

Avaliação da Soldagem do Alumínio nos Processos TIG CA Pulsado e Constante**(Evaluation of the Welding of Aluminum in the GTAW CA Process Pulsed and Constant)**

Rafael Polezi Lucas¹, Jair Carlos Dutra¹, Nelso Gauze Bonacorso²

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, rafael.luca@labsolda.ufsc.br, jdutra@labsolda.ufsc.br

²Instituto Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, nelso@ifsc.edu.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo comparar, na soldagem do alumínio pelo processo TIG CA sem adição de material e com controle do percentual de eletrodo positivo, os resultados produzidos por uma corrente alternada pulsada em relação ao obtido com uma corrente alternada constante de mesmo valor eficaz. Para se atingir tal meta foram realizados, com ambas as formas de corrente elétrica, cordões de solda sobre chapas planas de alumínio. Analisando os resultados produzidos, deseja-se saber, com referência a clássica corrente alternada constante e em valores percentuais, o quanto à pulsação da corrente elétrica em frequências distintas, afeta as características de penetração, da largura dos cordões de solda e da área fundida. Neste julgamento serão levadas também em consideração as discontinuidades na solda produzida. O que se pretende com este artigo é verificar se é verdadeiro o que se encontra na literatura sobre os benefícios proporcionados pelo processo TIG CA com corrente pulsada para soldagem do alumínio e suas ligas. A intenção é responder a seguinte questão: existem vantagens em pulsar?

Palavras-chave: TIG CA; Soldagem do Alumínio; Corrente Pulsada

Abstract: This work aims to compare the results produced by one alternated pulsed current in relation to that obtained with one alternated constant current with the same rms value in the welding of aluminum using the GTAW CA process without material addition and with positive electrode percentage control. To achieve this goal weld beads on sheets plans of 4 mm aluminum were performed with both forms of electrical current. The objective is to know, by the results analyses, concerning the classical alternated constant current, and in distinct percentual values, how much the pulsation of the electrical current in different frequencies affects the characteristics of penetration, the width of weld beads and the melted area. This analyses will take in to consideration the discontinuities in the weld produced. The aim of this article is to verify if what is found in specific literature about the benefits provided by the GTAW CA process with pulsed current for welding of aluminum and its alloys is true. The intention is to respond the following question: Are there benefits in pulsating?

Key-words: GTAW CA; Welding of Aluminum; Pulsed Current

1. Introdução

A soldagem TIG do alumínio com ou sem adição de material requer recursos diferenciados, devido a uma camada microscópica de óxido do mesmo metal (Al_2O_3) que se forma sobre sua superfície. Esta camada de óxidos garante ao alumínio boa resistência à corrosão, porém se constitui na principal dificuldade da soldagem a arco deste metal e de suas ligas. O ponto de fusão desta barreira de óxidos é alto, cerca de 2060 °C. A princípio isso não seria um problema, já que o arco atinge temperaturas muito superiores a esta. Contudo, no processo TIG com polaridade negativa (CC-), isto não acontece, pois a alta condutividade térmica do alumínio permite que o calor rapidamente se difunda através da peça a ser

soldada, fundindo-a, mas mantendo a camada de óxido intacta. A remoção do óxido poderia ser efetuada com a utilização de corrente contínua com polaridade positiva (CC+), entretanto não é usual, devido à instabilidade de arco e a acentuada deterioração do eletrodo de tungstênio pelo calor do arco [1].

Por estas razões, emprega-se uma condição intermediária, ou seja, a utilização de corrente alternada no processo, TIG CA. Nesta configuração haverá dois momentos, ora o arco estará na polaridade negativa e ora estará na polaridade positiva, ou seja, a corrente vai variar o seu sentido no decorrer da soldagem. Na polaridade negativa haverá maior estabilidade do arco com um menor aporte de calor no eletrodo. Já na polaridade positiva, além do desgaste precoce do eletrodo, ocorre o efeito positivo de quebra da camada de óxido. Tal mecanismo impõe elevadas densidades de corrente nos pontos de emissão da peça, removendo assim, a camada de óxido local e, conseqüentemente promovendo a limpeza catódica.

