

Estudo da Influência do Tempo de Limpeza Catódica sobre a Geometria do Cordão na Soldagem TIG de Alumínio

Vinicio Sales Rocha

MSc., Eng. Mecânico, membro do grupo de pesquisa em soldagem LAPROSOLDA da Universidade Federal Uberlândia, Uberlândia, MG. Email: vsrocha@mecanica.ufu.br

Celina Leal Mendes da Silva

Dra., Eng^a. Mecânica, Prof^a do CEFET-PA. Email: clm.silva@cefetpa.br

Américo Scotti

PhD, Engenheiro Mecânico, professor/pesquisador do grupo LAPROSOLDA da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. Email: ascotti@mecanica.ufu.br

RESUMO

Na soldagem TIG de alumínio emprega-se corrente alternada como solução para superar o insucesso da utilização de corrente contínua em qualquer polaridade. A literatura especializada indica claramente vantagens na utilização de corrente alternada desbalanceada, onde o tempo de duração do ciclo negativo (t_-) é maior que o ciclo positivo (t_+). As razões apontadas são basicamente duas: com a rápida reversão de polaridade ganha-se em estabilidade do arco e com maiores valores de t_- aumenta-se a transferência de calor para peça, que para as mesmas condições de soldagem, representa um aumento na área fundida. O ciclo positivo tem a função exclusiva de fazer a limpeza catódica. Entretanto, resultados obtidos na soldagem TIG de alumínio empregando um mecanismo de controle do balanceamento da corrente alternada, mostraram que a área fundida foi mais influenciada pelo t_+ que pelo t_- , uma vez que t_+ possui influência sobre a largura e, esta, por sua vez, mostrou-se bastante influente sobre o comportamento da área fundida. No intuito de investigar este fenômeno, neste trabalho propuseram-se hipóteses baseadas no efeito da limpeza. Essas hipóteses foram experimentadas através de práticas laboratoriais e o resultado mostrou que t_+ é uma variável de grande importância sobre a área fundida.

Palavras chave: Soldagem TIG, alumínio, geometria da solda e limpeza catódica.

1. INTRODUÇÃO

Um grande avanço na soldagem TIG de alumínio foi alcançado com o advento da eletrônica de potência na geração dos sinais de saída, possibilitando o emprego de sinais com formato retangular. Entretanto, este formato de onda insere uma dificuldade adicional ao processo, que é o grande número de parâmetros a se ajustar. Além disso, os parâmetros de ajuste da onda retangular (intensidade de corrente eficaz, balanço do tempo entre polaridades e freqüência de inversão) são muito difíceis de se otimizar, pois são interdependentes e função do tipo, forma e condição superficial das peças que se deseja unir. Pensando nisso, o grupo de soldagem da UFU desenvolveu um método de controle adaptativo para simplificar este ajuste, caracterizado por um melhor aproveitamento térmico do processo e melhor estabilidade do arco, resultado do emprego de parâmetros otimizados para cada aplicação.

Com esse sistema, denominado de RSO (Remoção Seletiva de Óxido), reduz-se o ajuste de parâmetros para apenas a intensidade de corrente eficaz, ficando os demais sob a responsabilidade do controle, que sempre procurará maximizar a relação penetração/limpeza para cada condição. Sua avaliação, feita em duas ligas diferentes, mostrou que o controle funcionou perfeitamente, chegando a índices acima de 80% do tempo de permanência do eletrodo no ciclo negativo e zerando o tempo de arco apagado. Com relação à eficiência térmica, a utilização do controle levou a maiores valores de

área fundida. O intrigante é que esses maiores valores de área fundida foram obtidos quando se pré-adjustou no controle os maiores valores de t+.

Apesar de essas serem características de bastante interesse, o alto investimento em equipamento (fontes e tochas) pode frustrar os usuários caso a aplicação não seja correta. Por isso, nesse trabalho, pretende-se promover uma avaliação exploratória da duração de t+ sobre a geometria do cordão e a tensão do arco TIG com o intuito de fornecer subsídios para o desenvolvimento de um sistema de controle dinâmico da polaridade do arco confiável para uma possível aplicação industrial.

2. OBJETIVO

Ao se utilizar o controle RSO, uma limpeza catódica mais eficaz (maior t+, para um dado t-) aparentemente conduz a maior largura do cordão (possibilitando até uma maior área fundida, mesmo que não necessariamente em maior penetração). A razão poderia ser basicamente a descrita a seguir:

1º - Um maior tempo de limpeza catódica leva uma expansão volumétrica da base do arco e, consequentemente, a uma maior área limpa de óxido no sentido da largura;

2º - O período de I+, mesmo que não tão eficiente como o período de I-, também aquece o metal, no caso, aquece esta maior área limpa de óxido (agindo como um pré-aquecimento);

3º - Quando do período de I-, o arco pode passar agir sobre uma maior área, fundindo-a mais eficazmente com a ajuda do pré-aquecimento, ou, mesmo que o arco fique com a mesma dimensão, este pré-aquecimento pode favorecer uma maior eficiência de fusão, sobretudo lateralmente.

