

CONCEPÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DIDÁTICO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA A PONTO

Fábio Meurer, fabio-hm@hotmail.com¹

Tiago Vieira da Cunha, t.cunha@ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Joinville, Rua Presidente Prudente de Moraes, 406, Joinville - 89218-000 - SC - Brasil

Resumo: O processo de soldagem por resistência consiste num dos principais processos de união utilizados na indústria automotiva. Assim, num curso de engenharia automotiva faz-se necessário uma ampla abordagem deste processo a fim de promover a formação completa do profissional. Baseado nisso, este trabalho tem por objetivo descrever a concepção adotada no desenvolvimento de um equipamento didático de soldagem por resistência a ponto, destinado ao laboratório de ligações permanentes do centro de engenharia da mobilidade da UFSC - Campus Joinville. Ao conceber um equipamento deste, os alunos poderão não somente por em prática o conteúdo teórico visto em sala de aula, mas também, expandir o conhecimento relativo ao processo ao utilizarem um equipamento didático, que permite conhecer seus comandos, funções e mecanismos.

Palavras-chave: Soldagem por Resistência, Engenharia Automotiva, Ligações Permanentes.

1. INTRODUÇÃO

Apesar de o arco voltaico constituir-se a principal fonte de calor empregada na soldagem por fusão de materiais metálicos (Modenesi, 2002), outros processos de soldagem ocupam lugar de destaque nas aplicações industriais. Um bom exemplo disso é a soldagem por resistência. Na soldagem por resistência a união é obtida na região de contato entre as peças (superfícies sobrepostas ou de topo). Para tanto, dois eletrodos de elevada resistência mecânica e condutividade térmica e elétrica comprimem as peças uma contra a outra e, mediante a condução de corrente elétrica através da resistência elétrica de contato que surge entre as superfícies a serem unidas, a energia térmica necessária para promover a fusão localizada do material é então obtida por efeito Joule (Eq. (1)).

$$Q = \frac{1}{J} \int_0^t i^2 R_t \cdot dt \quad (1)$$

Onde: J = 4,185J;

I - Corrente de soldagem [A];

R_t - Resistência elétrica [Ω];

dt - Intervalo de tempo de condução da corrente [s].

Deste modo, para operacionalizar o processo, faz-se necessário que o equipamento de soldagem possua um sistema de aplicação de força nos eletrodos, um sistema elétrico para fornecer a corrente de soldagem e um sistema de controle capaz de coordenar o tempo de aplicação e a intensidade da corrente de soldagem e a força nos eletrodos.

Na soldagem por resistência existem quatro variantes básicas do processo, a saber: Soldagem por ponto; por projeção; por costura; e de topo (Marques *et al.*, 2013). Na soldagem a ponto, a união é obtida na região localizada entre os eletrodos, dando origem, assim, a um ponto de solda. Na soldagem por projeção, o processo é similar ao anterior, com a soldagem ocorrendo num local específico, determinado por uma projeção realizada em uma das peças. Na soldagem por costura, uma solda contínua é obtida por uma série de pontos de solda sobrepostos, realizados consecutivamente. Já na soldagem de topo, a corrente de soldagem flui pelas faces das peças, que são pressionadas frente a frente, não por eletrodos, mas, por adequados dispositivos de compressão.

A soldagem por resistência é um processo que pode ser usado na soldagem de diversos tipos de materiais, incluindo dissimilares, com excelente capacidade produtiva sem, entretanto, exigir o emprego de materiais de adição. Estas características fazem com que este processo seja aplicado em praticamente todos os segmentos industriais, com destaque para a indústria automobilística. Esta, principal usuária deste processo, o introduziu como processo de

fabricação em 1933 (Branco, 2005), tornando-se o processo de união predominante na montagem das carrocerias automotivas, sendo a soldagem por ponto a variante de processo mais amplamente empregada. Neste contexto, durante o processo de manufatura das carrocerias dos atuais automóveis, são utilizados milhares de pontos de solda (Karagoulis, 1994).