O racional é usar um maior tempo de polaridade negativa em relação à positiva para somar características desejáveis, ou seja: remover a camada de óxido local e prolongar a vida útil do eletrodo. Os processos TIG CA com imposição de corrente constante ou pulsada são geralmente as formas utilizadas de estabelecer tal relação de polaridades.

Com a evolução das fontes de soldagem, o processo TIG CA pulsado passou a ser mais aplicado, principalmente nas soldagens orbitais de tubos. Nesta variante do processo, os parâmetros de regulação consistem na amplitude e na duração da corrente durante os intervalos de alta energia (pulso) e de baixa energia (base). Durante os intervalos de pulso, um nível alto de energia é regulado para produzir a fusão de um volume de material (pontos de solda), enquanto nos intervalos de base, a energia é mantida em níveis baixos o suficiente para garantir que não ocorra a extinção do arco, o que permite a solidificação da poça de fusão. O efeito da pulsação da corrente sobre a geometria do cordão de solda resulta em cordões escamados, uma vez que a solda é conduzida por vários pontos de solda sobrepostos [2].

De acordo com a literatura é na alternância de níveis altos e baixos de energia que surgem os benefícios do processo TIG CA Pulsado, tais como: possibilidade de obtenção de uma geometria de solda mais adequada, maior controle sobre a poça de fusão principalmente em posições de soldagem desfavoráveis, agitação da poça de fusão e possibilidade de ação sobre as estruturas de solidificação que acabam proporcionando benefícios nas propriedades mecânicas do material soldado [3-6].

O que se pretende é verificar se é verdadeiro o que se encontra na literatura sobre estes benefícios proporcionados pelo processo TIG CA com corrente pulsada para soldagem do alumínio e suas ligas. Nesse cenário, o presente artigo tem como objetivo principal comparar, na soldagem do alumínio pelo processo TIG CA sem adição de material e com controle do percentual de eletrodo positivo, os resultados produzidos por uma corrente alternada pulsada em relação ao obtido com uma corrente alternada constante de mesmo valor eficaz.

2. Materiais e Métodos

Uma bancada de soldagem TIG CA, Figura 1, foi montada visando realizar os experimentos para obtenção das características dos cordões de solda produzidos sem adição de material com os dois tipos de corrente elétrica alternada. Os principais equipamentos desta bancada são: um manipulador com dois graus de liberdade Tartilope V2F, uma fonte de soldagem microprocessada INVERSAL 450, uma tocha TIG manual PWH-4A 70° adaptada para soldagem robotizada e a base de aço plana para fixação dos corpos de prova.

Na tocha TIG foi instalado o eletrodo EWTh-2 com 2,4 mm de diâmetro e 45° de ângulo de afiação. Foi usado uma distância eletrodo peça nominal de 3 mm. Os corpos de prova utilizados foram de alumínio 1200 com dimensões 255x125x4 mm e foram soldados na posição plana com orientação perpendicular da tocha. Argônio, com vazão de 15,0 l/min, foi o gás de proteção utilizado.



Figura 1. Bancada TIG CA para soldagem do alumínio

Antes de cada ensaio de soldagem o respectivo corpo de prova era limpo somente com um tecido embebido em álcool. A abertura do arco foi realizada de forma manual e o deslocamento da tocha era somente realizado após 3 segundos de arco aberto.

Outra preocupação foi a de manter o mesmo valor eficaz para os dois distintos tipos de forma de onda da corrente elétrica alternada. Assim, o valor eficaz da corrente constante I_{Efc} , Figura 2(a), foi obtido por meio da equação (1) a qual expressa o valor eficaz da corrente pulsada I_{Efp} em função dos parâmetros: correntes de pulso I_p e de base I_b e de seus respectivos tempos T_p e T_b .

$$I_{Efc} = I = I_{Efp} = \sqrt{\frac{I_p^2 \cdot T_p + I_b^2 \cdot T_b}{T_p + T_b}} \quad (1)$$

Com a finalidade de se verificar a influência da frequência de pulsação na geometria dos cordões de solda obtidos foram também realizados ensaios aplicando formas de onda de correntes elétricas alternadas pulsadas de mesmo valor eficaz, porém em diferentes frequências, Figura 2(b) e 2(c).