O objetivo de se estudar este fenômeno seria que uma vez comprovado a relação entre tempo de limpeza catódica e largura da solda, poder-se-ia trabalhar com este parâmetro para programar geometrias mais adequadas de cordão, por exemplo, para reduzir a susceptibilidade à trinca de solidificação pelo aumento da relação largura/penetración. Além disto, este estudo também se torna necessário para se definir uma relação entre a largura da limpeza catódica e a qualidade do cordão visando usar o sinal de tensão como parâmetro de controle. Por isto, um segundo objetivo seria a avaliação exploratória da relação entre largura da limpeza catódica e tensão do arco durante t+.

4 – METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para verificar o efeito do tempo de limpeza catódica na expansão lateral da base do arco com o intuito de fundamentar a teoria de que uma maior área pode ser pré-aquecida por um maior tempo no ciclo positivo, uma série de experimentos foi proposta (Tabela1) aumentando o tempo no ciclo positivo para uma mesmo tempo no ciclo negativo, utilizando-se o recurso da filmagem do arco com câmera de alta velocidade, sincronizado as imagens adquiridas com a aquisição de corrente e tensão.

Tabela 1 - Planejamento experimental.

Chapa	t+ (ms)	t- (ms)	T (ms)
1	2	20	22
3	4	20	24
5	6	20	26
7	8	20	28
9	10	20	30

A Tabela 2 exibe os outros valores dos parâmetros de soldagem que serão empregados. Para a realização destes experimentos a bancada ilustrada na Figura 1 foi montada com a aquisição de imagens do arco feito por uma câmera de alta velocidade a 500 quadros por segundo.

Todos os experimentos foram realizados empregando um tempo de atraso entre o deslocamento da chapa e o acendimento do arco, tempo esse suficientemente grande para a formação da poça de fusão. A formação da poça era acompanhada através de um monitor reproduzindo as imagens adquiridas pela câmera de alta velocidade. Foram adquiridas imagens do arco durante 8,2 segundos e sinais elétricos de corrente e tensão durante 10 segundos a uma freqüência de 10 kHz em 8 bits. A

sincronização entre os sinais elétricos e os sinais de corrente e tensão provenientes do arco não foi possível devido a ruídos induzidos pelo arco em CA no sinal da câmera de alta velocidade.

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem empregados

Parâmetro	Valor
Metal de base	AA 5052
Corrente no Negativo (A)	200
Corrente no Positivo (A)	200
Velocidade de Soldagem (cm/min)	20
Distância eletrodo-peça (mm)	3,5
Composição do Eletrodo de 4,0 mm	W-Th2
Fluxo de Argônio (l/min)	10



Figura 1 – Bancada experimental montada para adquirir imagens do arco.

A calibração do software de medição foi realizada através de um fator de conversão obtido através da relação entre a imagem de uma escala adquirida pela câmera de alta velocidade e a medida real observada na escala (Figura 2).

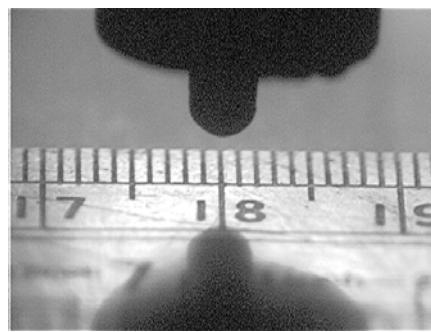


Figura 2 – Imagem utilizada para calibrar o sistema de medição.

Anotada a devida escala de conversão se fazia necessário identificar a correspondência entre os quadros de imagem adquiridos e a polaridade do arco para, em seguida, executar-se o procedimento de medida de sua largura. Um procedimento de identificação teve que ser adotado porque não foi possível sincronizar o sinal de corrente ou tensão com o sinal da câmera. Esse procedimento consistia em identificar cada polaridade pelo número de quadros que correspondiam ao tempo ajustado na fonte para cada uma delas. Adicionalmente a geometria do arco e sua seqüência de apagamento ratificavam essa identificação. Um exemplo da propriedade desse procedimento pode ser visto na Figura 3.