Na última década o Brasil tem apresentado um grande déficit no número de engenheiros se comparado com países desenvolvidos. Diante disso, foi concebido em 2009 pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, o Campus Joinville, situado na região norte do estado. Este Campus contempla atualmente o Centro das Engenharias da Mobilidade - CEM, constituído por sete cursos de áreas de concentração da engenharia, sendo um deles o de engenharia automotiva. Assim, diante da importância do processo de soldagem por resistência no cenário automotivo nacional, faz-se necessário uma ampla abordagem deste processo no curso de engenharia automotiva, a fim de promover uma completa formação do futuro profissional. Diante disso, este trabalho tem por objetivo descrever a concepção adotada no desenvolvimento de um equipamento didático (e de baixo custo) de soldagem por resistência a ponto, visando contribuir para com a infraestrutura didática do laboratório de Ligações Permanentes do centro das engenharias da mobilidade da UFSC.

2. DESENVOLVIMENTO

Dada as características do processo de soldagem por resistência, no qual exige a aplicação simultânea de pressão e elevadas intensidades de corrente, o equipamento de soldagem é composto, basicamente, por três sistemas (Brandi, 1992), conforme citado anteriormente. Assim, no desenvolvimento do citado equipamento cada sistema será abordado separadamente de modo a se identificar as soluções que melhor atendem aos requisitos de baixo custo e, ao mesmo tempo, sem perder o caráter didático do equipamento. Portanto, a ideia é buscar implementar soluções técnicas para os diferentes sistemas, baseadas em conteúdos vistos pelos alunos em sala de aula no decorrer do curso.

O desenvolvimento do equipamento de soldagem por resistência a ponto será realizado em etapas. Primeiramente será abordado o sistema mecânico, e na sequência o sistema elétrico e por fim o de controle. Para o desenvolvimento de cada sistema será realizado um cronograma de atividades a serem executadas, bem como, os respectivos detalhamentos de projeto. Por fim, após o desenvolvimento de cada um dos sistemas, de forma independente, irá se realizar a integração dos mesmos e, na sequência, os testes finais de validação do equipamento (Fig. 1).

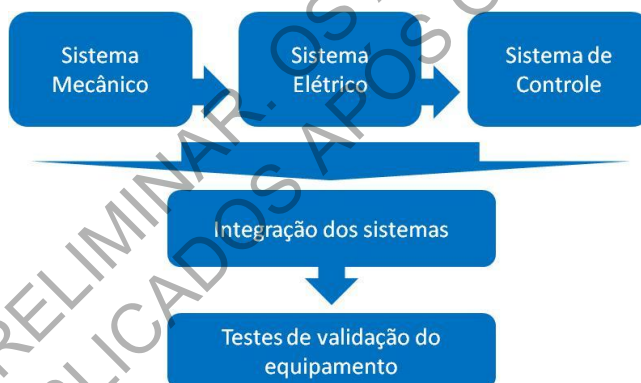


Figura 1 - Fluxograma de atividades.

2.1. Sistema Mecânico

O sistema mecânico de um equipamento de soldagem por resistência desempenha várias funções, dentre elas: ser capaz de abrigar o sistema elétrico e de controle, assegurar que os eletrodos estejam devidamente posicionados e fixados, garantindo, assim, a correta execução do procedimento de soldagem e por último, porém, não menos importante, aplicar a força necessária nos eletrodos de modo a pressionar as peças uma contra a outra. Esta última, diz respeito a mais importante função do sistema mecânico, pois, é a força aplicada pelos eletrodos que irão definir a resistência elétrica de contato e, conseqüentemente, a energia térmica gerada na junta para uma dada corrente (Eq. 1). Se a força aplicada for relativamente alta, ter-se-á uma resistência elétrica muito baixa, sendo necessário, portanto, o emprego de uma corrente de soldagem maior para se obter a quantidade de calor necessária para promover a fusão do material. Por outro lado, se a pressão aplicada for sensivelmente baixa, flutuações na resistência elétrica de contato poderão ocorrer comprometendo, assim, a qualidade das uniões obtidas.

A aplicação de força nos eletrodos pode ser obtida com o uso de cilindros pneumáticos, hidráulicos ou com o emprego de sistemas mecânicos específicos. Neste trabalho pretende-se utilizar um subsistema de aplicação de força do tipo mecânico por possuir uma menor complexidade de implementação e, principalmente, custo. Além disso, esta concepção se apresenta mais segura, característica essencial para um equipamento didático, considerando que o operador tem controle total sobre a força aplicada. Para tanto, está sendo almejado o emprego de um sistema de aplicação de força baseado em alavancas multiplicadoras de forças. Nesta concepção, o operador aciona com o pé um

pedal localizado na parte inferior do equipamento e, assim, a força (P) aplicada por ele será multiplicada e transferida para o eletrodo. A Fig. 2 ilustra o funcionamento do sistema mecânico proposto.

