

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO E INTERATIVO PARA O ESTUDO DA FÍSICA DO ARCO ELÉTRICO BASEADO EM UM ALTO-FALANTE A ARCO DE PLASMA-DINÂMICO ("Arc TalkaTIG")

Lucas Alves do Nascimento, Laprosolda, eng.lucasalves@gmail.com
Louriel Oliveira Vilarinho, Laprosolda, vilarinho@mecanica.ufu.br
Américo Scotti, Laprosolda, ascotti@ufu.br
Fernando Sousa dos Santos, Laprosolda, ufu.fernandosantos@hotmail.com
Vinícius Lemes Jorge, Laprosolda, viniciuslemesj@hotmail.com

Resumo. No sentido de tornar o aprendizado mais interessante e aproximar os alunos e futuros interessados no ramo foi construído um dispositivo denominado de “Arc TalkaTIG (TIGarela)”, para ensinar os fundamentos do arco elétrico de forma didática, interativa e sem a utilização de máscaras de proteção, facilitando a observação do fenômeno. O dispositivo é uma evolução do “arco cantante” de William Duddell de 1990, um alto-falante a arco de plasma-dinâmico que cria um som através da variação de pressão de ar causada por uma descarga elétrica (descarga de corona). O equipamento permite visualizar importantes conceitos utilizados na soldagem, entre eles, a emissão de elétrons pelo efeito termiônico (evidenciada no processo de soldagem Tungsten Inert Gas - TIG), a emissão de elétrons pelo efeito de campo (presente no processo de soldagem MIG/MAG, entre outros) causado pela inversão de polaridades entre o eletrodo de tungstênio (+) e o metal base (-), propriedades físico-químicas do arco elétrico, além das propriedades acústicas do arco elétrico em altas frequências. Neste contexto, este trabalho apresenta o projeto eletromecânico do equipamento proposto. O circuito eletrônico é composto de 2 partes: circuito de controle e circuito de força. Já o projeto mecânico para suportar os equipamentos foi desenvolvido com o auxílio do software Solidworks® e fabricado posteriormente. Durante o funcionamento do equipamento é observado que devido à sua incapacidade de se mover grandes volumes de ar, o mesmo se limita a reproduzir apenas frequências muito altas, e são, portanto, utilizável apenas como tweeters. É observado também que o som produzido é nítido e limpo. Este equipamento contribui significativamente para o estudo e demonstração das propriedades do arco elétrico.

Palavras chave: Física do arco elétrico, Alto falante, Soldagem TIG, Ensino didático

1. INTRODUÇÃO

A soldagem, definida como processo especial pela Cláusula 7.5.2 da ISO 9001 (2008), está sempre presente e possui uma contribuição direta para o desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação do país. Em especial nesta última década, a tecnologia da soldagem passa por uma revolução. Passa-se a utilizar processos modernos e inovativos, como os processos derivativos e híbridos, que demandam um grande número de parâmetros interdependentes a serem ajustados e que são uma resposta às exigências de qualidade e produtividade estabelecidas pela ISO 3834 (2005). Soma-se a isto, a necessidade da redução de custo e garantia de um processo ambientalmente consciente, regido pela ISO 14001 (2004).

Entretanto, em contraposição a este desenvolvimento tecnológico, há uma escassez cada vez mais crescente de pessoas interessadas em tecnologia da soldagem, em especial em Minas Gerais (MGTV, 2011). Esta constatação reflete a cultura, ainda que relativamente errada, de que o ambiente da soldagem é hostil.

Desta forma, o presente trabalho procura estabelecer condições para tornar o aprendizado mais didático e interessante para os alunos que têm na sua grade curricular a disciplinas relacionada à soldagem, como “Processos de Fabricação Mecânica” (Graduação em Engenharia Aeronáutica, Elétrica e Mecatrônica), “Fundição e Soldagem” (Graduação em Engenharia Mecânica), “Fundamentos de Soldagem” (Pós-Graduação em Materiais e Processos de Fabricação), entre outros.