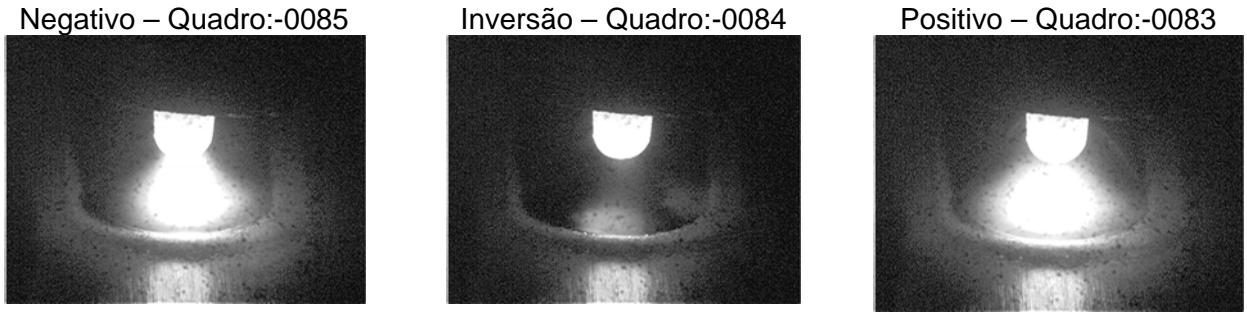


Figura 3 – Seqüência de quadros utilizados para ratificar a identificação da polaridade do arco (Tempo entre quadros = 4ms - arquivo 03857.mcf)

5 - RESULTADO

Observando os diversos arquivos de imagens adquiridas do arco ficou claro a diferença de geometria entre o arco em CC- e o arco em CC+, o que ajuda na identificação da polaridade que estava sendo representada por um dado quadro de imagem. Percebe-se facilmente que o arco em CC- “sobe” no eletrodo e seu perfil é cônico, enquanto, o arco em CC+ parece nem tocar, ou tocar, somente, no ponto mais extremo do eletrodo e tem o perfil assemelhando-se a uma semi-circunferência. Essa diferença de geometria é ilustrada na representação da Figura 4 onde inverteu-se as cores (preto pelo branco e vice-versa) da imagem para acentuar o contraste.

Outra consideração importante a ser abordada com relação à medição da base do arco foi a incerteza em se identificar seu verdadeiro contorno. Determinar o real contorno do arco é uma tarefa complicada, pois depende da curva de sensibilidade da CCD utilizada, dos filtros (neutros e máscara soldagem), das lentes e do que se está soldando. Isto tudo porque se pode estar privilegiando algum conjunto de linhas espectrais em detrimento de outros.

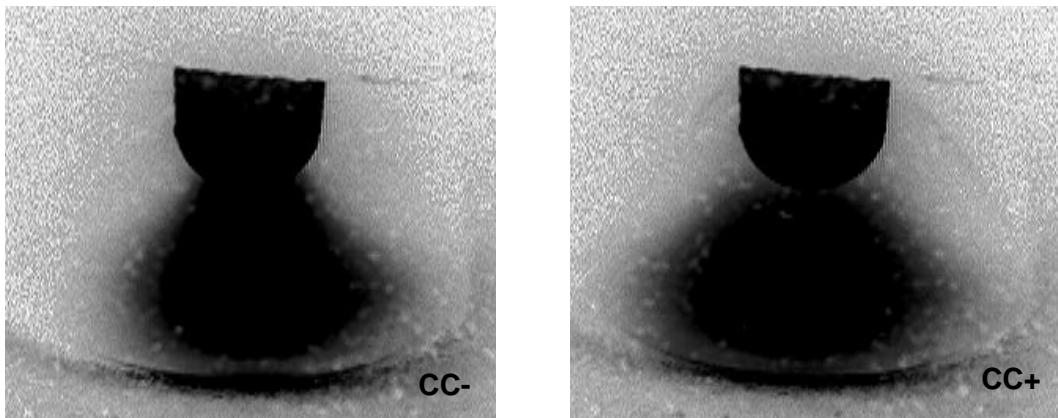


Figura 4 - Diferença de geometria dos arcos de CC- e CC+ com 200 A de intensidade de corrente em ambas as polaridades, argônio puro, eletrodo de W-Th2 e velocidade de soldagem de 20 cm/mim

Marques et al. [01] estudaram variações na aparência e dimensões do arco relacionadas às propriedades físicas de diferentes gases e misturas e concluíram que há uma proporcional redução da largura do arco e de sua luminosidade com o aumento do teor de N₂, H₂ ou He na mistura com Argônio. Já com 100% de He o arco tende a "sumir". Estes autores justificam esse comportamento por alterações reais na geometria do arco e por mudanças na qualidade da radiação emitida pelo arco em relação à sensibilidade da câmara CCD usada para registrar as imagens.