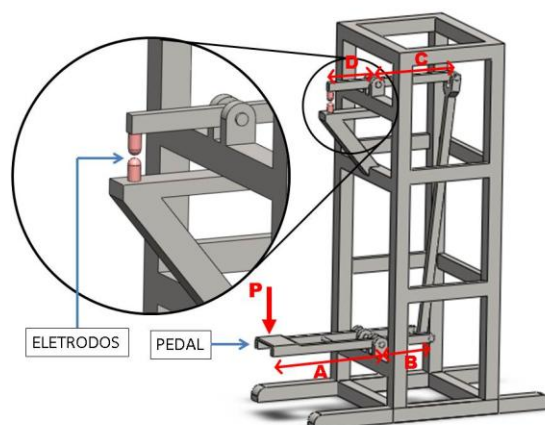


Figura 2 - Estrutura mecânica do equipamento.

Fazendo uma análise das forças e momentos presentes nas alavancas inferior e superior, a partir dos comprimentos A, B, C e D, pode-se obter uma expressão para a força aplicada pelos eletrodos sobre a junta de solda em função dos comprimentos dos braços de alavancas e da força (P) aplicada pelo operador no pedal (Eq. 2).

$$F = \frac{A \cdot C}{B \cdot D} \cdot P \quad (2)$$

Assim, definindo-se adequadamente os comprimentos dos braços de alavanca consegue-se, portanto, multiplicar a força aplicada pelo operador no pedal do equipamento, a fim de se obter os níveis requeridos para a soldagem.

2.2. Sistema Elétrico

Partindo da premissa de que o equipamento deve ser de baixo custo, evidentemente, não é possível empregar um transformador especificamente projetado para um equipamento de soldagem por resistência. Em vista disso, neste desenvolvimento será utilizado um transformador proveniente de uma fonte de soldagem a arco para eletrodos revestidos, que será adaptado para um equipamento de soldagem por resistência. Esta adaptação consistirá, basicamente, em desativar o secundário original do transformador e criar um novo secundário. Para tanto, um cabo de elevada bitola será enrolado, em poucas espiras, em torno do núcleo magnético do transformador. Com isso, se terá uma baixa tensão de saída, mas, por outro lado, uma elevada corrente de soldagem disponível no secundário. Isto, dado ao fato de que as potências no primário e secundário do transformador tendem a ser as mesmas. Assim, num transformador para a soldagem a arco capaz de fornecer correntes da ordem de 200 A (com potência de cerca de 3kVA), por exemplo, é possível se obter, após a adaptação descrita anteriormente, correntes de cerca de 5 kA. Esta alteração é mostrada na Fig. 3.

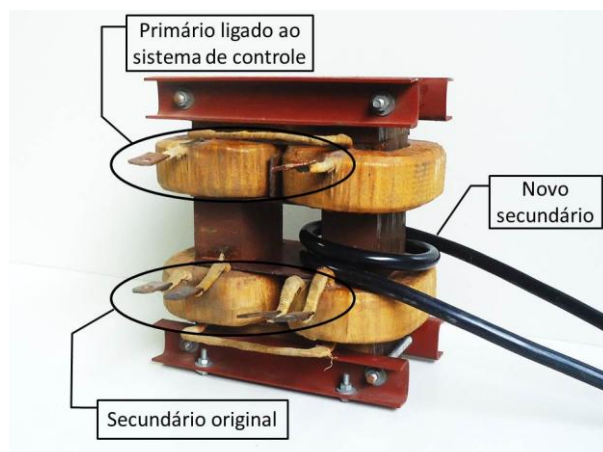


Figura 3 – Transformador de 3 kVA para soldagem a arco adaptado.