Neste sentido, foi criado um dispositivo portátil a ser utilizado nas aulas práticas de graduação/pós-graduação da UFU, denominado de “Arc TalkaTIG (arco TIGarela)”. O dispositivo é uma evolução do “arco cantante” de William Duddell de 1990, um alto-falante a arco de plasma-dinâmico que cria um som através da variação de pressão de ar causada por uma descarga elétrica (descarga de corona). Portanto, foi projetada uma estrutura mecânica para suportar uma tocha TIG e circuitos eletroeletrônicos baseado em circuitos mais simples (Malvino et al., 2008), em ignitores de alta frequência, em outros trabalhos (MH-Audio, 2015), para que a partir de uma entrada de áudio (microfone, celular, rádio, etc.), os alunos possam observar o fenômeno descrito (formação de um arco elétrico que “cante”) e interagir com

ele, maximizando seu aprendizado. Destaca-se que o arco elétrico é de menor intensidade para que os alunos possam visualizá-lo mais facilmente sem a utilização de máscaras de proteção.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Projeto elétrico e eletrônico

O circuito elétrico é composto de 2 partes: circuito de controle e circuito de força. Na Figura 1a (circuito de controle), os resistores $R3=10K\Omega$ e $R4=2K\Omega$ formam um divisor de tensão e tem a função de adequar a tensão em aproximadamente $2,0V_{cc}$ para acionar o LED que indica a presença de alimentação elétrica na placa de controle. Já o capacitor $C4=2000\mu F/250V$ elimina ruídos e flutuações da fonte e garante a estabilidade da tensão de alimentação, o capacitor $C1=47nF$ faz o acoplamento do sinal de áudio com circuito de controle, o capacitor $C2=100nF$ atua como filtro passivo de ruídos de alta frequência do sinal de áudio, o potenciômetro $RV1=10K\Omega$ ajusta a amplitude do sinal da entrada do áudio e o volume de saída, o resistor $R2=1\Omega$ limita a corrente na saída do CI (TL 494) e a combinação de $R1=2.2K\Omega$, $R5=470\Omega$ e $C3=10nF$ é responsável por determinar a frequência de oscilação do sinal principal de saída que chaveia o transistor MOSFET $Q1=IRF260$ (interface entre circuito de controle e circuito de força).

O circuito de força mostrado na Figura 1b) é composto por um MOSFET, um *flyback*, um circuito snubber, 1 eletrodo de tungstênio e uma placa de cobre. O transistor MOSFET IRF260 (Alldatasheet, 2015a), é um transistor de comutação de velocidade rápida, com capacidade de condução de corrente de 50A, tensão de ruptura de 200V e limiar de tensão máxima de 4 V. Este transistor MOSFET é chaveado pelo sinal provindo do circuito integrado TL494 (Alldatasheet, 2015b) da Texas Instruments na frequência de 38kHz. Já o transistor MOSFET chaveia a tensão de $12V_{cc}$ que alimenta o primário de um *flyback*¹ de modelo OMNI CCE TAT2009A e relação de tensão $12V_{cc}:40kV$. Por conseguinte, o circuito secundário do *flyback* fornece energia para o eletrodo de tungstênio em nível alto de tensão e pulsada (ignitor de alta frequência), e a malha é completada pela resistividade do arco e por uma placa de cobre aterrada na fonte chaveada que alimenta todo o sistema.

A proteção do transistor MOSFET é feita por um circuito *Snubber*. Foram selecionados $C6=4,7 nF$ e $R6=470\Omega$, além do diodo rápido de modelo SK3GL. No primário do *flyback* foi instalado uma chave reversora de fases de 3 posições (CH1) com a função de inverter as polaridades e desligar o circuito de força (posição central).

Tanto o circuito de força, o circuito de controle e os *water coolers* são alimentados por uma fonte chaveada de 12V/30A da fabricante Metaltex.