Marques et al [01] observam que no caso do Hélio o espectro luminoso, caracterizado por linhas de emissão entre 587 e 728 nm e abaixo de 400 nm, devem provavelmente estar localizadas fora da região de ótima sensibilidade da CCD empregada. As Figuras 5 e 6 comprovam estas afirmações.

Vilarinho [02], em comunicação privada, afirma que, normalmente, as câmeras CCD tem um bom desempenho para comprimentos de onda em torno de 500-750 nm. O problema é que nessa faixa, a luminosidade do arco cresce até ~15000 K e depois tende a diminuir, pois as linhas menores que 450 nm começam a se intensificar prejudicando a identificação de seu real contorno. . Esta explicação pode suportar uma explicação de falso formato do contato do arco com o eletrodo comentado anteriormente, onde em CC+ (possivelmente mais quente) parece não haver contato (Figura 4).

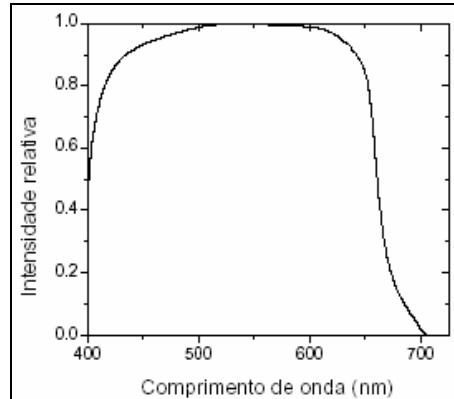


Figura 5 – Curva típica de uma câmera CCD com filtro IV [01].

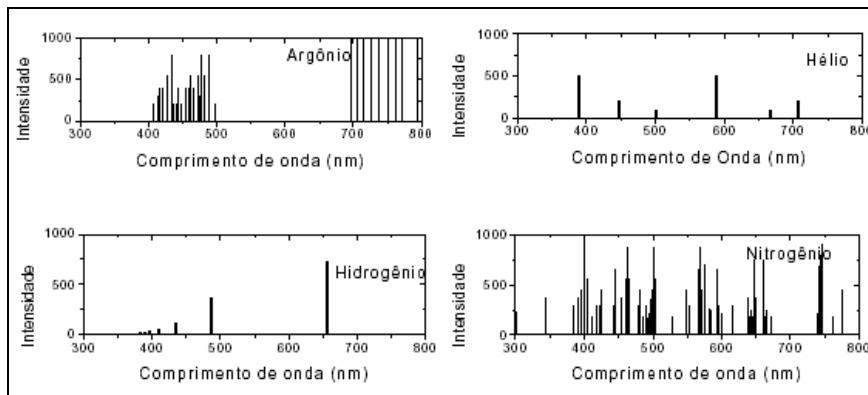


Figura 6 - Espectros esquemáticos de emissão, na região da luz visível, do Ar, He, N₂ e H₂ [01].

Identificada à polaridade representada por uma determinada seqüência de quadros, procedeu-se à mensuração da largura da base do arco, em seis pontos por arquivo de imagem, duas no início, duas no meio e duas no final. A metodologia de medida das imagens consistiu em selecionar os dois pontos mais distantes na raiz do arco, a uma mesma altura, em um quadro representando a polaridade negativa e em um quadro representando a polaridade positiva. Os resultados podem ser vistos na Tabela 3 e no gráfico da Figura 7.

Como explicado anteriormente, a dificuldade de identificação do contorno do arco poderia levar a erros na determinação de sua largura, então se empregou um método estatístico para verificar se dentro do universo amostral ocorreram medidas que se desviam em demasia do valor médio em função de algum erro de operação ou medição. Para essa tarefa escolheu-se o Critério de Chauvenet. Este consiste em calcular a taxa de desvio D_R para comparar com uma taxa de desvio zero D_{R0} , caso $D_R > D_{R0}$ a medida deve ser rejeitada. O valor de D_{R0} é calculado por: $D_{R0} = 2.8751e^{0.0003n} - 1.0038e^{-0.0212n} - 1.2712e^{-0.2674n}$,

onde n é o tamanho da amostra e $D_R = \left| \frac{x_i - x}{S(x)} \right|$, onde x_i é o valor da amostra, x a média amostral e $S(x)$ é o desvio padrão.

Tabela 3 – Valores de largura do arco visível em função de $t+$ ($t^- = 20$ ms e $I = 200$ A)

t^+	Largura Negativa (cm)	Largura Positiva (cm)
2	0,52 ^{0,01}	0,53 ^{0,04}
4	0,50 ^{0,02}	0,52 ^{0,02}
6	0,49 ^{0,03}	0,52 ^{0,05}
8	0,51 ^{0,01}	0,56 ^{0,03}
10	0,52 ^{0,01}	0,59 ^{0,03}

Os números sobre-escritos indicam o valor do desvio padrão.