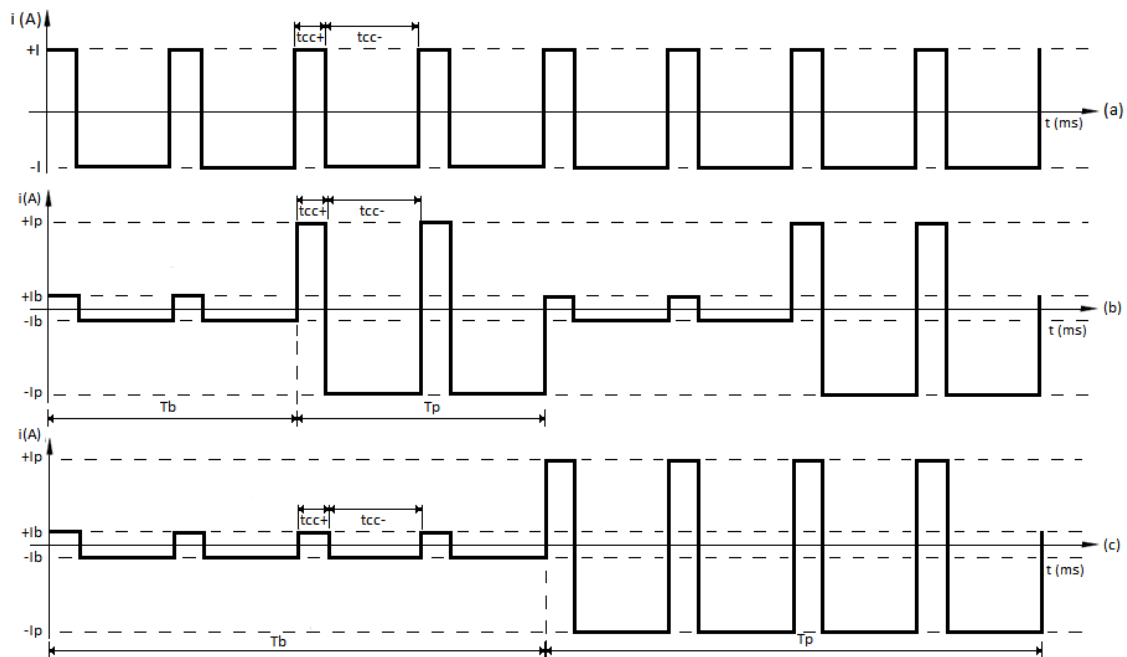


Figura 2. Formas de onda de corrente elétrica. Em (a) alternada constante, em (b) alternada pulsada de maior frequência e em (c) alternada pulsada com menor frequência.

3. Resultados e Discussão

Com o objetivo de obter informações sobre as características geométricas dos cordões de solda foram executadas, de forma automatizada na posição plana, apenas um cordão de solda por corpo de prova. A velocidade de soldagem de 20 cm/min e a polaridade positiva de 10% do período, t_{cc+} de 2 ms e t_{cc-} de 18 ms, foram mantidas constante na realização de todos os cordões de solda.

A Figura 3 mostra os cordões de solda, vista superior à esquerda e de perfil à direita, obtidos via processo TIG CA nas respectivas formas de corrente aplicada: constante, pulsada em 1/2 Hz, pulsada em 1 Hz, pulsada em 2 Hz, pulsada em 4 Hz e pulsada em 8 Hz.

A corrente eficaz definida para estes experimentos ficou fixada no valor de 157 A, logo para o ensaio com corrente alternada constante foi parametrizado uma corrente de 157 A para a soldagem do corpo de prova. Para o processo pulsado com T_p igual a T_b definiu-se como corrente de base I_b uma corrente de 30 A e com uma corrente eficaz de 157 A encontrou-se a partir equação (1) uma corrente de pico I_p de 220 A.