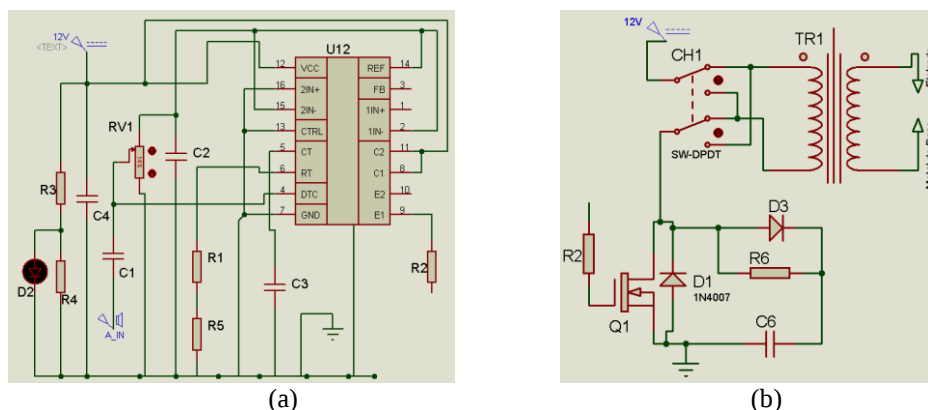


Figura 1. (a) Esquemático do circuito de controle (Software LabCenter Proteus®); (b) Esquemático do circuito de força (Software LabCenter Proteus®)

2.2. Projeto mecânico

No protótipo construído, o arco é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio torinado (de 1,6 mm), acoplado em uma tocha de soldagem TIG da fabricante Binzel (modelo TIG 26), e uma chapa de cobre (material de base) de espessura 5,0 mm. O calor excessivo gerado na chapa de cobre e no transistor MOSFET é drenado por refrigeração utilizando *water coolers* em contato direto com os mesmos. Já a refrigeração da tocha TIG não é necessária devido a corrente elétrica na ordem de miliampéres que circula nessa.

Placas de acrílico com espessura de 6,00 mm foram utilizadas para a fabricação das faces laterais, base, tampa e elementos periféricos por meio de corte a *laser*. As sustentações das placas de acrílico foram feitas com perfis

¹ *Flyback* consiste em um núcleo de ferrite com vários enrolamentos encapsulados em material isolante e converte uma tensão pulsada de níveis baixos para tensões e frequências altas.

estruturais em alumínio com dimensões de 200 mm x 22,23 mm x 22,23 mm e fixadas na base e na tampa por meio de parafusos. Já as faces laterais de acrílico são inseridas deslizando-as em sulcos de 6,00 mm x 6,00 mm que foram fabricadas nos perfis estruturais de alumínio.

O projeto mecânico para suportar os equipamentos foi modelado com o auxílio do software Solidworks® (Figura 2a) e fabricado posteriormente (Figura 2b).

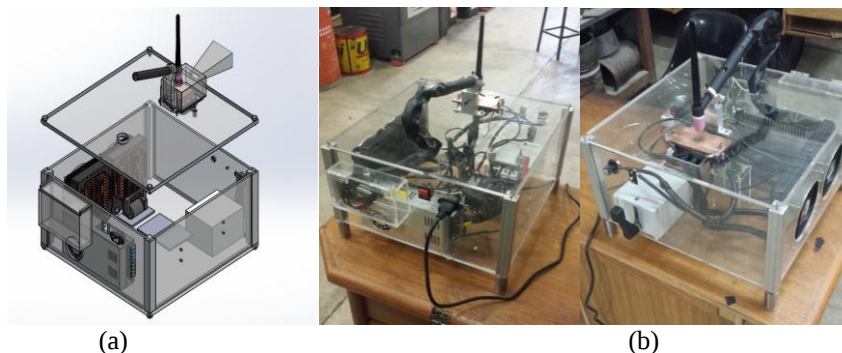


Figura 2. (a) Visão isométrica do equipamento (Projeto em SolidWorks®); (b) Equipamento construído

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Durante o funcionamento do equipamento é possível observar sua limitação em reproduzir apenas frequências muito altas, com som nítido e limpo, devido à sua incapacidade de se mover grandes volumes de ar. Também é observado que o eletrodo na polaridade direta (eletrodo no negativo) o arco se apresenta com coloração mais intensa e áudio mais volumoso, devido à emissão de elétrons pelo efeito termiônico (eletrodo emite elétrons).