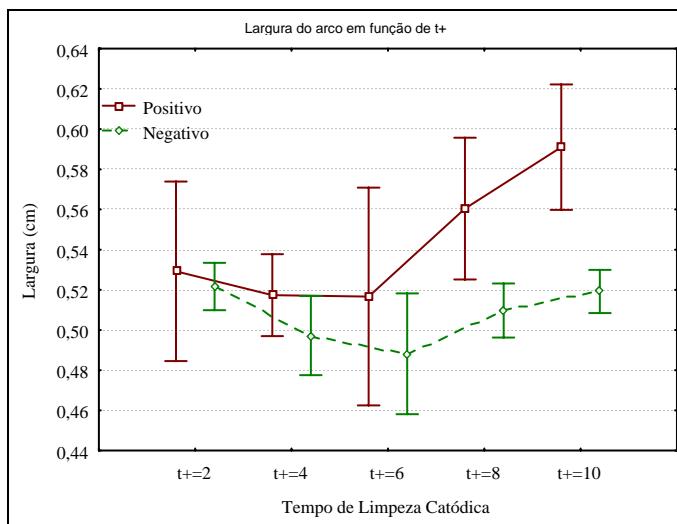


Figura 7 - Resultados das medidas das imagens dentro de um intervalo de confiança de 95%.

Vencida esta etapa, mediu-se a penetração, largura e a zona de limpeza catódica (sputtering zone), a área fundida foi medida usando um programa específico para este fim através da digitalização da imagem das secções transversais dos corpos de prova. A Tabela 4 ilustra os resultados desses parâmetros.

Os gráficos das Figuras 8, 9, 10 e 11 ilustram os resultados de largura da solda, penetração, área fundida e zona de limpeza em função do tempo de limpeza catódica dentro de um intervalo de confiança de 95%. Resultados interessantes podem ser retirados da análise destes elementos ilustrativos. O primeiro é que a largura da solda não é alterada significativamente no intervalo de limpeza que começa em 2 ms e termina em 8 ms, mas para 10 ms seu aumento é expressivo (Figura 8). Com relação à penetração, não se observa alteração significativa para nenhum tempo de limpeza catódica empregado (Figura 9). A área fundida acompanha a tendência da largura da solda de aumento expressivo quando o tempo de limpeza é de 10 ms. A zona de limpeza ao contrário do que era de se imaginar, não aumenta progressivamente com t^+ , ela cresce fortemente de $t^+ = 2$ ms para $t^+ = 4$ ms, continua crescendo de 4 ms até 8 mas não mantém esse comportamento para $t^+ = 10$ ms.

Tabela 4 - Resultados médios dos parâmetros geométricos

t^+	t^-	Largura	Penetração	Área Fundida	Zona de Limpeza
2	20	7,8	3,7	20,4	1,8
4	20	8,0	4,5	23,7	5,2
6	20	7,7	3,8	19,3	6,4
8	20	8,1	4,1	21,8	7,4
10	20	10,0	4,7	30,8	6,3

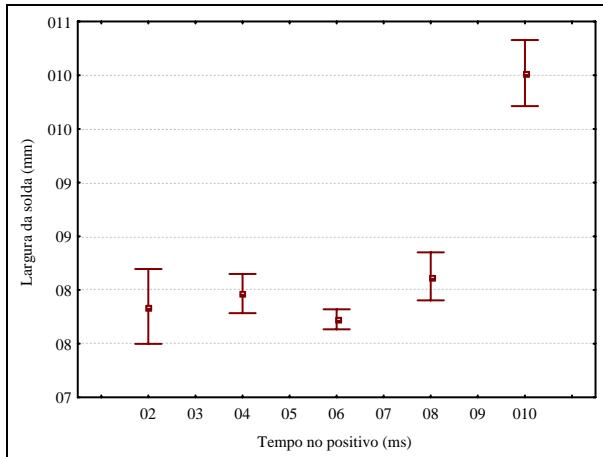


Figura 8 - Resultados das medidas largura da solda dentro de um intervalo de confiança de 95%.