Tendo em vista isto, variando a frequência de pulsação com razão cíclica de 50 % e mantendo as correntes de pico e de base constantes nos experimentos, o valor da corrente eficaz aplicada na soldagem se mantém constante.

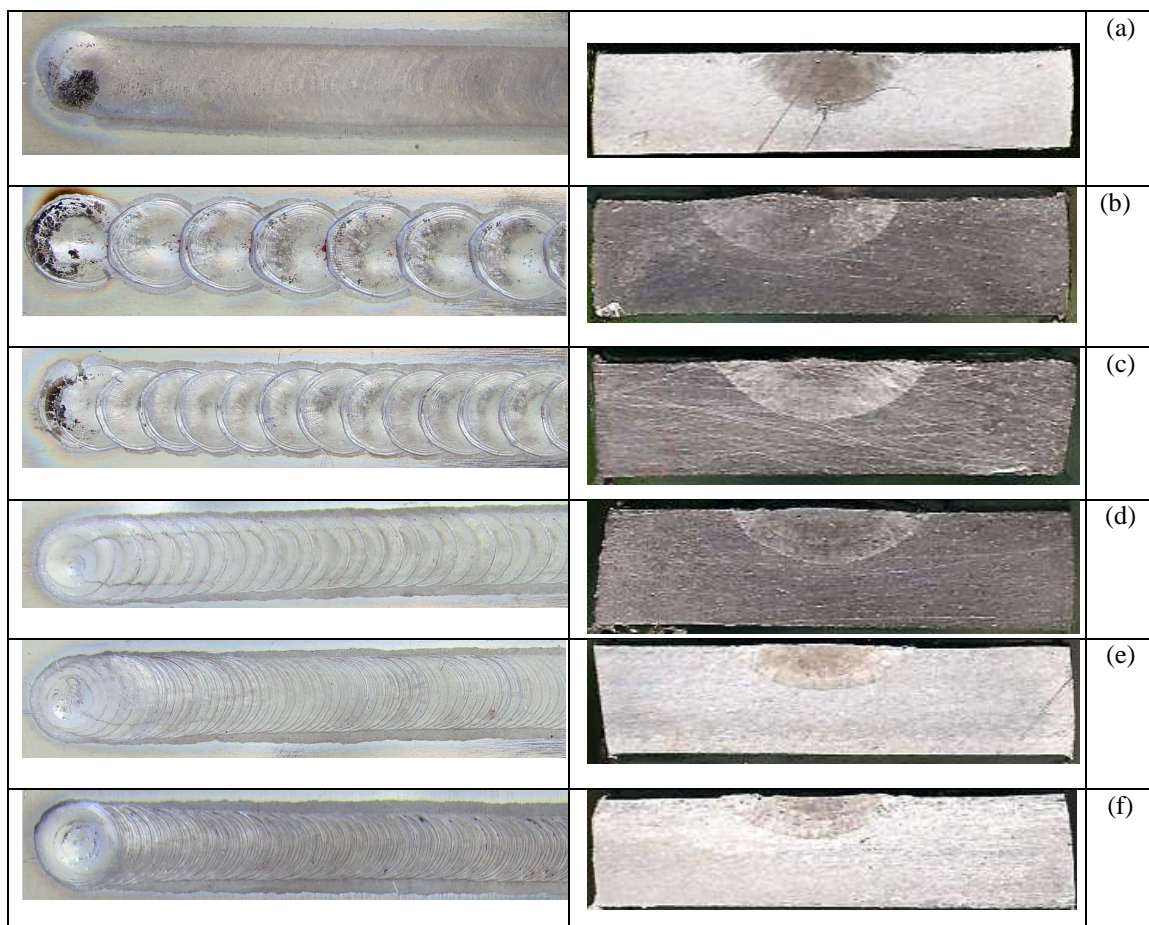


Figura 3. Resultados obtidos com corrente alternada. Em (a) constante, em (b) pulsada em 1/2 Hz, em (c) pulsada em 1 Hz, em (d) pulsada em 2 Hz, em (e) pulsada em 4 Hz e em (f) pulsada em 8 Hz.

