L. Influência da posição e dos parâmetros de soldagem na soldagem TIG orbital aplicada a tubulações de aço baixo carbono. Soldagem & Inspeção, v. 20, p. 446-455, 2015.
- [4] GERKEN, J. M. Gas Tungsten Arc Welding, The Lincoln Electric Company. 1995, p.1-21.
- [5] MENDEZ, Patricio Fernando. Order of magnitude scaling of complex engineering problems, and its application to high productivity arc welding. 1999. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology [6] HENON, B. K. Advances in Automatic Hot Wire GTAW (TIG) Welding. Disponível em: <http://www.arcmachines.com/news/case-studies/advances-automatic-hot-wire-gtaw-tig-welding/> Acesso em: 4 de Junho de 2019.
- [6] BRANDI, Sérgio D.; WAINER, Emílio; MELLO, Fábio D. Homem. Soldagem: processos e metalurgia. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, p. 494, 1992.
- [7] IRVING, R. R. TIG quality, MIG speed combined in hot wire welding process. Iron Age, v. 198, n. 15, p. 61-64, 1966.