Por fim, é importante salientar que este arco produzido pode ser observado a olho nú e contribui significativamente para o estudo e demonstração das propriedades do arco elétrico, permitindo visualizar importantes conceitos utilizados na soldagem, entre eles, a emissão de elétrons pelo efeito termiônico (evidenciada no processo de soldagem Tungsten Inert Gas - TIG), a emissão de elétrons pelo efeito de campo (presente no processo de soldagem MIG/MAG) causado pela inversão de polaridades entre o eletrodo de tungstênio (+) e o metal base (-), propriedades físico-químicas do plasma e arco elétrico, além das propriedades acústicas do arco elétrico em altas frequências.

4. CONCLUSÃO

- O objetivo de aproximar o aluno ao universo da soldagem por meio de abordagem audiovisual foi alcançado.
- A possibilidade do equipamento ser portátil e transportável foi alcançada ao longo da construção em virtude das soluções encontradas para redução de peso e suprimento da energia elétrica.

5. REFERÊNCIAS

- ALLDATASHEET, 2015a. “N-Channel Power MOSFET 50A, 200Volts.” <<http://www.alldatasheet.com>> .
- ALLDATASHEET, 2015b. “TL493, TL494, TL495 Pulse-Width-Modulation Control Circuits.” <<http://www.alldatasheet.com>> .
- CORSAIR, 2015. Hydro Series™ H60 High Performance Liquid CPU Cooler. <<http://www.corsair.com/en-us/hydro-series-h60-cpu-cooler>>.
- ISO 3834, 2005. “Quality requirements for fusion welding of metallic materials”. 66 p.
- ISO 9001, 2008. “Sistema de gestão da qualidade novo — Requisitos - Seção 7: Realização do Produto”. 30 p.
- ISO 14001, 2004. “Environmental management systems —Requirements with guidance for use”, 23p.
- MALVINO, A.P. et al. Eletrônica Vol. 1, 7ª Ed., 2008, 747p.
- MGTV, 2011. “Conheça um Pouco da Profissão de Soldador.” <<http://megaminas.globo.com/2011/01/17/conheca-um-pouco-da-profissao-de-soldador>>.
- MH-Audio, 2015. “Plasma Loudspeaker”. <<http://www.mh-audio.nl/Plasmaspeaker.asp>>.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq, aos membros e colaboradores do Laprosolda/UFU (Grupo Centro para Pesquisa e Desenvolvimento de Processos de Soldagem), a FEMEC/UFU e ao COPEM.

7. ABSTRACT

In order to make learning more interesting and bring students and future interested in the business has built a device called a "singing arc" to teach the basics of electric arc didactic, interactive and without the use of protective masks, facilitating the observation of the phenomenon. The device is an evolution of the "singing arc" William Duddell (1990), a speaker arc plasma-dynamic that creates a sound through the air pressure change caused by an electrical discharge (corona discharge). The equipment allows you to view important concepts used in welding, including the emission of electrons by thermionic effect (evidenced in the welding process Tungsten Inert Gas - TIG) electron emission by field effect (in this welding MIG / MAG) caused by the inversion of polarity between the tungsten electrode (+) and base metal (-), physico-chemical properties of plasma and arc, besides the acoustic properties of the electric arc at high frequencies. In this context, this paper presents in detail the electromechanical design of the proposed equipment. The electronic circuit consists of 2 parts: control and power. The control circuit has the function of generating signals at high frequency (between 5kHz and 50kHz), to modulate the tone of the input and adjust the sound volume. The signal generated in the control circuit is sent to the "gate" of a MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) in order to switch the DC voltage (12VDC) applied to the terminals of a transformer (flyback), obtaining a voltage 40kV of the secondary. This voltage is necessary for initiating the electric arc between the electrode and the base metal through the dielectric breakdown of the atmosphere. The mechanical design to support the equipment was developed with SolidWorks® software and manufactured later. During operation of the equipment is observed that due to their inability to move large volumes of air, they are confined to only very high frequencies, and are thus usable only as tweeters. It is also observed that the sound produced is crisp and clean. This equipment contributes significantly to the study and demonstration of electric arc properties.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.