A seguir foi medida a largura em milímetros, Tabela 1, da região central de cada cordão de solda da Figura 3. Esta característica foi obtida por um paquímetro digital, resolução de 0,01 mm. Já as características, penetração e área fundida de cada um destes cordões de solda, foram determinadas com o auxílio de um programa CAD (*Computer Aided Design*). Inicialmente a respectiva macrografia da região central de cada cordão de solda era escaneada e aberta por este programa que com suas ferramentas computacionais determinava as referidas características geométricas. O fator de forma, última coluna da Tabela 1, foi obtido através da relação entre penetração e largura média dos cordões de solda.

Tabela 1 – Características geométricas dos cordões de solda para correntes de mesmo valor eficaz.

<i>Tipos de Corrente Alternada</i>	<i>Largura Média L (mm) - (%)</i>	<i>Penetração P (mm) - (%)</i>	<i>Área Fundida A (mm²) - (%)</i>	<i>Fator de Forma F=P/L - (%)</i>
Constante	7,13 – 100,00	2,45 – 100,00	11,38 – 100,00	0,34 – 100,00
Pulsada ½ Hz	8,15 – 114,31	2,37 – 96,73	12,91 – 113,44	0,29 – 85,29
Pulsada 1 Hz	7,58 – 106,31	2,27 – 92,65	12,47 – 109,58	0,30 – 88,23
Pulsada 2 Hz	7,10 – 99,58	2,03 – 82,85	9,82 – 86,29	0,28 – 82,35
Pulsada 4 Hz	7,00 – 98,17	1,77 – 72,24	8,86 – 77,85	0,25 – 73,53
Pulsada 8 Hz	6,65 – 93,26	1,58 – 64,48	7,74 – 68,01	0,24 – 70,59

O que se observa, Tabela 1, é um incremento pouco significativo nas características geométricas de largura e de área fundida dos cordões de solda obtidos com corrente alternada pulsada nas frequências de ½ Hz e 1 Hz em relação ao cordão de solda obtido com corrente alternada constante. Nas frequências de 2 Hz, 4 Hz e 8 Hz o que se observa é o inverso.

A penetração e o fator de forma são máximos na corrente alternada do tipo constante e decrescem à medida que a frequência de pulsação aumenta. Ficou evidente que, para o mesmo valor eficaz de corrente de soldagem, a regulação de uma corrente de pico num patamar muito maior que o selecionado para a corrente alternada constante não garante uma maior penetração.

Diante dos resultados obtidos no ensaio anterior que não expressam nenhuma vantagem do uso da corrente pulsada em relação a corrente constante, partiu-se para um segundo experimento. O objetivo deste segundo ensaio é comparar os resultados obtidos, com os dois tipos de corrente alternada de mesmo valor eficaz, na soldagem automática de chapas de alumínio de topo na posição plana e sem adição de material.

Neste experimento, buscou-se o maior valor de velocidade de soldagem possível, Tabela 2, para se conseguir uniões sem qualquer tipo de defeitos, como: mordeduras e fusão insuficiente na raiz. A Figura 4 mostra os cordões de solda, vista da face superior à esquerda e vista da face inferior à direita, obtidos via processo TIG CA nas respectivas formas de corrente aplicada: constante, pulsada em 1 Hz e pulsada em 2 Hz.