2.3. Sistema de Controle

Conforme descrito anteriormente, o sistema de controle deve gerenciar os parâmetros de soldagem relativos a corrente quanto a sua intensidade e tempo de atuação, bem como a intensidade da força aplicada nos eletrodos. No que se refere ao controle da corrente de soldagem, este sistema contará com um circuito eletrônico de controle dotado das seguintes funções: controle do acionamento da corrente de soldagem, controle da intensidade da corrente de soldagem aplicada e seleção entre corrente contínua (meio ciclo) ou alternada (ciclo inteiro). Para tanto, está sendo previsto o desenvolvimento de um circuito de controle baseado em tiristores SCR (Silicon Controlled Rectifier). Com esta estrutura de controle, muito comum em eletrônica de potência, será possível controlar a corrente de soldagem no primário do transformador. Na Figura 4 é apresentado, esquematicamente, o funcionamento do sistema de controle.

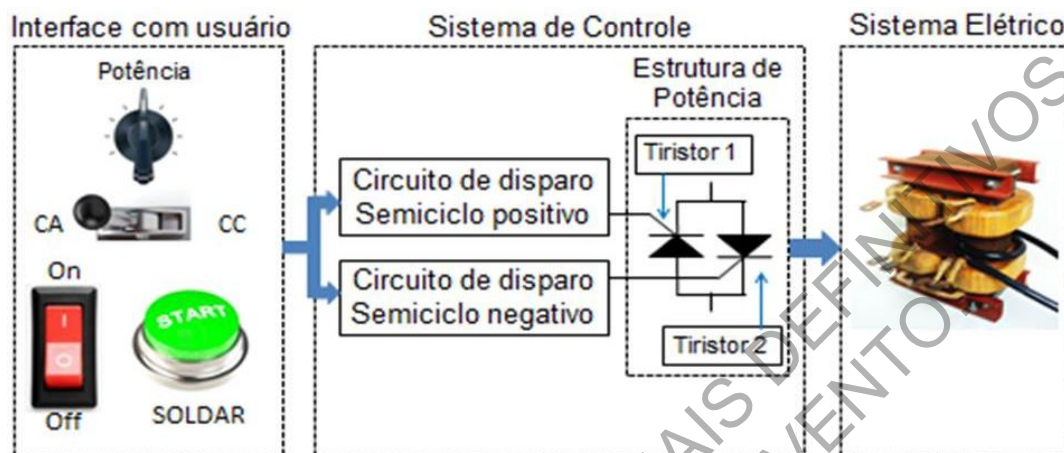


Figura 4 – Diagrama esquemático do sistema de controle.

A ideia básica do circuito proposto consiste em utilizar dois tiristores conectados em antiparalelo, e dispará-los em um ângulo de fase apropriado. Os tiristores são diodos especiais com um terminal adicional (chamado de gate) destinado ao controle de condução de corrente do componente. Assim, para conduzir, além de estar polarizado diretamente, o tiristor deve receber um pulso de corrente (disparo) no gate. Após o disparo no gate, o tiristor entra em condução até que o mesmo seja polarizado reversamente. Quando isto ocorre, é necessário outro pulso no gate, quando o mesmo estiver novamente polarizado diretamente, para que volte a entrar em condução. Assim, para viabilizar o controle da corrente de soldagem alternada, está sendo previsto o emprego de dois tiristores (Tiristor 1 e Tiristor 2) de modo a se obter o controle tanto no semiciclo positivo como negativo da corrente alternada (Fig. 4). Assim, o controle da intensidade da corrente de soldagem é realizado pelo ângulo de disparo dos tiristores, conforme pode ser visto na Fig. 5. Se o disparo for realizado no final do semiciclo, têm-se uma parcela menor de corrente sendo conduzida e então a potência aplicada à soldagem será menor. Por outro lado, quanto menor o ângulo de disparo, maior será a parcela de tempo do semiciclo da rede em que o tiristor estará conduzindo e, com isso, maior será a potência entregue ao primário do transformador.

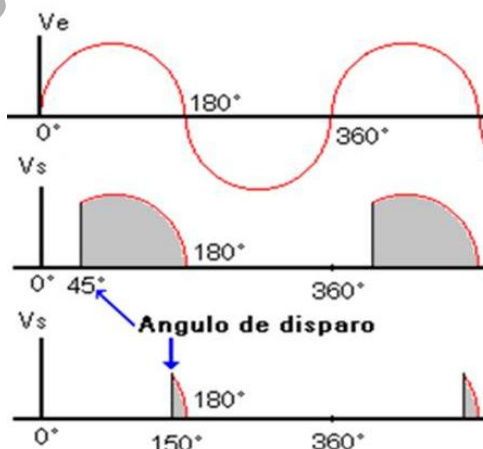


Figura 5 – Forma de onda de corrente para diferentes ângulos de disparo.