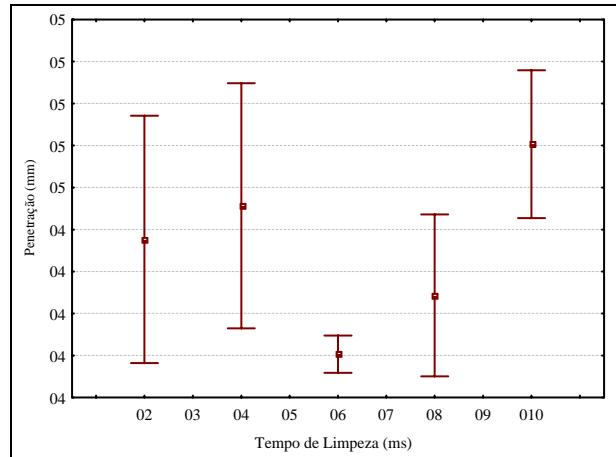


Figura 9 - Resultados das medidas penetração dentro de um intervalo de confiança de 95%.

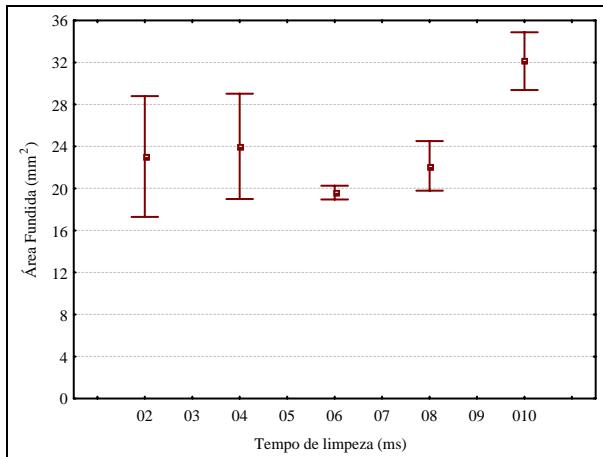


Figura 10 - Resultados das medidas área fundida dentro de um intervalo de confiança de 95%.

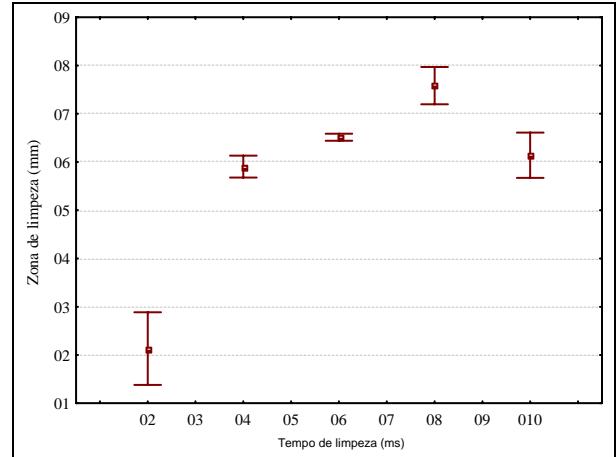
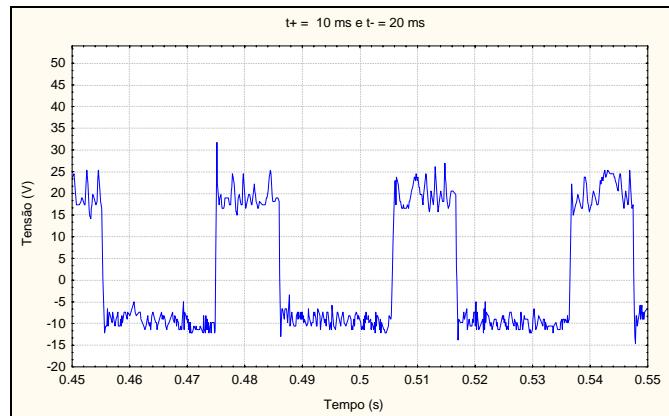
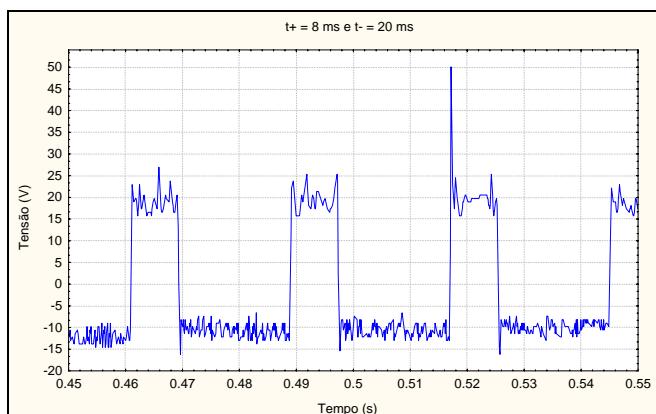
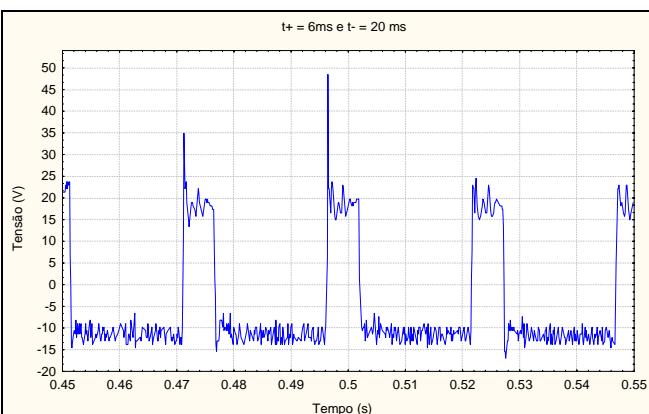
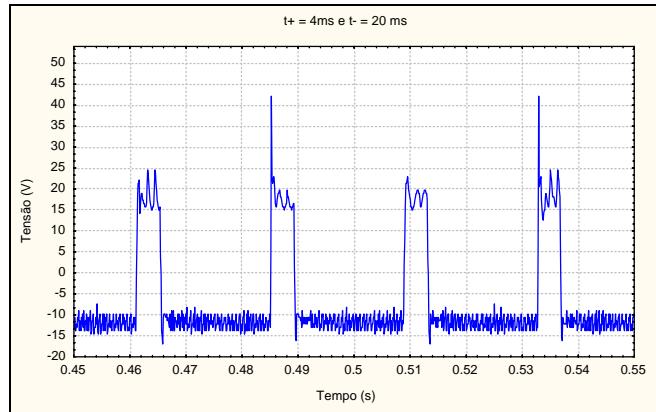
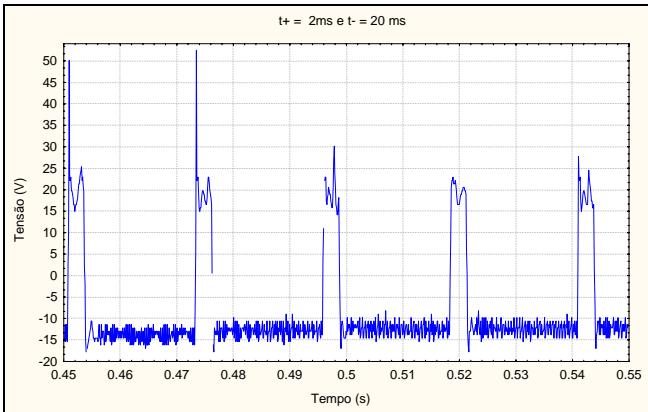