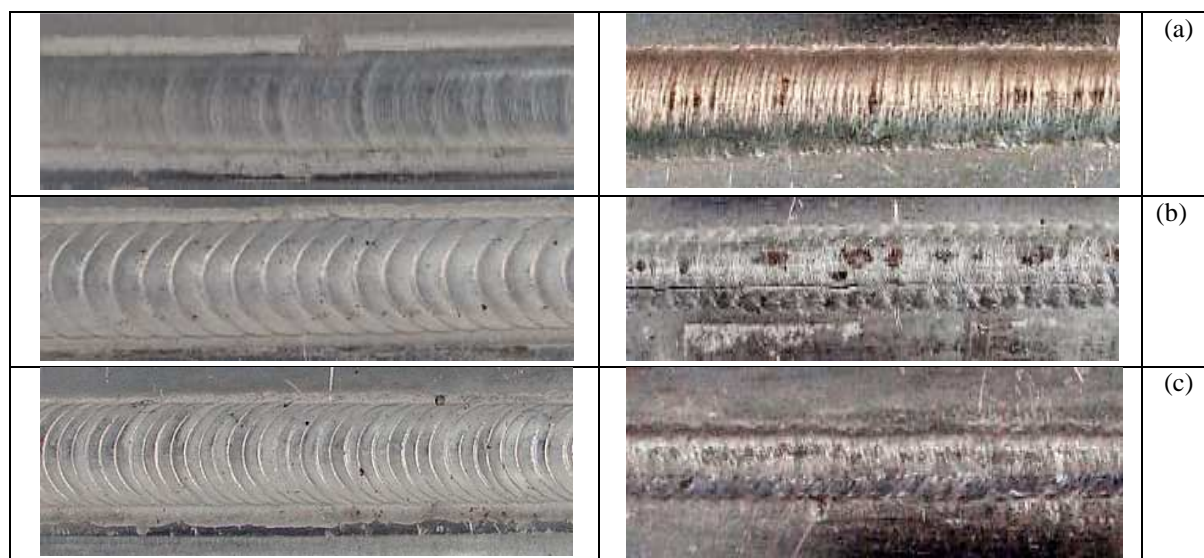


Figura 4. Resultados obtidos com corrente alternada de 180 A na soldagem de topo sem adição de material. Em (a) constante, em (b) pulsada em 1Hz e em (c) pulsada em 2 Hz.

Tabela 2 – Velocidade máxima na soldagem automatizada de topo na posição plana.

<i>Tipo de Corrente Alternada</i>	<i>Velocidade Máxima de Soldagem (cm/mim) - (%)</i>	<i>Largura Face (mm) - (%)</i>	<i>Largura raiz (mm) - (%)</i>
Constante	17,0 – 100,0	8,35 – 100,00	5,40 – 100,00
Pulsada 1 Hz	18,0 – 105,9	10,15 – 121,55	6,68 – 123,70
Pulsada 2 Hz	17,4 – 102,4	8,73 – 104,55	4,43 – 82,03

Observa-se apenas um pequeno aumento da velocidade máxima de soldagem, aproximadamente 6%, quando se utiliza corrente alternada pulsada de 1 Hz em relação a corrente alternada constante, Tabela 2. Como os resultados deste ensaio não expressam uma vantagem significativa do uso da corrente alternada pulsada, partiu-se em repetir este experimento, porém na posição vertical de soldagem.

Geralmente é associado à utilização da corrente alternada pulsada para a soldagem em posições desfavoráveis dando condições de sustentabilidade da poça metálica. É o caso de juntas de topo e principalmente da soldagem de raiz que é uma situação crítica entre a obtenção de penetração insuficiente e a perfuração da chapa.

Tabela 3 – Velocidade máxima na soldagem automatizada de topo na posição vertical.

<i>Tipos de Corrente Alternada</i>	<i>Velocidade (cm/mim) - (%)</i>	<i>Largura Face (mm) - (%)</i>	<i>Largura raiz (mm) - (%)</i>
Constante	16,5 – 100,00	8 – 100,00	4,80 – 100,00
Descendente			
Pulsada 1 Hz Descendente	16,5 – 100,00	9,80 – 122,50	6 – 125,00
Constante	16 – 100,00	8,25 – 100,00	4,95 – 100,00
Ascendente			
Pulsada 1 Hz Ascendente	16 – 100,00	8 – 96,96	4,55 – 91,91

Percebe-se pela Tabela 3, que mesmo trabalhando numa posição desfavorável que é soldagem vertical, a corrente pulsada não trouxe vantagem com relação a velocidade de soldagem. Mesmo a largura da face e da raiz para o caso pulsado em 1 Hz na posição vertical descendente teve um aumento considerável e indesejável. Este experimento mostrou que mesmo numa soldagem fora de posição a corrente pulsada não apresenta vantagens sobre a corrente alternada constante.