A regulagem da energia de soldagem, ou seja, do ângulo de disparo dos tiristores será realizado na interface com o usuário, através de um potenciômetro (resistor variável), onde também será possível selecionar entre corrente contínua ou alternada. Quando selecionada corrente contínua, um dos circuitos de disparo é desligado e, com isso, reduz-se também pela metade a energia de soldagem. Também na interface com o usuário haverá o botão de “liga/desliga” do

equipamento e o botão “soldar”. Este último dá o comando para iniciar o processo de soldagem propriamente dito. Nesta primeira versão do equipamento, o tempo de soldagem, ou seja, o tempo de atuação da corrente de soldagem será definido pelo operador mediante o tempo de atuação no botão de “soldar”. Contudo, já pensando numa evolução do equipamento, está sendo prevista a implementação de um circuito temporizador no qual o operador poderá selecionar o número de ciclos de rede que deseja empregar na soldagem.

Em se tratando do controle da força aplicada pelos eletrodos, está sendo prevista a instalação de sensores de carga no sistema mecânico. Com isso, o sistema de controle, mediante o monitoramento desses sensores, irá permitir a realização da soldagem efetivamente somente se a força aplicada pelos eletrodos estiver dentro da faixa operacional definida pelo usuário.

3. CONCLUSÃO

Conforme visto, no desenvolvimento do equipamento proposto são contemplados somente conteúdos vistos em sala de aula do decorrer do curso de engenharia. Isto é de extrema relevância considerando o caráter didático que se deseja para o equipamento. Pois, além de conceber uma ferramenta a ser empregada no processo de ensino-aprendizagem, este desenvolvimento tem por objetivo dar as condições necessárias para que os acadêmicos vislumbrem não só o inter-relacionamento de conceitos envolvidos na construção do citado equipamento, bem como entender o processo de soldagem por resistência de forma mais ampla e completa, compreendendo desde os aspectos operacionais do processo até requisitos e características do equipamento.

4. REFERÊNCIAS

- Borges, M., 2013, “Soldagem”. 10 Jun. 2013. <<http://mmborges.com/processos/Uniao/uniao%20termica%20-%20soldagem.htm>>.
- Branco, H.L.O., 2005, “Avaliação de capas de eletrodos utilizados na soldagem por resistência de chapas galvanizadas automotivas”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 113p.
- Brandi, S.D., Wainer, E. and Mello, F.D.H., 1992, “Soldagem: Processo e Metalurgia”, Ed. Edgard Blücher, S.Paulo, Brazil,, pp. 217 – 242.
- Karagoulis, M.J., 1994. “A Nuts-and-Bolts Approach to the Control of Resistance-SpotWelding of Galvanized Steel,” Welding Journal, July, pp. 27 – 31.
- Marques, P. V.; Modenesi, P.; Bracarense, A. Q. “Soldagem: Fundamentos e tecnologia”, 3ªed., Editora UFMG, 2009.
- Modenesi, P. J., 2002. “Introdução À Física do Arco Elétrico E A Sua Aplicação Na Soldagem dos Metais”. Belo Horizonte : s.n., Jun. 2002.

5. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN OF A DIDACTIC EQUIPMENT FOR RESISTANCE SPOT WELDING

Fábio Meurer, fabio-hm@hotmail.com¹
Tiago Vieira da Cunha, t.cunha@ufsc.br¹

¹ Federal University of Santa Catarina – Joinville Campus, Rua Presidente Prudente de Moraes, 406, Joinville - 89218-000 - SC – Brasil

Abstract. *The process of resistance welding is a major joining processes used in the automotive industry. Thus, into a course in automotive engineering is necessary a broad approach of this process in order to promote the full professional training. Based on this, this paper aims to describe the design adopted in the development of a didactic equipment for resistance spot welding, for the welding lab of mobility engineering center UFSC - Joinville Campus. When designing this equipment, students can not only put into practice the theoretical content seen in the classroom, but also expand the knowledge on the process with use a didactic equipment, which allows to know your commands, functions and mechanisms.*

Keywords: *Resistance Welding, Automotive Engineering, Permanent Unions.*