Figura 11 - Resultados das medidas largura da zona de limpeza dentro de um intervalo de confiança de 95%.

Rocha [03] chegou a um resultado semelhante quando compara o comportamento da estabilidade do arco e da geometria do cordão. Em sua dissertação, Rocha [04] afirma que a grandeza largura da solda é mais representativa sobre a área fundida do que a grandeza penetração, sendo a largura, por sua vez, mais influenciada pelo tempo real de polaridade positiva do que pelo tempo de real de polaridade negativa.

Como para soldagem TIG utilizam-se fontes de corrente constante, o sinal desse parâmetro elétrico não é tão afetado por fatores como alterações no comprimento, largura e volume do arco, além de ruídos e condições superficiais da peça. Por essa razão, não se preocupará nesse momento em mostrar seu comportamento dinâmico, entretanto, atenção especial será dada ao sinal de tensão que espera-se refletir toda essa influência.

Os gráficos das Figuras 12, 13, 14, 15 e 16 abaixo ilustram o comportamento dinâmico da tensão para os experimentos onde se ajustou, respectivamente, 2, 4, 6, 8 e 10 ms de tempo de limpeza catódica.



Percebe-se analisando os gráficos acima que o comportamento da tensão no ciclo positivo se eleva com o aumento do tempo de limpeza de 2 para 10 ms. Já para a tensão do ciclo negativo percebe-se um comportamento inverso, ou seja, a tensão em módulo diminuiu de aproximadamente, 15 para 10V.

Entretanto, dentro de um mesmo arquivo de aquisição de dados de um dado experimento não se percebe uma tendência de ascensão, queda ou manutenção da intensidade, parecendo sofrer a influência

de todas as variáveis supracitadas conjuntamente. Já para a tensão no ciclo negativo percebe-se um incremento em módulo do seu valor, isso fica evidente, principalmente, no gráfico da Figura 16. Vieira [04] tem uma teoria interessante para explicar esse fenômeno e pode ser uma boa referência para o controle RSO em termos de identificação de quando o tempo de polaridade negativa já se faz suficiente, indicando necessidade de limpeza catódica.