4. Conclusão

Na soldagem com corrente pulsada comumente é dito que é mais fácil assegurar a obtenção de penetração, já que a corrente de pulso esta acima da corrente necessária para a espessura do material a ser soldado, mas atuando por um tempo insuficiente para evitar a perfuração. Porém nos testes realizados para o alumínio com a mesma corrente eficaz ficou evidente que a penetração e o fator de forma dos cordões são maiores com a corrente alternada constante, demonstrando que a regulagem de uma corrente pulsada num patamar maior que o necessário para a peça não garante uma maior penetração.

Outra afirmação dita é que a mudança na amplitude da corrente implica em benefícios, como uma redução do efeito térmico sobre a peça em consequência de um melhor aproveitamento da energia na fase de pulso para a fusão em profundidade. Durante a fase de base, praticamente não há ação térmica sobre a peça, propiciando um certo efeito de solidificação da poça metálica, evitando escorrimientos da mesma. Pela boa combinação das duas fases, pode-se obter aumento da velocidade de soldagem para uma mesma energia total. Entretanto, nos testes realizados na soldagem de raiz na posição plana com uma corrente alternada pulsada de 1 Hz verificou-se um pequeno aumento de velocidade de soldagem em relação a corrente alternada constante. Este incremento de aproximadamente 6 % é pouco expressivo e não representa uma vantagem significativa. Na posição vertical ascendente e também na descendente não se obteve aumento de velocidade de soldagem com o uso da técnica pulsada. Além disso, nestes experimentos realizados, teve-se uma facilidade muito maior de realizar as soldagens com corrente

constante do que a corrente pulsada.

Se formos analisar pelas características geométricas das soldas realizadas com corrente alternada pulsada como dito anteriormente, esta não apresenta vantagens e apresenta certa dificuldade de realização. Porém possui uma característica muito interessante que é o fator estético, que devido a solda ser conduzida por vários pontos sobrepostos, este apresenta uma aparência escamada que visualmente é melhor que a aparência lisa deixada pela corrente alternada constante. Esta característica visual tornou o pulsado muito preterido e utilizado largamente gerando o mito de que a corrente alternada pulsada é melhor que a corrente alternada constante.

5. Bibliografia

- [1] MODENESI, P.J. Soldagem I – Introdução aos Processos de Soldagem. Belo Horizonte: s.n, Junho . 2002
- [2] CIRINO, L.M–Estudos dos efeitos da polaridade na soldagem com corrente contínua e alternada pelos processos TIG e MIG/MAG. Mar. 2009. Dissertação de mestrado. Dept. de eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2009
- [3] CUNHA, T.V – Desenvolvimento de Equipamento e de Metodologia de Parametrização para a Soldagem Orbital TIG. Out. 2008. Dissertação de mestrado. Dept. de eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2009
- [4] CIRINO, L.M, DUTRA, J.C –Estudos dos efeitos da polaridade na soldagem com corrente contínua e alternada pelos processos TIG e MIG/MAG. **Congresso**
- [5] STREET, J.A. Pulsed Arc welding. 1^a. s.l.: Abington publishing, 1990
- [6] HANDBOOK, WELDING. 8^a Ed. s.l. : AWS, 1991. Vol. 2.
- [7] Kumar, A, Sundarrajan, S - Optimization of pulsed TIG welding process parameters on mechanical properties of AA 5456 Aluminum alloy weldments, Materials and design- Elsevier- julho 2008
- [9] IMC-SOLDAGEM. Manual do Equipamento. Apresenta as características da fonte de soldagem Inversal 450. Disponível em <http://www.imc-soldagem.com.br/inversal.html>. Acessado em 16/10/2009
- [10] IMC-SOLDAGEM. Manual do Sistema. Apresenta as características do SAP. Disponível em http://www.imc-soldagem.com.br/sap_4.html. Acessado em 25/10/2009.
- [11] MARQUES, P.V, MODENESI, P.J e BRACARENSE, A.Q. Soldagem: Fundamentos e Tecnologia. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005
- [12] CUNHA, T.V. Desenvolvimento de um Sistema de Soldagem Orbital TIG. [Online] - http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_atuais/sistema_soldagem_orbital.php Acessado em 12/02/2010.