A teoria de Vieira [04] é de que nos instantes iniciais do ciclo negativo não existem óxidos, por efeito da remoção que o ciclo anterior propicia, então uma certa quantidade de energia (tensão) é gasta para manter o fluxo de elétrons, mas à medida que o arco vai se deslocando e encontrando regiões que não foram catódicamente limpas ele precisará de mais energia para manter o mesmo nível de intensidade de corrente, pois o óxido atua como uma resistência adicional ao fluxo de elétrons.

Já Scotti et al. [05] afirmam que quanto maior for o aquecimento do eletrodo durante o ciclo positivo mais fácil será a re-ignição do arco no ciclo negativo já que nesse caso o tipo de emissão eletrônica é termiônica e essa é favorecida pelo calor, ou seja, menor energia terá que ser fornecida para manter um certo nível de intensidade de corrente, a partir desse instante a temperatura do eletrodo vai progressivamente diminuindo, prejudicando a emissão por efeito termiônico e aumentando a energia necessária para manter o mesmo nível de corrente.

5 - CONCLUSÕES

Com relação à largura do arco, embora o desvio padrão dos resultados seja relevante, pode-se identificar que para $t+$ maiores há um aumento na largura do arco, o que pode ser a causa do aumento da largura da solda e, consequente, aumento da área fundida. Com relação ao sinal de tensão, o ciclo negativo fornece um comportamento que pode ser relacionado com a qualidade do cordão e essa por sua vez pode ser implementada no controle para que possa trabalhar com maiores tempos no ciclo negativo sem necessitar inverter a polaridade para verificar a necessidade de limpeza.

6 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa PADCT III pelo suporte financeiro. Também são gratos ao CNPq, pelo fornecimento de bolsa de estudo e suporte financeiro para custeio, a UFU, o CEFET-PA e a UFC, na pessoa do Prof. Jesualdo Pereira, pelas condições laboratoriais disponibilizadas.

7 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Marques, P. V., Modenesi, P. J. & Valente, O. B.: Características do Arco de Soldagem TIG em Diferentes Atmosferas, XXIV Congresso Nacional de Tecnologia da Soldagem, 1998, CD-ROM.
- [02] Vilarinho, L.O., comunicação privada via email em 22/12/2003.
- [03] Rocha, V. S.: Desenvolvimento e Implementação de um Controle para Remoção Seletiva de Óxido na Soldagem TIG de Alumínio., Dissertação de Mestrado, UFU, Outubro, 2001.
- [04] Vieira Jr. A. B., Influência das Condições Superficiais do Alumínio na Estabilidade do Arco em Soldagem TIG, Dissertação de Mestrado, UFU, Agosto de 1999.
- [05] Scotti, A., Dutra, J. C. and Ferraresi, V. A., The Effect of the Set Parameters on Arc Stability and Bead Geometry of Aluminum GTA Welding Using Rectangular Wave AC Output, 19th International Conference on the Joining of Materials (JOM-9), JOM Institute, Helsingør, Denmark, May, 1999, pp124-129.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído nesse trabalho.

Influence of Cathodic Cleaning about Bead Geometry in Aluminum TIG-Welding

Vinicius Sales Rocha

Mechanical Engineer, Master Science in Mechanical Engineering with emphasis in Materials and Fabrication Processes, Doctorate student at Uberlândia Federal University, Uberlândia, MG. Email:

vsrocha@mecanica.ufu.br

Celina Leal Mendes da Silva

Mechanical Engineer, Doctor in Mechanical Engineering with emphasis in Materials and Fabrication Processes, professor/researcher of CEFET-PA. Email: clm.silva@cefetpa.br

Américo Scotti

Mechanical Engineer, PhD in Welding Technology, professor/researcher of LAPROSOLDA group at Uberlândia Federal University, Uberlândia, MG. Email: ascotti@mecanica.ufu.br

ABSTRACT

Aluminum TIG Welding employ AC as solution to overcome the DC miscarriage at both polarities. The specialized technical literature show clearly the advantages at the AC rectangular waves application, where the negative cycle duration (t_-) is larger than positive cycle (t_+). The appointed reasons are basically two: the rapid polarity reversion improve arc stability and the larger duration of t_- improve heat transfer to workpiece, that for the same welding conditions, can be represented by the weld bead transversal area. The positive cycle has the unique function to perform cathodic cleaning. However, previous results with aluminum TIG welding employing a wave balance control mechanism showed that the transversal area was more influenced by t_+ than t_- , at once t_+ influence weld width and this showed be a strong influence to transversal area. To investigate this phenomenon, were developed and tested hypothesis through laboratory practices and the result confirmed the t_+ importance to weld geometry.

Word-keys: Aluminum TIG Welding, weld geometry and cathodic cleaning.